



A mineração no Brasil

Darcy José Germany

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

REV 2

Relatório final

Engº Darcy José Germani

Rio de Janeiro, maio de 2002

SUMÁRIO

	Apresentação	4
1-	Retrospecto histórico da mineração no Brasil	5
2-	Comparação entre os métodos de lavra que se aplicam no Brasil e no exterior	11
2.1-	Métodos de lavra a céu aberto	11
	Perfuração	12
	Desmonte	13
	Escavação e carga	14
	Transporte	15
	Equipamentos auxiliares	17
	Mão de Obra	17
2.1.1-	Minas de encosta e de cava	18
2.1.2 -	Método de lavra em fatias	21
2.1.3 -	Lavra por dissolução	21
2. 2 -	Métodos de lavra subterrânea	22
2.2.1-	Métodos com Realces Auto-portantes	23
2.2.1.1-	Câmaras e Pilares	23
2.2.1.2-	Método dos Sub-níveis	24
2.2.1.3-	Recuo por Crateras Verticais (VCR – Vertical Crater Retreat)	25
2.2.2-	Métodos com Suporte das Encaixantes	25
2.2.2.1-	Recalque	26
2.2.2.2-	Corte e Enchimento (Corte e Aterro)	27
2.2.3-	Métodos com Abatimento	27

2.2.3.1-	Abatimento por Sub-níveis (Sublevel Caving)	28
2.2.3.2-	Abatimento por Blocos (Block Caving)	28
2.2.3.3-	Longwall	28
3-	Operações Unitárias e Serviços Auxiliares	29
3.1-	Perfuração e Desmonte	31
3.2-	Carga e Transporte	32
3.3-	Contenções	33
3.4-	Perspectivas Futuras	33
3.5-	Planejamento de Mina e Disciplinas Correlatas – Situação no Brasil	35
4-	Comparação entre o contexto internacional e a situação do Brasil	37
4.1-	Referências no contexto internacional	37
4.2-	A mineração subterrânea no Brasil em uma perspectiva internacional - referências da indústria	39
5-	Sugestões de linhas estratégicas de pesquisa e de cursos/eventos de formação e aperfeiçoamento de pessoal	39
6-	Saúde e higiene no trabalho e segurança na mineração	45
7-	Relação das instituições e empresas líderes nacionais envolvidos com o desenvolvimento de métodos de lavra	47
8-	Principais minas brasileiras (e tabelas)	48

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho , patrocinado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento –PNUD, propõe a levantar o estágio em que o País se encontra com relação às tecnologias aplicadas na mineração local e identificar as suas principais deficiências, a fim de torná-la mais competitiva.

Os recursos do PNUD foram negociados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT por intermédio de um programa específico do Fundo Setorial de Mineração.

Está sendo apresentado também um retrospecto histórico da mineração no Brasil, onde se procura indicar as origens dos aportes de tecnologia até agora introduzidos em nossas minas.

Estão apresentadas, de modo também geral, as principais características das práticas de mineração a céu aberto e subterrânea, comparadas com o que se faz na América do Norte, Austrália, Chile, Escandinávia e África do Sul.

Descreve-se com mais detalhes a aplicação dos métodos de lavra a céu aberto e subterrâneos, mostrando os principais avanços tecnológicos ocorridos nessa área.. Foi também dado um destaque às operações para extração de rochas ornamentais, pelo potencial que estão tendo no presente.

Descreve-se os recursos de que dispomos no Brasil para a formação e treinamento e as necessidades que precisaremos atender, ressaltando uma maior participação da indústria de mineração no aumento de vagas na concessão de estágios de férias e curriculares para estudantes e técnicos de grau médio. Aponta-se também a necessidade de se treinar os mineiros, de forma mais eficaz, a fim de que se possa tirar o maior benefício do seu trabalho com resultados mais positivos para a indústria.

Devido a importância que está sendo dada na atual conjuntura foram feitos alguns comentários sobre Higiene e Segurança no Trabalho.

Apresenta-se também as planilhas das principais minerações brasileiras a céu aberto e subterrâneas com comentários sobre a adequação dos equipamentos aplicados. Foram listadas todas as minas com produção anual superior a 3 milhões de toneladas, quando a céu aberto e 600 mil toneladas quando subterrâneas.

O trabalho foi elaborado com base na experiência de mais de 42 anos do autor na atividade mineral, utilizando-se a cooperação de técnicos especializados, visitas feitas à algumas minas, entrevistas e consultas pessoais e à literatura existente. Em especial, o trabalho teve a cooperação do Eng^oRuy Lacourt Rodrigues na área da mineração subterrânea.

1 - RETROSPECTO HISTÓRICO DA MINERAÇÃO NO BRASIL

Enquanto se lavraram as ocorrências das diversas substâncias minerais encontradas na superfície do solo brasileiro nos primórdios da nossa colonização, as massas retiradas eram sempre muito pequenas e adotavam-se métodos rudimentares na sua extração. Por outro lado, as necessidades de produtos de origem mineral eram, naquele tempo, ainda muito pequenas. As argilas, areia e cascalho para construções constituíam a principal demanda.

As ferramentas utilizadas para a extração desses materiais eram rudimentares e pouco resistentes, feitas normalmente de ferro caldeado. Até o século XIX, era também muitíssimo pequena a produção do ferro no Brasil, existindo apenas algumas forjas catalãs em Minas Gerais.

Era bastante tímido o desenvolvimento tecnológico que ocorria na extração das rochas para os trabalhos de cantaria, a fim de atender aos artífices trazidos pelos colonizadores. Os diversos materiais de construção eram principalmente retirados dos aluviões e, quando de afloramentos rochosos, eram cuidadosamente desagregados com cunhas, acompanhando-se as clivagens e amarrados ou cortados com ponteiros e marretas e, quando necessário, perfurados e detonados com pólvoras caseiras. Ainda se encontram, hoje em dia em Diamantina, Ouro Preto e outras cidades históricas, construções e calçamentos com lajes de rocha retiradas de pedreiras desta maneira.

Esses trabalhos que hoje designamos como lavra na atividade mineira eram tarefas ligadas à construção.

As primeiras catas ou garimpos foram feitos em São Paulo, em São Vicente, no Vale da Ribeira, e os bandeirantes paulistas espalharam-se depois por Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. O ouro e os diamantes dos aluviões eram retirados manualmente com pás, lançando-se em calhas, depois bateados, sendo que os rejeitos eram lançados manualmente em locais próximos.

Os veios que penetravam nas encostas eram perseguidos por galerias perfuradas com ponteiros e malhos e, quando necessário, eram detonados também com pólvoras caseiras. O minério era em seguida carregado igualmente por pás em carrinhos de mão. Os poços verticais ou inclinados, que se faziam necessários para acompanhar as camadas ou veios, eram perfurados da mesma forma, sendo o minério içado em baldes de madeira por sarilhos manuais. O transporte mais longo era feito em carroções por tração animal. As aberturas eram sempre de seções acanhadas, pouco iluminadas, dificultando o trabalho e causando danos à saúde dos operários (a maioria escravos) que nelas trabalhavam. A falta de conhecimento geológico dificultava sobremaneira o trabalho.

As primeiras lavras mais sofisticadas foram as de ouro, que apareceram com a abertura da Mina da Passagem, em Mariana, em 1819, pelo Barão de Echewege,

seguida por várias outras; a principal delas foi a Mina Velha da Saint John Del Rey Mining Co., em Nova Lima, em 1834, em Minas Gerais. Essas duas minas citadas, mas principalmente a Mina Velha de Morro Velho, eram consideradas na época como exemplos no emprego de tecnologia e serviam de referências mundiais, no que dizia respeito a lavras subterrâneas. Supõe-se que essas minas tenham sido implantadas com a melhor técnica existente na época, trazida pelos engenheiros, seus capitães de mina e mineradores ingleses (provavelmente de Cornwall) e de alemães, treinados nos seus países de origem.

Naquele tempo, tudo era muito rudimentar, sendo a perfuração das rochas sempre feitas com ponteiros e marretas e utilizando-se pólvora caseira até além do último lustro do século XIX. Compare-se a abertura de galerias com o que se fazia nos Estados Unidos na abertura dos túneis ferroviários, para atravessar as Montanhas Rochosas, nos anos da década de 1860, onde o avanço por fogo não ultrapassava 30cm!

É impressionante verificar que, com tamanha precariedade de recursos, essas minas tenham sobrevivido além de meados do século XX. A Mina Velha em Nova Lima, funciona em ritmo muito reduzido e a Mina de Passagem foi paralisada por razões econômicas, embora pudesse ter tido maior vida, caso houvessem sido aplicados os recursos em bombeamento necessários para drenar um novo horizonte, que se mostrara com teores bastante elevados.

A indústria cimenteira começou lavrando as ocorrências de calcário nos arredores de São Paulo, que alimentaram a primeira fábrica em Perus. Deslocou-se depois para Minas Gerais e o Nordeste e está presente hoje em quase todos os estados do Brasil.

As primeiras lavras de carvão foram iniciadas na década de 1860 por famílias de ingleses trazidas pelo engenheiro de minas James Johnson, que obteve a primeira concessão abrindo a mina de Arroio dos Ratos no Rio Grande do Sul.

As minerações de Scheelita no Nordeste foram implantadas pelos engenheiros americanos da Vachang, atendendo ao esforço de guerra.

A US Steel Co. lavrou todo manganês de sua mina de Lafaiete, em Minas Gerais, com o método *glory hole*, exportando todo o minério pelo Porto do Rio de Janeiro. Outras pequenas lavras de manganês foram implantadas no quadrilátero ferrífero, e ainda deixam marcas indeléveis nas encostas de Minas. A lavra das piritas de Ouro Preto era a única fonte de enxofre existente para abastecer a fábrica de explosivos do exército.

A partir de 1942 foi iniciada, ainda de forma muito rudimentar a lavra de hematitas roladas nas encostas do Cauê, da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), em Itabira, assistidas por técnicos americanos impostos pelo Banco Mundial, desde a constituição da empresa.

Mas os melhores exemplos de introdução de lavra em fatias da década de 40 ocorreram na mina de carvão de Siderópolis, em Santa Catarina, a cargo da Cia Siderúrgica Nacional - CSN - e na mina de Treviso. As minas eram destinadas a

abastecer o Lavador de Capivari em Tubarão, para a produção de carvão metalúrgico e para alimentar os modernos fornos da CSN. Na mina de Siderópolis, seguindo um projeto americano, foi implantada a *Dragline Marion (skid mounted)* de 32jc que foi por muito tempo a máquina de maior porte operando em minas brasileiras.

Quase ao mesmo tempo foi absorvida pela CSN, via desapropriação, a mina de Casa de Pedra, em Congonhas, que havia sido implantada por mineradores escandinavos. Ela foi modernizada em seguida, produzindo minério bitolado e *lump* para os fornos Siemens Martins daquela Siderúrgica.

Na década de 1950, foi implantada pela ICOMI, associada à Bethlehem Steel, a mina de manganês, no Amapá, e iniciada também a nova fase de modernização das minas de Itabira, já com técnicos brasileiros e americanos, tendo-se introduzido a perfuração com *Churn Drills* de 9", desmonte com ANFO, Escavadeiras Bucyrus Elétricas de 2 1/2jc e caminhões fora de estrada de 22, 27 e 34t. A partir daí, a CVRD continuou sendo pioneira nas décadas de 1960 e seguintes introduzindo, a partir de 1963, a perfuração *down the hole* de 6 3/4" e rotativas de 9 7/8". Em 1968, foi testada a utilização de lamas explosivas mas optou-se, posteriormente, pelo ANFO, por ter velocidade de detonação mais compatível com as rochas. Foram incorporadas as escavadeiras elétricas de 6 e 9jc e caminhões fora de estrada de 45, 65 e caminhões diesel elétricos de 100 e 120t, cujo desenvolvimento era recente na América do Norte. A CVRD, com seu corpo técnico brasileiro, foi pioneira também na aplicação de planejamento informatizado, controle de qualidade na lavra, com aplicação de geoestatística, mecânica de rochas aplicadas à estabilidade de taludes, deposição controlada de rejeitos, rebaixamento de lençol freático em minas, transporte de minério e estéril por correias em ambos os sentidos e aproveitamento de minérios de baixo teor. A CVRD tinha então a cobertura via contrato "guarda chuva" com empresa externa, o qual possibilitava solicitar a consultoria mais apropriada conhecida no mundo, para ajudar e incentivar seus técnicos na aplicação da melhor tecnologia existentes para as situações e problemas registrados em suas minas.

Neste mesmo período, a lavra de pedreiras urbanas teve grande desenvolvimento, para atender ao crescimento do país, sendo modelar o exemplo do que se fez em Mairiporã, na zona sul de São Paulo, depois de abandonadas as lavras nas regiões mais povoadas dos bairros. Os demais projetos que se seguiram passaram a adotar a mesma linha.

As lavras dos aluviões com dragas de alcatruz, tanto no Rio das Velhas como no Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais, firmaram no Brasil esta tecnologia de mineração. Estas dragas foram importadas quase que integralmente das antigas lavras em operação na Califórnia na década de 1930.

Uma importante melhoria aconteceu na década de 1960, nas lavras subterrâneas nas minas do Grupo Penarroya de Boquira, na Bahia, e Plumbum, em Panelas, no Paraná. Nessas, foram aplicadas com sucesso as técnicas francesas de lavra em veios estreitos utilizando o método de lavra por sub-nível com posterior enchimento

por rejeitos secos da concentração, obtendo-se com isto elevadas taxas de recuperação na lavra.

Ao mesmo tempo, as minas de Camaquã, no Rio Grande do sul, foram melhor conduzidas com a cooperação técnica trazida por engenheiros de minas japoneses da Mitsubishi.

Na lavra dos aluviões ricos de estanho de Pitinga, Amazonas, na década de 1980, foram introduzidas na mineração brasileira, as dragas do tipo Elicot.

A partir dos anos de 1950, as pequenas operações e extração de argilas e areias puderam ser lavradas com mais seletividade devido ao uso de pequenas retroescavadeiras e pás carregadeiras.

O Projeto da Mineração Rio do Norte, no Pará, no final dos anos 70, foi liderado inicialmente pela Aluminium Company of Canadá- Alcan. Evitando-se a sua desistência, a CVRD assumiu a gestão da *joint venture* internacional e fez dele um exemplo de moderna implantação de lavra por fatias com *draglines* e retroescavadeiras de grande porte, a partir de um projeto nacional.

Outro exemplo importante, foi a implantação do projeto da lavra subterrânea de calcário da mina de Santa Helena em Sorocaba, São Paulo, hoje paralisado. Este projeto recebeu contribuição de tecnologia finlandesa e constituiu-se ainda na única operação subterrânea de calcário para cimento no Brasil.

Enquanto as operações de lavra a céu aberto ocorriam ainda em escala reduzida, eram pequenas as agressões ao ambiente, somente a mineração da Aluminium Company of América- Alcoa em Poços de Caldas, Minas Gerais, foi destaque na introdução de técnicas de recuperação de áreas mineradas. Foi seguida depois pela Cia Brasileira de Mineração e Metalurgia- CBMM em Araxá, Minas Gerais, mas só a partir do último lustro do século passado foi imperativo que as lavras atendessem à nova regulamentação, dedicando um maior cuidado às questões ambientais.

Um grande número de pequenas lavras de aluviões e, especialmente, a desorganização devido à proliferação dos garimpos - o de ouro, de Serra Pelada, e o de cassiterita em Ariquemes, Rondônia - continuam agredindo o meio ambiente ainda hoje, desrespeitando as autoridades constituídas, que têm sido incapazes de coibir esta indisciplina.

A primeira experiência de aplicação de método de lavra subterrânea de alta produtividade como *sub level caving* (abatimento por sub-níveis) foi feita pela Ferbasa no Oeste Baiano no final dos anos 70, recebendo a contribuição dos engenheiros de minas finlandeses.

Outro exemplo de moderna mina subterrânea, aplicando o método de câmaras e pilares, é a mina de Taquari-Vassouras, implantada pela Petrobrás e assistida por técnicos franceses no início dos anos 80, estando presentemente arrendada para a CVRD, que a modernizou colocando-a em níveis de produtividade internacional.

Quase ao mesmo tempo, foi implantada a Mina Caraíba, na Bahia, com apoio inicialmente de técnicos americanos. Posteriormente, uma empresa de planejamento chilena encarregou-se da revisão do projeto da mina subterrânea, que previa produzir na fase final 6000t/dia, mas que nunca alcançou tal capacidade.

Em Minas Gerais foi reaberta e modernizada a mina subterrânea de São Bento de ouro, em Barão de Cocais, por técnicos sulafricanos, tendo recebido também uma contribuição importante de técnicos canadenses na sua expansão.

Mais recentemente, na Mina Caraíba, na Bahia, no final dos anos 90, foi implantado um projeto arrojado, no aprofundamento da mina subterrânea de 500 para 800m abaixo da superfície, prevendo uma capacidade de 4000t/dia. Este projeto teve na fase final importante contribuição de consultoria canadense, aplicando-se pela primeira vez no Brasil os métodos *VCR (vertical crater retreat)* e *VRM (modified vertical retreat)* que proporcionam o aproveitamento dos pilares fazendo-se o enchimento com pasta de rejeito com 5% de cimento, permitindo recuperação além de 83%.

A lavra de rochas ornamentais de mármore e granitos em geral desenvolveu-se localmente e os grandes projetos, que se implantaram principalmente no norte do Estado do Espírito Santo, receberam a contribuição principalmente dos técnicos italianos, portugueses e espanhóis fazendo a utilização de equipamentos mais modernos.

Neste retrospecto apresentado, pode-se verificar que as novas tecnologias de mineração no Brasil quase sempre foram trazidas por empresas que tinham suas bases no exterior, através de consultorias externas para a maioria delas, e mesmo de empresas de engenharia brasileira como Promon Engenharia, Paulo Abib Engenharia e outras.

Assim, foi natural que os técnicos estrangeiros, que aqui vieram trabalhar nas minas, tenham trazido o que de melhor se conhecia nos seus países de origem. A informação mais atualizada era também complementada pela comunicação por eles mantida com suas bases. Muito freqüentemente também eram assistidos por consultores que faziam visitas periódicas às operações externas.

O espectro das empresas que aqui aportaram tecnologia nas áreas da pesquisa geológica foi muito mais amplo, devido ao grande número delas que veio pesquisar nosso território. Inicialmente procuraram aplicar os mesmos métodos com os quais tiveram sucesso nas suas pesquisas externas, adaptando-os, depois, de forma mais satisfatória às nossas condições, ou abandonando-os por serem inaplicáveis aqui.

Os técnicos brasileiros que trabalharam nas empresas estrangeiras que para cá migraram, tendo absorvido suas práticas, serviram como divulgadores dessas novas tecnologias.

As empresas de mineração brasileiras proporcionaram sempre estágios de férias para os estudantes de engenharia de minas de nossas escolas e estes estudantes puderam absorver, mais até do que seus próprios mestres, o que havia sido introduzido de novo nas minas.

As consultorias independentes trazidas pelas empresas de mineração agregaram conhecimentos importantes, que se tornaram práticas correntes nas minas brasileiras.

A comunicação entre os técnicos das minas brasileiras ajudou a transferir o conhecimento, seja nas visitas mútuas que se faziam, ou por meio de seminários e congressos de mineração, cada vez mais freqüentes, a partir da década de 1970, com a criação do IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. Algumas empresas também promoveram seminários internos em suas minas, convidando muitas vezes outros técnicos para participarem.

A CVRD, em especial, patrocinou vários cursos com consultores estrangeiros para estudos específicos de suas minas, e para ministrar cursos nas Escolas de Ouro Preto e Belo Horizonte para seus técnicos, convidando também engenheiros de outras minas da região do Quadrilátero Ferrífero. As Escolas sempre cooperaram com essas iniciativas, incluindo muitas vezes seus próprios mestres nesses cursos.

O Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, Fundação Gorceix de Ouro Preto e algumas outras universidades também coordenaram vários cursos de curta duração, ministrados por profissionais estrangeiros, muito práticos, os quais foram freqüentados por muitos engenheiros de suas empresas associadas. Esses cursos, no entanto, têm sido pouco numerosos, havendo necessidade de serem repetidos com freqüência .

As visitas feitas por técnicos brasileiros às minas do exterior, onde são muitas vezes auxiliados pelos representantes de fabricantes de equipamentos, foram importantes para se agregar novos conhecimentos e tecnologias à engenharia de minas brasileira. O desconhecimento da língua estrangeira dificultou bastante uma maior absorção das novidades, mas mesmo assim as viagens foram muito proveitosas.

Em muitos casos, as novas práticas foram trazidas por nossos técnicos que tiveram oportunidade de estagiar ou trabalhar em minas fora do Brasil. Em outros casos, técnicos brasileiros fizeram cursos de pós-graduação em universidades fora do país e divulgaram, depois, ao retornar, os seus conhecimentos.

Nas Escolas de Engenharia de Minas foram realizadas várias teses de mestrado e de doutorado. Muitas delas receberam o apoio das empresas de mineração, que, com interesse direto nos resultados dessas teses e para maior eficácia dos estudos, facilitaram as visitas às suas minas, cooperando com o fornecimento de dados.

Muito importante foi a contribuição dada pela nova geração de geólogos que, a partir do ano de 1961, promoveu a introdução das modernas técnicas de exploração e avaliação dos depósitos minerais e da geologia de mina, preenchendo uma lacuna no Brasil ao fornecer maior suporte geológico às operações das nossas minas.

Como exemplo importante de uma consultoria trazida do exterior poder-se -ia citar a expansão e modernização do Projeto Cauê da CVRD em Itabira, no final da década de 1960, quando se planejava passar da escala de 20 milhões t/a para 40 milhões t/a. Naquela ocasião, necessitava-se preparar um plano de lavra que contemplasse esta produção por um período mínimo de 20 anos. Não se tinha conhecimento e

nem recursos técnicos para elaborar na empresa um projeto desta envergadura, pois a geração de técnicos era ainda jovem e sem grande experiência. Foi então contratado um consultor de planejamento de mina americano, que orientou a construção de um modelo de blocos feito de madeira e com ele pode-se manualmente simular com sucesso a lavra nesta escala. Causou surpresa o fato de somente naquela época poder-se introduzir aqui esse método simples, já aplicado desde longa data no exterior, mas que, apesar das visitas técnicas feitas às minas externas, ninguém havia apreendido. Devido aos poucos recursos de computação que se dispunha na época, esse método teve aplicação generalizada em outras minas brasileiras.

2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE LAVRA QUE SE APLICAM NO BRASIL E NO EXTERIOR

2.1 - Métodos de lavra a céu aberto

As minerações a céu aberto fora do Brasil, notadamente nos Estados Unidos, Canadá, África do Sul e Australásia, tiveram um desenvolvimento, de modo geral, mais harmônico por terem tido muitas delas uma decisão arrojada, desde sua implantação, de utilizar equipamentos mais adequados em menor número e de maior porte. No Brasil, sempre fomos muito limitados nas decisões para equipar as minas desde o seu início, tendo em vista os elevados investimentos necessários para se adquirir os equipamentos mais adequados e à pouca capacidade de se levantar os empréstimos externos a juros mais baixos. Quase todas as nossas minas foram sendo modernizadas com o tempo, convivendo-se por longos períodos com os equipamentos existentes, muitas vezes inadequados para a nova escala de lavra estabelecida. Com raríssimas exceções foram introduzidos equipamentos de última geração nas minas brasileiras, sem que antes tenham sido testados em minas no exterior.

Tem-se generalizado a prática de guardar para futuro aproveitamento, estocando-se separadamente, as massas mais pobres, sem a utilização no presente, para uso de futuras gerações.

Muitas empresas contratam as operações de mina a céu aberto com empreiteiras, as quais possuem ampla liberdade de aplicar os equipamentos que irão utilizar, e que não são, muitas vezes, os mais adequados, mas atendem aos preços da concorrência. São raras as parcerias nas quais o empreiteiro compra o equipamento adequado para operar num contrato a longo prazo. Com esta prática, a empresa de mineração não investe no equipamento de mina. Tem-se um exemplo de uma empresa importante que, para reduzir os seus custos, garantindo sua sobrevivência em função da queda do preço do metal, depois de muitos anos naquele regime de mina contratada, foi forçada a investir em equipamentos próprios, adequados, para poder alcançar mais produtividade e custos mais baixos na fase de lavra.

No Brasil, é bastante comum a cessão do Decreto de Lavra por arrendamento para terceiros, persistindo nestas situações algumas práticas inadequadas na condução

de muitas operações, que são depois paralisadas em estado de abandono. Isto pode ainda ser visto nas encostas da BR-040, nas proximidades de Belo Horizonte.

Quando há um novo projeto, no qual são exigidos equipamentos modernos, devido às dificuldades de manutenção, tem sido corrente a contratação temporária desses serviços de manutenção com os fabricantes. Com isto a empresa concentra-se na operação propriamente dita.

Para efeito deste trabalho pode-se classificar por critério empírico, como indicado seguir, as minerações a céu aberto quanto ao porte da sua produção diária, incluindo minério e estéril (TAB.1).

TABELA 1 – Tamanho das minas

PORTE	PRODUÇÃO DIÁRIA (t/dia)
Grande Porte - GP	> 30.000
Médio Porte - MD	de 3.000 a 30.000
Pequeno Porte - PP	< 3.000

Os comentários que seguem aplicam-se a todos os tipos de mineração a céu aberto:

➤ **Perfuração**

Só recentemente nossa maior mina a céu aberto, em Carajás, da CVRD, aumentou o diâmetro da perfuração primária de 9 7/8" para 12 1/4". Nas outras minerações da Região Sul, o diâmetro máximo utilizado é de 10", predominando 9 7/8". As principais minerações da Austrália, USA e Canadá já adotaram, há muitos anos, os diâmetros de 12 1/4" e de 15" nas suas grandes minas. A utilização de grandes diâmetros na perfuração primária de rochas duras, comumente encontradas nas minas do exterior, reduz substancialmente o custo de perfuração devido à vida maior das brocas, reduzindo também o custo de mineração resultante do aumento da malha de perfuração, um menor número de furos e menor consumo de explosivos para desmontar a mesma massa.

Felizmente, no Brasil, as minas de GP ocorrem mais comumente em rochas brandas e friáveis, como as que se implantaram nos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero e em Carajás. Em Carajás, excetuam-se as ocorrências de jaspelito intercalado que é muito duro, havendo também no Sul ainda algumas ocorrências de hematita dura, muito itabirito duro e algumas rochas são que também exigem maior

cuidado e são as causas de maiores custos no desmonte e desgaste dos equipamentos.

Mesmo nas minas de rochas brandas, a utilização de maior diâmetro melhora substancialmente a produtividade da operação tendo em vista o menor deslocamento de máquinas e o menor número de furos a serem feitos. A proximidade das cidades inibe a adoção de maiores diâmetros em algumas de nossas minas, devido à intensidade das vibrações.

Já as nossas minas de MP e PP utilizam sempre na perfuração primária diâmetros abaixo de 6", predominando os diâmetros de 4" e 2 1/2". Isso é também prática comum nas minas do exterior de mesmo porte.

A perfuração secundária de matacões e repés é pouca ou inexistente nas minas do exterior, sendo utilizado, quando necessário, martelos quebradores eletro-hidráulicos montados sobre esteira e que estão sendo introduzidos aqui também em algumas minas, mas o mais comum ainda é utilizar-se nas nossas minas a perfuração secundária com martelotes pneumáticos. A maioria das pedreiras urbanas já possuem rompedor, que tem sido impostos pelos órgãos ambientais, mas é um equipamento caro

Muito raramente nossos operadores de mina dão a atenção devida à marcação topográfica dos furos e obedecem às profundidades estabelecidas para que se tenha um melhor desmonte. Atualmente, existem métodos mais modernos para esta finalidade, mas o elevado custo de aquisição tem limitado seu uso.

➤ **Desmonte**

Nas minas do exterior utiliza-se, com freqüência, no desmonte primário, as emulsões, via caminhões de explosivos, especialmente preparados para permitir o carregamento dos furos para detonação de maneira mecanizada, possibilitando também a realização das misturas de emulsão atendendo às várias densidades requeridas. No Brasil, por sua vez, utiliza-se mais comumente o ANFO, algumas vezes feito de maneira improvisada nas minas. As emulsões são mais utilizadas em furos molhados.

O pequeno consumo de explosivos nas minas brasileiras causou a demora na produção local de nitrato de amônia "explosive grade", mas já se fabrica aqui o Nitrato *Prill* Poroso, que se compara e atende bem à maioria das situações. Existem hoje três empresas instaladas de bom porte atuando no Brasil e estão sendo estabelecidas outras parcerias locais de médias e pequenas empresas deste setor com multinacionais de grande porte. Com isso, os avanços tecnológicos externos terão maiores possibilidades de chegar com rapidez ao Brasil.

Em muitas minas brasileiras ainda persiste a tendência de se economizar nos explosivos, procurando manter baixas as razões de carregamento, o que se justificaria pelo alto custo do explosivo, sem se atentar para o conjunto de efeitos benéficos causados pelo desmonte adequado, com uma taxa maior de carregamento, na produtividade da escavação, transporte, redução do desgaste das

caçambas das máquinas de carregamento e dos caminhões, assim como dos engaiolamentos dos britadores primários, que, na maioria das vezes, são sempre menores do que o indicado. Na mina de Carajás, que vinha desmontando no máximo cerca de 30% com explosivos, está se revendo a prática para desmontar além de 70%, tirando partido da economia global mencionada. Nas pedreiras, o consumo de explosivo é moderado, propositadamente para diminuir a produção de finos e evitar lançamentos.

Outro resultado positivo será a maior generalização da aplicação do *chock blast* no desmonte de filas múltiplas, detonadas sobre material desmontado, sem a limpeza prévia, o que resulta em maior altura do material desmontado, facilitando o carregamento com as escavadeiras, provocando menor lançamento e melhorando a fragmentação, além de resultar em maior produtividade na perfuração, carregamento e transporte. Esta prática é muito raramente aplicada no Brasil. Para ser utilizada exige-se muito bom planejamento de mina, boa continuidade e conhecimento do material a desmontar, assim como correta execução da perfuração.

No Canadá, há alguns anos várias empresas de mineração associaram-se e promoveram uma pesquisa conjunta, objetivando melhorar as técnicas de desmonte para possibilitar o maior aproveitamento da energia das detonações, considerando o elevado dispêndio que se faz nesse item. No Brasil, seguramente, estamos usufruindo desses resultados introduzidos pelas empresas de explosivo.

Foi, igualmente, introduzido em muitas de nossas minas o monitoramento sistemático dos desmontes com sísmica, processo que necessita, no entanto, ser generalizado, especialmente nas pedreiras urbanas e ainda em muitas outras minas para se evitar danos com os equipamentos e preservação dos taludes finais. A introdução de espoletas de tempo eletrônicas tipo IKON vem minimizando esses problemas.

As perfurações e detonações nos limites finais das bancadas das nossas minas a céu aberto necessitam ser estudadas com maior cuidado, para que se possa ter melhor regularidade na geometria final. Nesse particular, a empresa líder de explosivos local desenvolveu uma técnica que otimiza essas situações, e que vem sendo introduzida nas pedreiras urbanas. Nessas pedreiras é preciso que o desmonte direto com rompedores hidráulicos seja testado com maior insistência, eliminando-se o máximo possível a perfuração e detonações. Existem exemplos dessa prática na Europa.

➤ **Escavação e Carga**

A escavação e carga é feito por escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, moto scrapers, dragas e monitores hidráulicos, equipamentos também utilizados nas minas do exterior. Nas minas externas, equipamentos de maior porte são encontrados com maior frequência, existindo, assim, um número superior de escavadeiras a cabo de grande porte. Para se obter melhor produtividade no carregamento, é imperativo que as escavadeiras sejam sempre operadas fazendo o carregamento dos caminhões de ambos os lados, o que ainda é, nas minas do Brasil, prática pouco comum. A razão

principal é que não se toma o cuidado de manter a adequada largura das bancadas e não se garante fácil acesso aos dois lados da máquina, devido à posição do cabo elétrico. São muito pouco utilizadas as calhas metálicas que são colocadas no piso, próximo das escavadeiras para proteção do cabo, facilitando a manobra dos caminhões. Essa dificuldade criada para o desempenho do trabalho tem sido a desculpa freqüente de não se carregar pelos dois lados. Tal prática, apesar de aconselhável, torna-se inviável, na maioria das vezes, em função da cultura de desenvolvimento de mina estabelecida em nosso país, não permitindo praças adequadas para essa operação.

Os cabos de escavação fabricados no Brasil já possuem a necessária qualidade para permitir um número maior de horas de trabalho, como acontece nas minas externas. Apesar de possuírem menor custo de aquisição do que os similares importados, os cabos nacionais nem sempre estão disponíveis, obrigando a aquisição de similares importados.

Será necessário ainda que, no planejamento de nossas minas, se faça maior opção pelas escavadeiras hidráulicas que poderiam em muitas situações ser mais aplicadas, permitindo a renovação de máquinas a cabo de menor porte, muitas vezes inadequadas, com menor investimento. Por serem mais leves, podem trabalhar em terrenos de menor resistência à compressão, sendo também de mais fácil locomoção. Felizmente, é crescente o número dessas máquinas nas minas do Quadrilátero.

As retroescavadeiras são especialmente indicadas nas operações de pedreiras, por terem suas caçambas mais compatíveis com as aberturas dos britadores primários instalados, e serem mais baratas. Em algumas pedreiras, a retroescavadeira trabalha sobre a pilha desmontada, carregando os caminhões com ciclo menor. Nas operações contratadas, a utilização de retroescavadeiras e pás carregadeiras é mais freqüente por se adequarem melhor aos caminhões menores. Uma aplicação também adequada delas é feita na minas de fatias do Pará e Rio Grande do Sul.

Somente em Carajás e Itabira está sendo seguida uma tendência muito moderna de instalação de GPS e pesagem nas escavadeiras, o que permite um controle em tempo real da quantidade e qualidade lavrada. Carajás é também a única mina que utiliza escavadeira PH 2800, a de maior porte no Brasil. As pás carregadeiras L1800 existentes em Itabira e Carajás já possuem também os recursos de pesagem. Um novo projeto de cobre está sendo implantado em Carajás, onde está sendo prevista a aquisição de escavadeira tipo PH 4100 de 42jc, para movimentação do estéril.

Na mina da Fosfértil, em Tapira, como aconteceu em muitas situações, desde o início foram utilizadas as escavadeiras Marion 151M, caçambas fabricadas em aço especial, que permitiram aumentar o volume para 13jc. Recentemente, também nessa mina, a troca das caçambas de aço fundido das escavadeiras PH 1900 adquiridas, por outras fabricadas em chapa especial permitiu passar a caçamba original de 12jc para 18 jc, melhorando a produtividade por exigir menor número de passes para carregar o caminhão de 190t.

Como os caminhões cresceram mais rapidamente do que as escavadeiras em termos de capacidade, muitas minas ainda convivem com uma combinação

inadequada escavadeira x caminhão, resultando num ciclo de carregamento maior (mais passes por carga). A componente econômica é a principal determinante desta prática.

➤ Transporte

De modo geral, a atividade transporte interno concentra o maior custo operacional das nossas minas. A tendência de se utilizar sempre maiores unidades em menor número, permite minimizar estes custos. Essa afirmativa tem sido contestada por muitos, quando se analisa a diminuição da capacidade resultante ao se paralisar uma unidade de grande porte, comparada com o efeito causado pela paralisação de uma unidade menor. Somente a CVRD em Itabira e Carajás introduziu caminhões fora de estrada com capacidade nominal de 240st, que foram aumentadas para 278st (toneladas curtas), diesel ou diesel elétricos. Estes caminhões possuem células de pesagem. Todos os caminhões das outras minas brasileiras são menores do que 190t. A população de caminhões existentes no Brasil acima de 95t ultrapassa uma centena de unidades.

Os raios de curva das estradas necessitam ser sempre bem estudados nas nossas minas por melhorarem a vida dos pneus dos caminhões. Deverá ser dada muita atenção também às drenagens e manutenção das estradas eliminando-se totalmente as poeiras.

Uma vez que há poucas britagens nas cavas, o transporte por caminhões nas nossas minas tem sido muito longo, o que encarece nossas operações. Até agora não tivemos nenhum projeto que justificasse o uso de caminhões diesel elétricos com *trolley* nas vias permanentes.

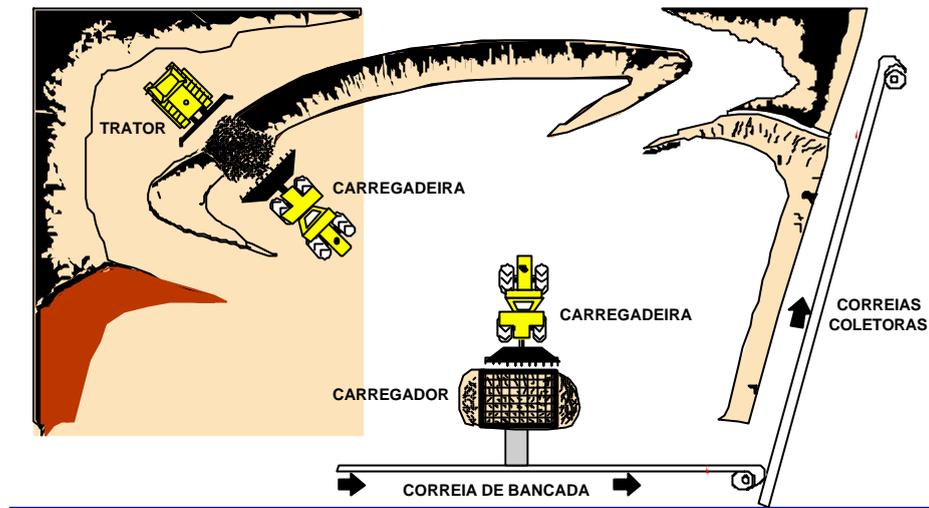
A operação da Samarco em Mariana, Minas Gerais, é ainda o melhor exemplo de lavra a custo baixo utilizando correias transportadoras nas frentes. Este exemplo precisa ser mais aplicado nas minas brasileiras. (ver Fig.1).

FIGURA 1 – Lavra com correias



SAMARCO

VISÃO GERAL LAVRA COM CORREIAS



Mining Management

Quase todas as nossas minas de GP e MP já estão equipadas com sistemas modernos de direcionamento (*dispatching*) de caminhões para escavadeiras nas minas, com destaque para Itabira e Carajás que possuem os tipos mais modernos, o que vem permitindo significativa redução no número de unidades necessárias.

Para os caminhões fora de estrada de capacidade superior a 190t, não há disponibilidade de pneus adequados localmente e depende-se sempre da importação, com desvantagens. Os caminhões modernos possuem muitos elementos de controle de que ainda não se tem fabricação local, gerando as mesmas dificuldades.

Um ponto importante a ressaltar e que já vem sendo feito em algumas minas brasileiras é a disposição de se modernizar os caminhões elétricos mais velhos, o que poderá prolongar sua vida útil, com economias significativas.

É importante salientar ,ainda, que estes equipamentos de grande porte precisam sempre de uma manutenção rigorosa, sem improvisações. Necessariamente no nosso clima, estes caminhões fora de estrada de capacidade superior a 100t precisam ter cabines climatizadas, para dar maior conforto aos operadores.

➤ Equipamentos auxiliares

As minas brasileiras possuem, de maneira geral, os mesmos equipamentos que as suas congêneres do exterior. A exceção que se faz é a falta ainda em algumas minas de quebradores de maticos eletrohidráulicos, montados em braços de retroescavadeiras hidráulicas, e caminhões tanques irrigadores de grande

capacidade. Convive-se, ainda, em algumas minas de MP E GP, com pequenos carros-pipa alugados de terceiros. As motoniveladoras de grande porte são ainda pouco numerosas nas nossas operações de MP e GP, o que dificulta a melhor manutenção das estradas.

Os quebradores de maticos já estão em uso de forma mais generalizada nas pedreiras urbanas das grandes cidades, evitando-se os lançamentos e diminuindo também o nível dos ruídos do desmonte. Os rompedores, por terem operação continuada, podem causar, inclusive, maior incômodo. Em muitas frentes, eles poderão até substituir o desmonte por explosivo, aplicação que também está sendo considerada no momento em operações no exterior.

Outra aplicação importante dos quebradores hidráulicos será sua utilização para regularizar os taludes finais dos bancos lavrados.

Muitas de nossas minas não se modernizaram ainda o suficiente a ponto de terem já adquirido os instrumentos mais modernos para levantamentos topográficos e *softwares* para planejamento.

➤ **Mão de Obra**

De modo geral, as operações de mina a céu aberto externas utilizam reduzida mão de obra se comparado com o que se pratica no Brasil.

Tem sido correta a política das empresas de utilizar mão de obra somente onde ela é necessária. A aplicação nas minas dos equipamentos de maior porte traz economia para as operações, uma tendência da atividade no mundo e que também está sendo seguida aqui no Brasil, na medida do possível. Procura-se também aqui dar à mão de obra empregada as melhores condições de segurança e higiene no trabalho.

Às vezes, na ânsia de economizar mão de obra, contudo, prejudica-se o custo da operação. Cita-se, como exemplo a falta de catadores de pedras soltas nas vias e muitas vezes também nas praças de lançamento de estéril. Um acidente provocado por pedras soltas poderá resultar na perda total de pneus de caminhões fora de estrada, de custo elevado. Nossos operadores de caminhões e de outros veículos que circulam nas minas nem sempre possuem a determinação de parar o veículo e remover as pedras ou chamar assistência para atender às situações que se apresentam, apesar de treinados para tal.

Todas as atividades envolvendo pessoas precisam ser muito bem monitoradas, exigindo freqüente treinamento no trabalho por meio de instrutores muito bem preparados. Já vêm sendo utilizadas com sucesso em muitas minas as modernas técnicas de comunicação visual, servindo como ferramentas bastante úteis no treinamento dos operadores.

A mão de obra de manutenção mecânica e elétrica tem um papel importante na mineração quando se visa alcançar as disponibilidades exigidas nestes equipamentos modernos de alto custo. A sua capacitação demanda a cooperação

dos fabricantes e deve fazer ser integrante das condições de aquisição dos equipamentos.

Os seguintes métodos de lavra a céu aberto serão discutidos a seguir:

- Encosta
- Cava
- Fatias
- Lavra por dissolução

2.1.1 - Minas de encosta e de cava

Neste trabalho estão sendo agrupados os dois tipos de lavra acima citados porque, com o progresso da lavra, será comum que as minas de encostas se transformem em cavas, necessitando de abertura de rampas encaixadas para acesso aos bancos inferiores.

Enquanto as minas de encosta possuem drenagem natural, as minas em cava exigem bombeamento, a partir de uma bacia preparada no banco mais inferior, ou através de poços adjacentes, ou de galerias.

A abertura de rampas é uma atividade demorada e trabalhosa uma vez que, forçosamente, é preciso escavar em caixão. Algumas minas brasileiras, como aconteceu na Caraíba, já adotaram a prática de realizar a perfuração com detonação de toda a extensão da rampa, chegando a alcançar cerca de 200m. Está sendo também seguida aqui no Brasil a tendência de limitar em 15 metros a altura das bancadas. Bancadas mais altas somente são encontradas em pedreiras.

Não se observa muita diferença entre as minas brasileiras, tanto de encosta como em cava, quando comparadas com o que se faz no exterior, exceto pela menor frequência no Brasil de minas de grande porte (GP) e por um número menor de operações em cava ou que necessitaram desde o seu início de se fazer o acesso em rampa para a abertura do primeiro banco, seja para lavra de minério ou, o que tem sido mais comum nas minas do exterior, para se fazer o descapeamento de estéril nos depósitos cegos.

A deficiência registrada no passado na obtenção de maior rigor na aderência ao planejamento está sendo grandemente revertida nas minas brasileiras e constata-se hoje que já se está conseguindo sempre mais do que 80% de conformidade com o planejado. Dedicou-se um esforço enorme para que fosse mudado este comportamento nas minas.

Para garantir um bom planejamento, é necessária a realização da melhor estimativa relativa aos teores dos bancos a serem lavrados, o que só se consegue com melhor controle de geologia de mina, seja por levantamentos rotineiros das frentes e/ou

sondagens adicionais mais freqüentes. O modelamento do depósito tem sido uma imposição permanente nas minas para se obter os melhores resultados.

Algumas minas brasileiras já introduziram também o britador na cava (*in pit crushing*), modernização que foi iniciada pelas Minerações Brasileiras Reunidas—MBR, sendo seguida pela CVRD, em Itabira. Mais recentemente, foram instaladas, em Carajás, 2 unidades semi-móveis com britadores Krupp 1600x1400mm e capacidade de 7500 t/h. Nenhuma mina ainda instalou britagens móveis de grande porte montadas sobre sapatas ou esquis, para permitir maior mobilidade, que estão se generalizando nas minas externas. Na mina do Cauê, em Itabira, foram também instaladas britagens na mina, sendo que uma unidade possui alimentador de esteira que descarrega no britador giratório e parece ser o projeto mais econômico que se conhece.

São também a céu aberto todas as lavras brasileiras de rochas ornamentais. Existem cerca de 1300 frentes de lavra. As operações de rochas ornamentais mais desenvolvidas estão nos Estados do Espírito Santo e da Bahia. Na maioria das operações, a extração de blocos não ultrapassa 300 a 400m³/mês e as mais modernas, que utilizam o corte com cabos adiantados, alcançam cerca de 1000m³/mês. A maior operação alcança a produção de 2500 m³ por mês. A recuperação de blocos comerciais de dimensões 2,80x1,60x1,60m, quando no granito, é da ordem de 80%, sendo menor de até 40% no caso de blocos de mármore. De modo geral, as lavras maiores estão equipadas convenientemente com o que existe de melhor no mundo, mas existem muitas pequenas operações precárias que necessitam melhorias, especialmente no aproveitamento melhor das sobras da lavra.

As pedreiras para agregados que se implantaram no país e cujo número deve ultrapassar a 500, estão passando por uma crise devido de maneira geral ao pequeno número de obras. As maiores possuem produção inferior a 100.000 m³/mês. As mais bem instaladas possuem esquemas de produção e beneficiamento onde foram introduzidas técnicas avançadas para produção de produtos bitolados e de enfoque diferente das minas de MP e GP. De modo geral as operações em São Paulo foram implantadas com melhor técnica.

A indústria cimenteira possui cerca de 55 minas de encosta e cava, todas de PP, exceto uma, bem providas de equipamentos menores e suas operações são muito bem conduzidas, seja por equipes próprios ou com operação contratada e o setor possui recursos.

Nossos depósitos de sedimentos mineralizados até agora valorizados possuem recursos pequenos, por isto não se justificaram, ainda, as grandes dragas conforme se conhece na Malásia e Tailândia, Austrália e Namíbia. O melhor desenvolvimento em dragagem de aluviões não consolidados ocorreu com a utilização de bombas injetoras (*jet pumps*) que tiveram grande desenvolvimento na Inglaterra no início dos anos 1980, mas que até agora não teve aplicação no Brasil. Nessas dragas, a água da bacia é bombeada em alta pressão para o fundo da formação, passando por um *venturi* que retorna com as areias ou cascalho podendo ser descarregado além de 500m.

As operações com dragas de alcatruz estão restritas às explorações de diamante do Vale do Jequitinhonha, mas esses equipamentos possuem uma escala de produção pequena, além de serem bastante antigos, operando há mais de 30 anos.

Nos aluviões de estanho de Pitinga, no Amazonas, estão sendo utilizadas as dragas menores tipo Elicot, em seguida bastante difundidas. Essas são dragas que revolvem o cascalho dirigindo-os para a sucção da bomba.

Apesar de terem sido feitas pesquisas exaustivas nos paleovales de Santa Bárbara, em Rondônia, onde, à semelhança da Malásia, poder-se-ia aplicar grandes dragas, não se encontraram depósitos econômicos para implantá-las.

As formações de areias ilmeníticas existentes em grande extensão para Norte, a partir de Prado, na costa da Bahia, que ainda não foram devidamente pesquisados poderão gerar alvos possíveis de dragagem no futuro.

Atualmente está sendo implantado um grande projeto moderno com draga (wheel dredge) IHC da Holanda, com uso de tecnologia australiana na unidade de beneficiamento nos depósitos de ilmenita de Mataraca, no Rio Grande do Norte, em substituição à lavra seca convencional das dunas com trator e correias transportadoras. A produção dessa draga será da ordem de 10 milhões de t/a(1500t/h).

Outros estudos estão sendo feitos nos depósitos de areias pesadas da costa do Rio Grande do Sul, que poderão justificar novas implantações de dragagens.

As operações a céu aberto utilizando desmonte hidráulico têm ocorrido agora em pequena escala por permitir pouca seletividade, além de serem de alto custo devido ao elevado consumo de energia. Esse método é considerado muito poluidor, exigindo cuidados muito especiais em sua aplicação. Os exemplos mais antigos no Brasil de desmonte hidráulico são as lavras de cassiterita e tantalita em São João D'el Rey, em Minas Gerais. Ele é muito utilizado nos garimpos ilegais.

As maiores operações foram implantadas na lavras de estanho da Amazônia, algumas delas iniciadas com técnicos da Malásia e Bolívia, que introduziram também a técnica de construção das pequenas barragens chinesas. Em Santa Bárbara, Rondônia, foram utilizados monitores com controle automático para alimentação do minério nas plantas a partir de estoques formados pela lavra seca (caminhões e retroescavadeiras), seguindo as práticas existentes na Malásia. Com a direção de engenheiros ingleses, a substituição do desmonte hidráulico por lavra seca foi muito bem sucedida, devido ao melhor planejamento da operação e preparação antecipada das pistas para permitir o tráfego de caminhões durante a estação chuvosa. A introdução do mesmo método de lavra seca de aluviões fora tentada no passado por técnicos da Malásia mas não se obteve resultados.

Glory Hole é um esquema de se lavar as minas de encosta com grande economia de transporte ao se descarregar os caminhões de minério numa chaminé recolhendo-o depois, através de túnel no nível inferior. Na mina de Cananéia, no México, foi instalado o britador primário no fundo deste poço passagem de minério, retirando-se o produto por correias.

Não havendo restrições de degradação e elevada umidade e atentando-se para uma adequada fragmentação, o método, que foi aplicado com sucesso no Morro da Mina em Lafaiete, Minas Gerais, poderá ser ainda utilizado com vantagens em algumas pedreiras urbanas. Desconhece-se a existência atualmente de alguma aplicação local.

2.1.2 - Método de lavra em fatias

Diferentemente dos outros países, notadamente USA, Canadá, Austrália e África, o Brasil possui poucas minas em formações sedimentares e, por esta razão, aplica-se pouco o método de lavra em fatias.

O melhor exemplo brasileiro de aplicação do método para grandes produções são as operações da Mineração Rio do Norte no Pará que foram bem concebidas, possuindo *draglines* de 26jc e 17jc para remoção do estéril e retroescavadeiras hidráulicas de 14m³, carregando a bauxita em caminhões fora de estrada mecânicos de 100t. Por razões econômicas, a expansão deu-se com a aplicação de tratores tipo D-11 de grande capacidade que fazem o descapeamento, evitando-se com isso a compra de novas *draglines* de custo elevado. Utiliza-se, naturalmente, mais mão de obra, mas a solução torna-se mais econômica no seu todo. Essa tendência também está sendo incorporada nas minas de fatias americanas. A principal inovação foi a utilização do equipamento calibrador "MMD siser" próximo da frente, diminuindo o transporte por caminhões, do minério escavado e descarregando em correias transportadoras. Este equipamento foi considerado como o mais importante desenvolvimento dos anos 1980, mas só foi introduzido no Brasil cerca de 18 anos depois!

A mina de Candiota da CRM, no Rio Grande do Sul é a que opera, atualmente, com a maior *dragline* BE de 38 cj.

Uma vez que as *draglines* são equipamentos de custo muito alto, há uma tendência mundial de se utilizarem unidades paradas de menor custo, reformando-as e modernizando-as com resultados econômicos positivos. Por esta razão, deveremos estar atentos para esta possibilidade no futuro.

Um novo projeto importante a ser implantado com uso do método de lavra em fatias, elaborado por consultoria americana para lavra de várias camadas do carvão de Candiota em Seival, no Rio Grande do Sul, prevê a lavra com mineração contínua utilizando escavadeira de rodas de caçamba (*BWE*) e transporte por correia. Será uma operação semelhante às que se tem nos linhetos de Colônia, na Alemanha, porém em menor escala, e espera-se a sua difusão no Brasil.

2.1.3 - Lavra por dissolução

Este método de lavra é muito bem desenvolvido no Nordeste Brasileiro, onde é utilizado para a extração de salgema encontrado nos sedimentos perfurados pela Petrobrás na pesquisa de petróleo. A partir de poços de 1200m de profundidade e 6" de diâmetro injeta-se água doce que dissolve o sal numa área de influência de 160

m, trazendo a solução com 25% de salinidade e transportando para as plantas de evaporação, distantes cerca de 60 km. As duas operações produzem 700.000 e 2.000.000 t/ ano.

As tecnologias são muito fechadas havendo possibilidade potencial de se aplicar o método para a lavra dos depósitos de potássio de Nova Olinda AM, para diminuir nossa dependência externa.

A lavra por dissolução pode também ser considerada uma operação subterrânea, mas foi preferido menciona-la juntamente com os métodos a céu aberto, porque é feita a partir da superfície.

2.2 - Métodos de lavra subterrânea

A escolha de um método de lavra dá-se em função de dois grupos de condicionantes: a geometria do corpo (inclinação e espessura) e características de resistência e estabilidade dos maciços que constituem o minério e suas encaixantes. Não é fácil, portanto, comparar a aplicação de métodos de lavra em uma ou outra região; a comparação entre o padrão tecnológico como um todo é mais fácil, o que se desenvolve a seguir. Alguma comparação pode ser feita a partir dos grupos de métodos citados.

Em geral, os métodos com realces auto-portantes são empregados sempre que possível, tanto no Brasil como no contexto internacional, dado seu menor custo de lavra e baixa diluição.

No Brasil, as restrições ambientais ainda não são tão severas, os custos com manutenção de rejeitos em superfície não são muito elevados, de maneira que as técnicas de enchimento com rejeitos são menos populares.

Ao mesmo tempo, os rejeitos gerados na mineração a céu aberto e no processamento dos bens aproveitados representam um volume muito maior do que aquele gerado pelo processamento dos bens aproveitados através de técnicas de lavra subterrânea, onde os rejeitos de estéril de lavra não costumam vir à superfície. Considerando-se o contexto da disposição dos rejeitos de beneficiamento, pode-se dizer que os métodos com o uso de enchimento sejam um pouco mais populares no contexto de países com maiores restrições ambientais que o Brasil. Estes métodos são, no entanto, empregados no Brasil, quando as condições de aplicação estão dadas.

Vale lembrar, por exemplo, que os Estados Unidos da América são o segundo maior produtor mundial de ouro e quase toda a sua produção se dá a céu aberto. No Canadá, onde a mineração subterrânea é mais expressiva, é muito difundido o uso de sistemas com enchimento, principalmente do tipo *backfilling* ou rejeito pastoso, tipo *paste fill*, que está se tornando comum. As condições de geometria e estabilidade assim o exigem. Na Escandinávia, esses sistemas são também comuns em minas de sulfetos, mas não nas maiores minas, Kiruna e Malberget, minas de ferro, porque não há material para enchimento. Na Austrália onde, de um modo

geral, as restrições ambientais são muito menos severas que as brasileiras, há intenso uso de enchimento quando requerido.

A aplicação de métodos com abatimento das encaixantes depende de condições, muito específicas, dadas pela geometria da lavra e de resistência do maciço do minério e suas encaixantes. São aplicados nos pórfiros de cobre chilenos, na lavra de diamantes na África, na lavra do carvão em várias partes do mundo e na lavra de ouro na África do Sul, onde as minas são muitas profundas, não permitindo aplicar outros métodos.

Os métodos de lavra subterrâneos são classificados em três grupos:

- métodos com realces auto-portantes
- métodos com suporte das encaixantes
- métodos com abatimento

2.2.1 - Métodos com Realces Auto-portantes

Dentre os métodos com realces auto-portantes mais comuns estão os métodos abaixo, sendo que os dois primeiros são os mais difundidos no Brasil:

- câmaras e pilares
- método dos sub-níveis
- *VCR, vertical crater retreat*

São métodos que costumam exigir, para a sua aplicação, elevada continuidade e homogeneidade da qualidade do minério.

São, em geral, métodos de alta produtividade, face à simplicidade das operações conjugadas empregadas.

São empregados na lavra de minérios de menor valor unitário, pois a recuperação é bastante comprometida pelo abandono dos pilares. A diluição costuma ser baixa, dada a estabilidade das encaixantes e o fato de não se trabalhar com material de enchimento.

2.2.1.1-Câmaras e Pilares

É um método que se presta bem à mecanização, desde que a espessura da camada permita a operação de equipamentos em seu interior - cerca de 1,8m - com diluição aceitável.

A perfuração, quando em rochas duras, pode ser feita através de carretas de perfuração tipo *jumbo* ou de martelotes pneumáticos. Em geral são utilizados furos

com diâmetros entre 40 a 45mm (marteleto) ou 45 a 51mm (*jumbos*). Nas rochas brandas como no carvão é utilizada perfuração rotativa.

O carregamento do minério pode ser feito com carregadeiras rebaixadas tipo *LHD* (*load, haul and dump*) a diesel, ou elétricas e carregadores, rastelos. As carregadeiras rebaixadas podem ter de 0.75 m³ até 9 a 11m³.

O transporte pode ser feito a partir dos próprios realces, por *shuttle cars* descarregando em correias transportadoras ou por vias de transporte abertas na lapa para este fim através de caminhões ou trens que podem receber o material desmontado. Os caminhões são rebaixados e articulados e variam em capacidade, normalmente de 15t a 50t.

O método é empregado no Brasil em algumas minas metálicas:

- Urucum, manganês, da CVRD, em Corumbá, no Mato Grosso do Sul;
- Morro Agudo, zinco-chumbo, da Companhia Mineira de Metais, em Paracatu, Minas Gerais;
- Parte da mina de Crixás, ouro, da Anglogold/TVX-Normandy, em Crixás, Goiás, operada a partir deste método.

O método é também empregado na mina potássio de Taquari-Vassouras, da CVRD, em Rosário do Catete, Sergipe, onde o desmonte é feito através de mineradores contínuos, o carregamento por *shuttle cars* e o transporte por correias que levam o minério por distâncias de até 7km. Esta é a mais produtiva e mais moderna mina subterrânea brasileira, operando com equipamentos de última geração. Devido a problemas de segurança dos tetos, a recuperação infelizmente não ultrapassa 46%.

O método de câmaras e pilares está extensivamente aplicado no carvão de Santa Catarina, em profundidades que variam de 70m a 300m. A recuperação máxima é de 50%, porque não está sendo feita a recuperação de pilares para evitar-se a subsidência. A economia do carvão é muito frágil e as minas permanecem com equipamentos do início da década de 1980, sendo que algumas minas fabricam localmente as máquinas para suas necessidades.

2.2.1.2-Método dos Sub-níveis

Esse método permite grande variação em sua aplicação, razão da sua ampla utilização no Brasil.

Uma variante bastante popular é a conhecida como a do método dos sub-níveis com furos longos, *LHOS* (*long hole open stope*), onde são usados furos de diâmetro largo, 115mm ou 150mm, em geral descendentes e se tem entre dois e três sub-níveis (um no piso e os demais no topo). Não é utilizado no Brasil.

Outra variante muito utilizada dos arranjos longitudinais é a dita *sublevel retreat method*, onde é aberto um acesso central e a lavra é feita em recuo das extremidades do corpo em direção a este acesso.

Em outra variante, a lavra é feita através de uma das formas acima e, posteriormente, as escavações são enchidas com estéril ou rejeitos do beneficiamento (*backfilling*), permitindo a sua disposição no interior da mina e os trabalhos com menores vãos expostos, evitando-se abatimentos de grandes proporções, e aumentando a recuperação na lavra.

A perfuração pode ser descendente, ascendente ou radial, em torno dos sub-níveis, os diâmetros variam de 51mm a 150mm, com perfuratrizes de topo ou de fundo de furo, eletro-hidráulicas ou pneumáticas.

A carga e transporte são feitos através de *LHDs* e caminhões, com preferência para os equipamentos de maior porte, sempre que possível. No caso de arranjos longitudinais sem pontos de extração, é necessário o uso de equipamentos dotados de controle remoto para a carga do material desmontado.

O método é empregado no Brasil em vários locais:

- Fazenda Brasileiro, ouro, da CVRD, em Teofilândia, Bahia, na variante *sublevel retreat*;
- Fortaleza de Minas, níquel, do grupo Rio Tinto, em Passos, Minas Gerais, na variante *sublevel retreat*
- São Bento, ouro, da Eldorado, em Barão de Cocais, onde é aplicado com enchimento posterior dos realces;
- Minas da Mineração Vale do Jacurici, cromita, em Andorinhas, Bahia, utilizando *sublevel retreat*

O método por sub-níveis clássico foi empregado nos painéis I e II da Mina Caraíba, de cobre, da Mineração Caraíba, em Jaguarari, Bahia, com arranjos clássicos longitudinais dotados de estruturas com pontos de carga na base dos painéis, sendo que os realces alcançavam dimensões de até 90x35x80m. A operação não era muito bem controlada devido aos deslocamentos que aumentavam a diluição até 35%. Foi também empregado na Mina de João Belo, do grupo Anglo American, em Jacobina, também na Bahia, hoje paralisada, igualmente em arranjos clássicos longitudinais e nas minas da Plumbum- Paraná, Boquira- Bahia e Camaquã- Rio Grande do Sul.

Versões não mecanizadas foram empregadas até a década de 1970 nas minas de scheelita do Rio Grande do Norte e Paraíba.

2.2.1.3 - Recuo por Crateras Verticais (VCR – Vertical Crater Retreat)

Esse método teve uma grande importância na mineração por ter permitido, pela primeira vez, a recuperação de pilares aumentando as recuperações na lavra. Exige, antes, que os realces sejam suportados com enchimento de rocha ou pasta com cimento.

A perfuração neste método é feita sempre descendente, exigindo que se façam furos, acima de 115mm, bem direcionados utilizando-se martelos de fundo de furo. A carga e transporte são feitos com equipamentos semelhantes aos anteriormente citados. Na aplicação do método, cria-se uma face livre horizontal e fazem-se as detonações de cargas esféricas proporcionando a formação de efeitos crateras. Este método desenvolvido pela INCO no Canadá, foi experimentalmente aplicado na mina Caraíba com consultoria sul-africana.

É comum uma variante (VRM – Vertical Retreat Mining) em que a face livre é aberta através de *crater blasting*, ao longo de toda a extensão vertical do realce e os demais furos são detonados por inteiro, como no LHOS.

O método e sua variante tipo LHOS são empregados na Mina Caraíba, de cobre, da Mineração Caraíba, em Jaguarari, na Bahia. Os realces são enchidos com rejeito cimentado (até 5% de cimento), tipo pasta (*paste fill*), após a sua lavra. Os realces são pequenos, permitindo alta velocidade de lavra e melhores condições de estabilidade, a seqüência de lavra é em tabuleiro de xadrez, provendo maior recuperação graças ao uso do enchimento. Este tipo de enchimento permite recuperações acima de 83%, e só se tem uma única operação no Brasil.

2.2.2 - Métodos com Suporte das Encaixantes

Dentre os métodos mais comuns estão:

- recalque (*shrinkage*)
- corte e enchimento

O suporte pode ser dado pelo minério, que pode ser deixado em recalque, ou por material externo, que pode ser trazido aos realces.

São métodos de menor produtividade quando comparados com métodos com aberturas auto-portantes em condições similares. A menor produtividade se justifica em função dos desmontes menores (possibilitando trabalhar com menores vãos), de um maior número de operações conjugadas e da dificuldade própria de manuseio do minério em recalque ou do enchimento.

Em geral, são empregados em minérios de alto valor unitário, pois os custos com enchimento e manutenção do minério em recalque são altos e a produtividade é baixa, onerando a lavra. A diluição costuma ser baixa, o que depende muito da qualidade das encaixantes, do controle do desmonte e da contaminação pelo

material de enchimento. A recuperação costuma ser alta, dado que a quantidade de minério deixada em pilares normalmente é baixa.

2.2.2.1- Recalque

É um método que não se presta bem à mecanização. A relação entre as dimensões dos equipamentos de perfuração e a espessura e inclinação da camada definem a diluição: desde que a espessura da camada permita a operação de equipamentos em seu interior, opera-se com diluição aceitável. É um método possível de ser aplicado em realces de pequena espessura.

A perfuração costuma ser feita através de carretas de perfuração tipo *jumbo* ou *mini jumbos*, carretas tipo *wagon drill*, eletro-hidráulicas ou pneumáticas ou de marteletes pneumáticos. Em geral são utilizados furos com diâmetros entre 40 a 45mm (marteletes) ou 45 a 51mm (*jumbos* e *wagon drills*).

O carregamento do minério pode ser feito com carregadeiras rebaixadas tipo *LHD* a partir dos pontos de carga, quando são usados caminhões em sistemas sem chutes ou a partir de chutes ou carregadeiras tipo *overshoot loader*, quando se utilizam trens.

O transporte pode ser feito por caminhões ou trens com vagões de pequeno porte. Quando são usados caminhões, estes são rebaixados e articulados e variam em capacidade, de 15t até 20t a 25t. Quando são usados trens, os vagões costumam ser do tipo *gramby* com 4t a 8t de capacidade, em trens com 8 a 12 vagões por composição.

O método foi empregado no Brasil em algumas minas metálicas:

- várias minas de Morro Velho, ouro, hoje da AngloGold, na região de Nova Lima, Minas Gerais, atualmente em revisão dos projetos;
- São Bento, ouro, da Eldorado, em Santa Bárbara, Minas Gerais;
- Itapicuru, da Anglo American, em Jacobina, Bahia, hoje paralisada.

São todas minas semi-mecanizadas.

2.2.2.2-Corte e Enchimento (Corte e Aterro)

É um método que permite lidar com variações quanto à continuidade e homogeneidade da qualidade do minério, provendo diluição e recuperação aceitáveis.

Caso o material de enchimento seja estéril (do desenvolvimento ou outra fonte), configura-se o enchimento dito mecânico, que pode ser feito com ou sem a adição de cimento. Quando o material de enchimento é o rejeito do beneficiamento (*backfill*), cimentado ou não, configura-se o rejeito hidráulico.

É um método que permite bom grau de mecanização. A relação entre as dimensões dos equipamentos e a espessura e inclinação da camada definem a diluição: desde que a espessura da camada permita a operação de equipamentos em seu interior, opera-se com diluição aceitável.

O grau de mecanização e o tamanho dos equipamentos são definidos a partir da geometria do corpo, sendo usados sistemas mecanizados sempre que a espessura e inclinação o permitirem; nesses casos, utilizam-se equipamentos de pequeno ou médio porte. Nos sistemas semi-mecanizados costuma-se utilizar marteletes para a perfuração e pequenas *LHDs* ou rastelos para a limpeza.

A perfuração é normalmente feita por carretas de perfuração tipo *jumbo* ou carretas tipo *wagon drill*, eletro-hidráulicas ou pneumáticas ou de marteletes pneumáticos. Em geral são utilizados furos com diâmetros que variam de 40mm a 45mm (marteletes) ou 45mm a 64mm (*jumbos* e *wagon drill*).

O carregamento do minério pode ser feito com carregadeiras rebaixadas tipo *LHD*, cuja capacidade varia desde pequenas unidades com capacidade de até 0.4m³, usualmente elétricas, até unidades com até 3m³, raramente maiores.

O transporte pode ser feito por caminhões ou trens com vagões de pequeno porte, tal como se utiliza para o recalque.

Quando se usa enchimento hidráulico, é necessário drenar e bombear de volta para a superfície a água utilizada no transporte dos rejeitos. Em sistemas semi-mecanizados são montadas estruturas de drenagem cuja construção é trabalhosa e onerosa. Em sistemas mecanizados estas estruturas costumam ser mais simples.

A utilização de rejeito pastoso (*paste fill*) permite contornar a questão da drenagem de forma engenhosa, porém o custo é elevado.

O método é empregado no Brasil em algumas minas metálicas:

- Cuiabá, ouro, da Anglogold, em Sabará, Minas Gerais, onde se utiliza enchimento mecânico;
- São Bento, ouro, da Eldorado, em Santa Bárbara, Minas Gerais, com enchimento por *backfill*;
- Maior parte da mina de Crixás, ouro, da Anglogold/TVX-Normandy, em Crixás, Goiás, onde se faz o enchimento com areia.

São todas minas mecanizadas. Os sistemas semi-mecanizados caíram em desuso no Brasil em meados da década de 1980.

2.2.3- Métodos com Abatimento

Dentre os métodos mais utilizados, encontram-se:

- abatimento em sub-níveis (*sublevel caving*)
- abatimento por blocos (*block caving*)
- *longwall*

São métodos que exigem, para a sua aplicação, continuidade e homogeneidade da qualidade do minério e que a capa seja sempre suficientemente instável para desmoronar, enchendo o espaço do minério que foi retirado.

São, em geral, métodos de alta produtividade, face à simplicidade das operações conjugadas a serem empregadas.

Normalmente, esses métodos são empregados em minérios de menor valor unitário, pois a diluição costuma ser alta. A recuperação é frequentemente comprometida pelo abandono de parte do minério onde a diluição é maior.

2.2.3.1- Abatimento por Sub-níveis (*Sublevel Caving*)

A perfuração é ascendente, feita, em geral, com furos de diâmetro mais largo, entre 76mm e 102 mm.

A carga e o transporte são feitos por equipamentos semelhantes aos utilizados no método dos sub-níveis, com preferência para os de maior porte, sempre que possível.

No Brasil, o emprego desse método ocorre nas minas de cromita da Mineração Vale do Jacurici, em Andorinhas, Bahia. Foi adotado na Mina de Fazenda Brasileiro, de ouro, da CVRD, em Teofilândia, também na Bahia, na porção mais superficial, onde se usou a variante com recalque. O método vem sendo aplicado em algumas situações na Mina Caraíba.

2.2.3.2- Abatimento por Blocos (*Block Caving*)

A carga e o transporte são feitos por equipamentos semelhantes aos utilizados no método dos sub-níveis, com preferência para os de maior porte.

É um método pouco popular, sendo usado por excelência nos pórfiros de cobre do Chile. Não foi até agora empregado no Brasil. É o método que está sendo adotado nas maiores minas do mundo como Palabowra, na África do Sul, e El Teniente, no Chile, lavrando-se minérios com teores de 0,7 a 1,0% de cobre.

2.2.3.3- Longwall

É um método comum na lavra de carvão e de potássio para profundidades maiores do que 300m. Há casos de utilização em mineração de ouro em rocha dura.

Este método só foi experimentalmente utilizado na lavra de carvão de Leão I, no Rio Grande do Sul. Está havendo uma grande restrição dos órgãos ambientais no momento de autorizar a aplicação do método devido a não se permitir subsídências. Em outros países, inclusive Estados Unidos, a aplicação do método tem sido permitida fazendo-se as proteções necessárias.

O desmonte é feito com mineradores contínuos ou a fogo, com o uso de equipamentos de perfuração de pequeno porte.

A carga é feita por transportadores de correntes que operam junto à face, alimentando correias transportadoras ou *shuttle cars* dispostas nas travessas.

3- OPERAÇÕES UNITÁRIAS E SERVIÇOS AUXILIARES

O padrão de operação unitária em subsolo é condicionado por dois grandes grupos: aquelas características de rochas duras e aquelas características de rochas moles.

Na mineração de rocha dura, o desmonte é feito a fogo, sendo necessário perfurar o material a ser desmontado, carregar estes furos e proceder ao desmonte, para, então, fazer a carga e limpeza.

Os equipamentos utilizados para a mineração de rocha dura eram divididos, até meados da década de 1970, nos sistemas sobre trilhos e os ditos *trackless*. Assim, os sistemas sobre trilhos, semi-mecanizados, eram caracterizados pelo uso de marteletes pneumáticos, rastelos, carregadeiras pneumáticas tipo *overshoot loader* e trens de pequeno porte, com *gramby cars*. Os sistemas tipo *trackless* se caracterizam pelo uso de carretas de perfuração tipo *jumbo*, carregadeiras rebaixadas tipo *LHD* e caminhões rebaixados. Esta distinção está perdendo o sentido, dado que os sistemas sobre trilhos estão caindo em desuso, seja pela baixa produtividade, seja pelas piores condições de segurança dos trabalhos e, mais comumente, por uma combinação destes fatores.

O tipo de equipamento que é utilizado tem relação com a espessura do minério e a escala de produção e define a produtividade da operação.

Em escalas menores, são utilizados equipamentos menores, que podem ser acomodados em aberturas de, no mínimo, $2 \times 2 \text{ m}^2$. A perfuração para desenvolvimento é feita por carretas de perfuração tipo *jumbo*, usualmente de um braço, que fazem furos de 45mm a 51mm até 3m de extensão ou marteletes pneumáticos, utilizando-se diâmetros em torno de 40mm e extensão entre 1,60m e 2,40m. O uso de marteletes tem sido cada vez menos comum, a perfuração de produção é feita através de carretas tipo *wagon drill*, em diâmetros de 51mm a 64mm. A carga costuma ser feita através de carregadeiras tipo *LHD* com capacidades que varia de $0,4 \text{ m}^3$ até, no máximo, 4 m^3 . O uso de rastelos é cada vez menos comum. O transporte é feito por caminhões de 7t a 10t ou 15t, a depender do tamanho das vias, ou por trens, especialmente composições com vagões tipo *gramby car* com 4t a 8t de capacidade, sendo usados 8 a 12 vagões por trem. Os trens deste porte estão caindo em desuso.

Em escalas intermediárias, utilizam-se vias de acesso com 4x4 m² e os equipamentos de perfuração são carretas de perfuração tipo *jumbo* com dois braços, que fazem furos de 45mm a 51mm com 3m até 4m de extensão. Os marteletores pneumáticos são usados para atividades auxiliares; a perfuração de produção costuma ser feita por equipamentos específicos para este fim e os diâmetros variam entre 76mm até 150mm. A carga se processa por meio de carregadeiras tipo *LHD* com capacidade entre 4,5m³ e 7m³. O transporte é feito por caminhões desde 20t até 25t a 30t.

Em uma escala maior, utilizam-se vias de acesso de 5x5 m² ou um pouco maiores e os equipamentos de perfuração são carretas de perfuração tipo *jumbo* com dois braços, raramente três braços, similares às anteriores; a perfuração de produção também é feita por equipamentos específicos. A carga costuma ser feita por carregadeiras tipo *LHD* com capacidades entre 9m³ e 11m³. O transporte é feito por caminhões de 40t a 50t, raramente maiores.

Os sistemas empregados para rocha mole consistem, em geral, em mineradores contínuos para o desmonte e carga, *shuttle cars* e correias transportadoras para o transporte; por vezes utilizam-se os mineradores contínuos ou mesmo carretas tipo *jumbo* em combinação com carregadeiras tipo *LHD* e caminhões.

Os equipamentos principais utilizados no contexto mais moderno, como carretas de perfuração tipo *jumbo*, carregadeiras rebaixasadas tipo *LHD*, caminhões de baixo perfil, mineradores contínuos e equipamentos de transporte tipo *shuttle cars*, são, em geral, encontrados ao menos nas minas citadas como referência. Ocorre, todavia, que todos, sem exceção, são importados. Não há escala para sua fabricação no País. Somente nas minas de carvão de Santa Catarina, pequenos equipamentos estão sendo feitos localmente, sempre copiados.

A falta de disponibilidade de um mercado eficiente para o fornecimento de serviços de manutenção - peças e partes - gera custos muito altos de manutenção dos equipamentos, baixa disponibilidade e queda de produtividade.

Devido à pequena escala da mineração subterrânea no Brasil, o fornecimento de serviços, seja pelo representante, seja pelo mercado em geral, é muito deficiente. Os operadores das minas assumem, então, essas atividades, perdendo o foco de sua atenção com relação ao negócio principal. A manutenção mecânica e elétrica passa a ser uma atividade igualmente responsável pela produção.

A falta de disponibilidade de peças e partes importadas e as dificuldades com logística e desembaraço aduaneiro induzem os operadores das minas a arcar com altos custos de almoxarifado. Tendo em conta o alto custo das peças, seja intrínseco, seja pela alta carga tributária, seja ainda pelo baixo giro do estoque e a dificuldade em adquiri-las, são comuns tentativas de nacionalizar componentes, tirando o minerador de seu foco principal e transformando-o em um dos estimuladores do desrespeito às patentes na tentativa de manter competitividade.

O mercado local de equipamentos fixos específicos para mineração, tais como ventiladores e bombas, é pouco desenvolvido, havendo uns poucos fornecedores,

alguns deles ainda desenvolvendo seus produtos em parceria ou, em outros casos, à custa da produtividade dos mineradores.

Os equipamentos eletro-eletrônicos necessários são comuns da indústria de base, sendo encontrados sem problemas.

O mercado local ainda é pouco desenvolvido para o fornecimento de equipamentos auxiliares, como equipamentos móveis de apoio, para reforço e para desmonte de rocha. Tendo em vista o alto custo dos equipamentos importados enfrentado pelas mineradoras, uma série dessas atividades não é mecanizada ou se utilizam adaptações de baixo desempenho. Em algumas minas, principalmente de veios estreitos, ainda co-existe a operação mecanizada com elementos dos sistemas semi-mecanizados, o que, de resto, também ocorre no exterior.

Alguns dos fatores condicionantes da defasagem de padrão tecnológico entre as operações brasileiras e as operações de ponta num contexto internacional referem-se às operações auxiliares. A mecanização parcial das operações, principalmente das atividades de apoio, é praticada face ao baixo custo da mão-de-obra menos qualificada no País e o alto custo dos equipamentos importados. A questão é que este meio termo entre a operação mecanizada e a semi-mecanizada é prejudicial à ponta tecnológica, isto é, o nivelamento é feito, muitas vezes por baixo. A mecanização só surte resultado quando adotada integralmente, o que exige o uso de equipamentos modernos, também para as atividades de apoio. Esse quadro nem sempre se verifica, comprometendo os resultados em termos de segurança e produtividade.

3.1 - Perfuração e Desmonte

A perfuração frontal para o desenvolvimento de galerias e rampas é feita, sempre que possível, com o uso de carretas de perfuração tipo *jumbo*, provendo qualidade e produtividade. Outra geometria de carreta é utilizada para furos de produção, permitindo a perfuração paralela ou em leques.

A perfuração eletro-hidráulica vem se tornando cada vez mais popular para o desenvolvimento e furos de produção de menores diâmetros, até cerca de 76mm, utilizando-se martelos de topo de furo. Acima desses diâmetros, prevalece o uso de perfuração pneumática, sempre que possível com o uso de martelos de fundo de furo, com menores desvios.

O uso de perfuração descendente de diâmetro mais largo (<6") permitiu o desenvolvimento de métodos de abertura de subidas mais seguros, como os *drop raises*, onde se emprega o conceito de *crater blasting*.

O uso de explosivos tipo *ANFO* é bastante difundido em subsolo e as emulsões são utilizadas como *primers*. Num contexto mais moderno, são utilizadas emulsões bombeadas, com o carregamento mecanizado junto à face, tal como é feito nas minas a céu aberto.

O uso de espoletas de retardo não-elétricas, popularizado durante os anos 1980, tem contribuído para a melhoria do desempenho dos desmontes e das condições de segurança. As espoletas eletrônicas mais modernas, tipo IKON, estão ainda sendo introduzidas a título demonstrativo, o custo é ainda bastante elevado e seu uso só tem sido justificado em aplicações muito específicas.

O advento do paralelismo automático nos *jumbos* e do uso de espoletas de retardo não-elétricas com maior precisão dos tempos de retardo, tem permitido aumentar a extensão da perfuração de galerias de 3,20 m para 4,40 m e extensões maiores, alcançando-se, ao mesmo tempo, maiores eficiências de avanço.

O fornecimento dos insumos de perfuração para o mercado nacional é feito por fabricantes locais que têm produtos de boa qualidade, testados e aprovados.

Há, ainda, no Brasil, uma cultura algo arraigada de executar a perfuração de produção ascendente, o que muitas vezes poupa em desenvolvimento, mas expõe os trabalhadores a condições indesejáveis de segurança quando da perfuração do teto. É uma prática também comum na Escandinávia, mas pouco vista em outros países, onde os furos descendentes são preferidos, seja pelas melhores condições de segurança, seja pela facilidade no carregamento dos furos, especialmente os mais largos que 76mm.

A emulsão bombeada, de largo uso em operações do mesmo porte das citadas no exterior e relativamente popular em céu aberto, ainda é muito cara e seu uso é ainda restrito nas minas subterrâneas, utilizando-se o ANFO sempre que possível.

3.2- Carga e Transporte

O uso de sistemas de injeção eletrônica tem permitido que os equipamentos de carga e transporte a diesel tornem-se cada vez mais eficientes em termos do consumo de combustível, melhorando, também, o desempenho no tocante às emissões dos gases de escape. Os equipamentos de injeção eletrônica são populares no País.

As condições mais favoráveis, quanto à introdução de eletrônica embarcada e as condições mais restritivas quanto à segurança dos trabalhos, vêm vulgarizando o uso de unidades remoto controladas para as atividades mais perigosas, em particular a carga do minério em realces, o que é característico de sistema de lavra sem pontos de carga. Algumas precauções devem ser tomadas, principalmente no que diz respeito aos riscos do equipamento perder o sinal ou se desligar no modo remoto no interior dos realces. Os sistemas de controle, principalmente para aceleração e desaceleração, devem ser precisos e sensíveis à carga, permitindo operação suave do equipamento, evitando danos ao sistema de transmissão. Outra preocupação refere-se ao balanceamento do equipamento com e sem carga, que, se não for muito equilibrado, ocasiona patinamento e consumo excessivo de pneus. Como o operador não está a bordo do equipamento e o estado da pista é dificilmente mantido em boas condições, os esforços excessivos sobre os sistemas de escavação e de articulação são comuns, o que exige cuidados adicionais quanto à inspeção e manutenção. Resulta que estes equipamentos possuem vida útil menor

que outros empregados em condições similares em desenvolvimento ou sistemas de lavra com pontos de carga.

Os equipamentos de tração elétrica para carga e transporte tiveram alguma popularidade em meados da década de 1980, mas têm sido empregados cada vez mais em situações muito específicas, onde as exigências de ventilação são muito restritivas, seja em razão de sua menor flexibilidade quando são comparados com equipamentos a diesel, seja em razão dos altos custos de aquisição e manutenção.

Os trens têm tido aplicações cada vez mais limitadas a escalas de produção elevadas, onde foi possível implantar sistemas altamente automatizados. Em outros casos, estão em desuso, pela baixa produtividade, dificuldade de manutenção e menor flexibilidade quando comparados com sistemas sobre rodas.

O Brasil tem acompanhado, de um modo geral, estas tendências.

3.3 - Contenções

A queda de blocos soltos dos tetos e paredes das minas constitui-se na principal causa de acidentes mais graves em subsolo no Brasil e em todo o mundo.

Para sua estabilização, permitindo maior segurança às pessoas e equipamentos, são utilizadas freqüentemente vários tipos de contenções. As contenções mais simples podem ser feitas com chumbadores tipo *swellex*, *split sets* ou vergalhões concretados como em Jacurici na Bahia e outras minas, evoluindo para tirantes com coquilha ou de resina, conforme a aplicação o exija. São, ainda, utilizados sistemas de estabilização com tela e concreto projetado. Para situações em que o comprimento dos sistemas de estabilização tem que ser maior, utiliza-se cabeamento, com até 15 a 25 m, como é feito no maciço da mina de Cuiabá em Raposos e Vazante, Minas Gerais, e de Fazenda Brasileiro, na Bahia, e situações especiais na mina Caraíba na Bahia.

Em minas como a Caraíba, a exigência de sistemas de estabilização torna-se obrigatória em todas as aberturas subterrâneas, que têm de ser reforçadas. A estabilização se torna um elemento importante para a continuidade das operações, impactando de maneira elevada no custo.

Nas minas de carvão subterrâneas de Santa Catarina as contenções dos tetos são operações obrigatórias e precedem toda perfuração das frentes de lavra. Em algumas minas os furos são feitos com equipamentos simples de fabricação local

Os equipamentos mais utilizados de modo geral são os próprios jumbos ou *rock bolters* que já estão presentes em algumas minas brasileiras e *cable bolters*, máquinas mais específicas que ainda não se tem no Brasil.

3.4 - Perspectivas Futuras

Uma série de inovações técnicas vem sendo estudadas e desenvolvidas e deverão estar disponíveis nos próximos anos, algumas delas são discutidas a seguir.

O desmonte contínuo em rochas duras é uma linha de desenvolvimento muito promissora, pois elimina dois inconvenientes: o desmonte de rochas por bateladas e o uso de explosivos. O desmonte contínuo já é prática corrente nas operações em rocha mole e em algumas aplicações para rocha dura, tais como abertura de túneis com *TBM (tunnel boring machines)* e escavação de subidas com *raise borers*. É, ainda, de custo elevado, mas a sua aplicação deverá ser estendida no futuro, com grandes benefícios em termos de segurança dos trabalhos e produtividade. O mais conhecido exemplo de abertura de escavações com *TBM* e o da mina de S. Manoel, no Arizona, em 1996, que infelizmente encontra-se paralisada no momento devido ao preço do cobre.

No Brasil, estes equipamentos vêm sendo usados em aplicações muito específicas e só existe um fornecedor de serviços de *raise boring*. Algumas mineradoras dispõem de equipamentos de pequeno porte e as demais contratam os serviços conforme a necessidade, através de dispositivos de importação temporária dos equipamentos que, infelizmente, torna o fornecedor local menos competitivo devido às liberalidades concedidas na importação para os concorrentes estrangeiros.

Algum desenvolvimento local foi conseguido com a abertura de chaminés cegos de altura moderada, até 15m com detonação única.

Outra linha de pesquisa, muito promissora em termos de mineração subterrânea, vem sendo desenvolvida na Escandinávia e na Alemanha: o *hydraulic hoisting*. De uma certa maneira, o *hydraulic hoisting* emula o uso do *in-pit-crushing*, já bastante popularizado em céu aberto. Fragmenta-se o material a ser extraído até uma granulometria adequada e faz-se a extração por meio de bombeamento a alta pressão, com otimização do uso da energia de bombeamento através do uso de válvulas. A viabilidade técnica está comprovada e há protótipos sendo testados. É uma solução muito atraente para a extração em maiores profundidades, substituindo o uso de guinchos, *skips* etc.

A popularização das aplicações da eletrônica decorrente da queda de custos destes sistemas vem contribuindo de forma significativa nos aspectos de monitoramento e controle. A aplicação de sistemas automatizados para monitoramento de condições ambientais relativas aos maciços rochosos e à ventilação e outros sistemas ainda é pouco comum, mas muito promissora em termos de segurança e produtividade agregadas. As aplicações em eletrônica embarcada em equipamentos fixos e móveis são cada vez mais comuns e vêm se popularizando devido à queda dos custos, agregando qualidade dos trabalhos, segurança e produtividade. Em algumas minas, os sistemas de perfuração e transporte já contam com equipamentos robotizados ou controlados em modo remoto. Há uma tendência do uso cada vez mais difundido desta tecnologia. Alguns equipamentos de perfuração estão sendo

adquiridos, como o Accra Feed, que permite o avanço automático da broca de acordo com a sua dureza, nas perfurações com martelo de fundos.

Em uma mina de carvão de Santa Catarina já se adquiriu o aparelho Estratascop, que permite definir a litologia diretamente orientando a sustentação dos tetos.

Na Mina Caraíba, Bahia, está sendo instalado o sistema de registro de movimentos sísmicos em tempo real, para conhecer os eventos que servirão para orientar os trabalhos no subsolo.

Ao mesmo tempo, a automação dos sistemas de produção, apoio e monitoramento é um desenvolvimento recente na mineração subterrânea como um todo e, em particular, no Brasil. A queda dos custos do *hardware* para comunicação e automação tem propiciado avanços interessantes, mas a mineração subterrânea no país ainda está muito distante de operações de ponta, como as da INCO ou LKAB, por exemplo. É também uma área de grande oportunidade de melhoria, tendo em conta as possibilidades em termos de segurança dos trabalhos, qualidade e produtividade.

3.5 - Planejamento de Mina e Disciplinas Correlatas – Situação no Brasil

De uma maneira geral, os métodos e processos de produção empregados nas operações brasileiras citadas são modernos; o planejamento de mina, entretanto, necessita de algumas considerações.

A primeira questão que se coloca é a aderência da execução aos planos, seja porque inadequados, seja pela falta de disciplina ou persistência com respeito a esta questão. Este comportamento induz ao uso de soluções de campo, que poucas vezes mostram ser as melhores. Parte dessa dificuldade deriva, também, de comunicação deficiente. A questão é mais gerencial que técnica.

O planejamento de mina é um dos grandes diferenciais entre as operações brasileiras citadas. Na maior parte delas se dispõe do básico, que são as ferramentas informatizadas para planejamento, até porque o custo de *hardware* e *software* em si é relativamente baixo. No entanto, há deficiência de formação de recursos humanos em áreas importantes. Existe também, por esta razão, uma demora excessiva em implementar nas minas os novos *softwares* adquiridos, o que torna cara qualquer mudança.

Estas deficiências fazem com que comumente não se utilize as ferramentas de planejamento em todo o seu potencial e a integração entre as várias funções de planejamento e deste com a operação seja com frequência deficiente, induzindo, uma vez mais, às soluções de campo. Felizmente, está havendo uma melhora significativa neste particular nos últimos tempos.

Há dificuldades em geologia de mina, pela carência de pessoal especializado e de uma formação mais específica para os geólogos de mina, confundindo-se, no mais

das vezes, os papéis entre os geólogos de pesquisa e aqueles que operam as minas.

Com relação às técnicas de geoestatística, reconhece-se que são bem desenvolvidas e popularizadas as aplicações no âmbito da estimativa de reservas, mas não há a necessária seqüência no aproveitamento desta técnica para parametrização de reservas, mais especialmente para o planejamento de minas subterrâneas e sua avaliação econômica.

A cultura de reconciliação de teores entre mina e usina começa a ser implantada de maneira mais técnica, notadamente nas empresas que seguem as normas internacionais para reportagem de reservas. O advento destes cálculos dá lugar ao levantamento das causas da imprecisão na estimativa dos teores, levando à racionalização dos programas de exploração geológica de detalhe e da diferenciação dos efeitos da imprecisão de estimativa e diluição.

A Mecânica das Rochas é usada rotineiramente em algumas operações e em outras não. Onde é utilizada, muitas vezes não há o foco em trabalhos de prevenção com relação aos aspectos de segurança e diluição - maior justificativa destes estudos no exterior. A ferramenta é com freqüência utilizada para mitigar efeitos adversos de problemas já ocorridos por falta de planejamento. Muitas das dificuldades em fragmentação e desmonte, onde se concentra parte significativa dos custos de mineração, também advêm da falta de uma abordagem desta disciplina a partir da perspectiva oferecida pela Mecânica de Rochas. O pessoal especializado em Mecânica de Rochas existente no Brasil foi formado em obras civis e poucos são os engenheiros e geólogos com formação em mineração, sendo necessário recorrer com muita freqüência a especialistas estrangeiros. Algumas empresas permitem que especialistas brasileiros integrem estas consultorias, mas isto é raro, porque implica aumento de custos. É preciso reconhecer que não temos ainda a devida experiência nesta área, porque os consultores locais não tiveram oportunidade de trabalhar em minas do exterior, como é o caso da maioria dos consultores externos selecionados. Os centros de pesquisa são pouco interatuantes com a indústria, por dificuldades de um ou outro, assim, o trabalho científico neste campo no País é muito incipiente. Merecem ser citadas as exceções representadas pela COPPE do Rio de Janeiro, pelo CENPES da Petrobrás, também no Rio de Janeiro, e pela Universidade de São Carlos que têm desenvolvido trabalhos de qualidade.

A cultura de se acelerar a velocidade de lavra, evitando a relaxação dos maciços e operando-se com baixa diluição, tão bem entendida sobretudo pelos canadenses, ainda é pouco compreendida entre nós. Este fator é um dos determinantes na alta diluição que ainda se verifica entre as minas subterrâneas brasileiras: os realces ainda são muito grandes, o que dá lugar a grandes aberturas (grandes vãos expostos) e diminui a velocidade de lavra. Os sistemas de controle de diluição baseados em estações topográficas totais começam a ser implantados nas minas e o resultado de seu uso certamente será positivo a médio prazo.

A ventilação de minas é uma área de grande deficiência de conhecimentos e de pessoal local especializado. Com exceção da Anglogold, que dispõe de alguns especialistas bem formados, esta é uma das áreas de grandes oportunidades de

melhoria, em se tratando do suporte técnico necessário para a mineração subterrânea. É preciso recorrer a especialistas estrangeiros para trabalhos dos mais elementares. Dessas carências resulta que as temperaturas de fundo de nossas minas são mais elevadas.

As técnicas de pesquisa operacional, base para programação e simulação, começam a ser empregadas em mineração subterrânea, ainda de forma muito incipiente. Entretanto, as dificuldades não são maiores, uma vez que o País dispõe de técnicos bem formados que atuaram em planejamento de lavra a céu aberto (as operações da MBR são uma referência neste aspecto) e que podem contribuir neste particular. Resta, porém, qualificar este pessoal para o contexto da mineração subterrânea.

A avaliação econômica é outra área em que há grandes oportunidades de melhoria, tendo em vista o número reduzido de especialistas no assunto disponíveis no País. Destaca-se o trabalho desenvolvido no Instituto de Geociências da Universidade de Campinas. Embora o País tenha pessoal qualificado nesta área atuando em finanças e finanças corporativas, este conhecimento não permeia as estruturas das empresas até as minas. Merece citação, neste particular, a iniciativa de capacitação que vem sendo desenvolvida pelo IBMEC.

Outro aspecto relevante é o pequeno número de técnicos generalistas existentes no País e que tiveram a oportunidade de participar de um bom número de projetos, adquirindo as competências necessárias para interligar as ferramentas tecnológicas especializadas de maneira eficiente. Também para esta matéria, é freqüente a necessidade de recorrer a especialistas estrangeiros, até porque não há oferta suficiente deste tipo de serviço no mercado de engenharia de minas no Brasil.

Deverá ser inserido no planejamento das minas o aspecto que está tomando corpo no presente e está sendo chamado de "Plano de fechamento da mina". Deverá ser dinâmico e suceder naturalmente a todas as revisões dos planos operacionais. É uma nova atitude a qual deveremos dar a melhor atenção.

4 – COMPARAÇÃO ENTRE O CONTEXTO INTERNACIONAL E A SITUAÇÃO DO BRASIL

Os referenciais mais importantes para a lavra subterrânea são encontrados na Escandinávia - Suécia e Finlândia - , América do Norte - em especial no Canadá-Chile, África do Sul e Austrália. Os países citados concentram o maior número de minas, universidades, instituições de pesquisa e fornecedores de equipamentos, conhecimentos, enfim, relativos ao contexto mais avançado da mineração subterrânea, sendo acompanhados pelos demais, inclusive o Brasil.

4.1- Referências no contexto internacional

Na Escandinávia encontram-se as minas gigantescas de Kiruna e Malberget, da LKAB, na Suécia, onde se registrou grande desenvolvimento de técnicas de planejamento de Mina, de mineração de larga escala, de desenvolvimento de equipamentos e de automação. O país é uma referência em termos de fabricação de equipamentos móveis através da Atlas Copco e Sandvick. Os trabalhos de pesquisa e formação de pessoal realizados pela Universidade de Lulea são de ótima qualidade.

Na Finlândia, as minas de sulfetos polimetálicos foram os locais de maior desenvolvimento tecnológico, em particular as minas do grupo Outokumpu. Cita-se o grupo Tamrock, fornecedor de equipamentos móveis.

Na América do Norte, em especial no Canadá, houve um grande desenvolvimento da mineração de rocha dura, em especial no cinturão do Abitibi, entre as províncias de Ontario e Quebec. As operações da Inco, da Noranda e da Falconbridge apresentam alto padrão tecnológico. Na costa Oeste, há várias operações em rocha mole, principalmente para extração de sal e alguma mineração de urânio. O país dispõe, também, de um parque de fornecimento de equipamentos e serviços bastante desenvolvido. As iniciativas do Estado e a conjugação dos esforços de várias empresas privadas no estudo de alguns problemas, como geoestatística, análise econômica, diluição, análise de estabilidade, reforço dos maciços, entre outros temas, sempre em estreita associação com as universidades, têm permitido o estabelecimento de centros de referência, tais como a University of Toronto, a McGill University, a Queen's University e a University of British Columbia. Os canadenses merecem também ser citados pelo modelo organizacional de suas minas e suas relações de trabalho.

Os Estados Unidos da América apresentam grande desenvolvimento, em particular na mineração de carvão, notadamente no meio Oeste americano. A mineração subterrânea de ouro já foi bastante desenvolvida, hoje predominam as minas a céu aberto do Carlin Trend, em Nevada. Os estudos de ventilação e reforço, desenvolvidos pelo Bureau of Mines entre os anos 1950 e 70, merecem registro. A Colorado School of Mines e a Universidade da Pensilvânia estão entre as referências acadêmicas mais importantes. O parque fornecedor de equipamentos móveis é muito desenvolvido.

O Chile é uma referência importante pela mineração de cobre, respondendo por cerca de 30% da produção mundial, em alguma parte a partir de minas subterrâneas. Destacam-se as minas da Codelco, estatal chilena de cobre, que estão entre as operações em subsolo de maior escala.

A África do Sul, cuja produção de ouro está em declínio, ainda é uma referência muito importante na mineração de rocha dura, ocupando lugar de destaque também na mineração de diamantes e platina. Várias das minas sul-africanas estão hoje com trabalhos abaixo de 3000m de profundidade. Os desafios que levaram ao entendimento das condições de trabalho a estas profundidades trouxeram grande desenvolvimento tecnológico, em particular no que diz respeito aos fenômenos ligados à mecânica das rochas e ventilação; citam-se os trabalhos do CSIRO e da Mine Ventilation Society of South Africa nestas áreas. As dificuldades de extração a

partir de altas profundidades fizeram com que os sul-africanos se tornassem especialistas na escavação e no desenvolvimento de equipamentos para este fim. Este último mercado vem sendo dominado mais recentemente por empresas escandinavas, alemãs e americanas como a ABB, Siemens e Nordberg. Os sul-africanos foram também, no passado, referência por seus modelos organizacionais. Destacam-se também as estruturas de funcionamento e de certificação de pessoal da Chamber of Mines. As operações de empresas como a Rio Tinto, Anglo American e Gencor estão em conformidade com os melhores padrões internacionais.

A Austrália também ocupa posição importante no contexto da mineração subterrânea atualmente. As minas são, em geral, de alta produtividade, com o uso de métodos e técnicas modernas de planejamento e operação. Está na Austrália o mercado de *software* para mineração mais concorrido do mundo. Vale a pena citar os estudos desenvolvidos pela AMIRA, em grande parte financiados por fundos constituídos pelas empresas mineradoras. A University of Queensland e a University of Western Australia são referências acadêmicas de primeira linha, atuando em estreita cooperação com a indústria. A relação de trabalho nas minas australianas é também digna de nota, por ser única e muito sujeita às condicionantes de operações em locais remotos.

Na mineração de rocha mole, a Alemanha é uma referência importante por suas minas de carvão e sal e como fornecedora de equipamentos móveis.

A Inglaterra também deve ser destacada, uma vez que formou a maior parte da mão-de-obra especializada que por muitos anos desenvolveu os trabalhos na porção mais meridional da África, na Austrália e em outros países. A mineração de carvão ocupou lugar importante até há alguns anos. Ainda hoje, várias das empresas de engenharia com competência para trabalhos em subsolo estão situadas no país.

4.2- A mineração subterrânea no Brasil em uma perspectiva internacional - referências da indústria

A maior parte da produção mineral brasileira é feita a céu aberto sendo pequena a quantidade de minas subterrâneas. Contam-se poucas operações com uma escala superior a 400t/d.

São poucas operações mecanizadas; em algumas co-existe certa produção semi-mecanizadas e o padrão tecnológico operacional apresenta alguma homogeneidade, havendo maior desenvolvimento em uma ou outra área em determinada empresa ou mina conforme as dificuldades locais.

De uma maneira geral, os métodos e processos de produção empregados nas minas brasileiras são modernos, estando próximos, em termos de segurança e produtividade dos trabalhos, ao que se consegue na média no exterior. A distância em relação às operações de ponta num contexto internacional é, entretanto, ainda grande. Alguns dos fatores condicionantes desta defasagem são explorados em seguida.

Uma série de instituições de ensino e pesquisa tem desenvolvido trabalhos com qualidade comparável ao que de melhor se faz no exterior. Entretanto, há que se estreitar os laços entre estas instituições e a indústria, o que será abordado na análise da formação dos recursos humanos.

5 - SUGESTÕES DE LINHAS ESTRATÉGICAS DE PESQUISA E DE CURSOS/EVENTOS DE FORMAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL

Na implantação da lavra de um empreendimento mineiro é imperativo que sejam aplicados os métodos e equipamentos definidos no projeto executivo.

Não há muita liberdade de escolha. Quase sempre a maioria dos métodos já foi aplicada em outras minas do mundo ou em algumas do Brasil. O acesso às informações é muitas vezes difícil quando inexistente no país a aplicação do método escolhido; precisa-se então recorrer a outros técnicos ou consultores que já tenham aplicado o método para se ter a informação necessária. Esta visão de consultores externos no contexto de um novo projeto é sempre muito útil, pois eles aportam conhecimentos adquiridos em outros trabalhos e possuem mais contatos de apoio. Quando o projeto é complexo, como o que foi recentemente implantado na Mina Subterrânea de Palaborwa, na África do Sul, são consultados diferentes grupos de empresas e consultores do mundo, antes de se decidir pela aplicação do método, procedimento este inovador em muitos aspectos.

O que acima foi dito é válido para as empresas de mineração organizadas que possuem internamente quadro de técnicos preparados e que acompanham a evolução da tecnologia.

Mesmo nestas empresas, devido ao pouco preparo que se tem em novos métodos de lavra subterrânea, por exemplo, torna-se também necessária a presença freqüente de técnicos externos com mais experiência nas frentes de trabalho a fim de apontar possíveis melhorias. Será necessário sempre nestas situações seguir a regulamentação pertinente do INPI.

No entanto, a maioria de nossas lavras de pequeno porte, seja a céu aberto, seja subterrânea, opera sem o acompanhamento de técnicos especializados e utiliza somente pessoas práticas. Os responsáveis técnicos pelas lavras de pequeno portes estão, em muitos casos, pouco presentes e só fazem o atendimento e acompanhamento do preceito legal.

Está sendo implantado o conceito de que “gerentes” resolvem tudo e, por esta razão, em muitas posições de chefia, com responsabilidade direta pela produção não se coloca o profissional habilitado, mas a figura do “gerente”, perdendo-se com isto a oportunidade de melhorar a formação dos engenheiros de minas, que são os profissionais da área. Assim, tem sido comum que geólogos sejam responsáveis pela operação, mas nunca o inverso, isto é, engenheiros de minas fazendo geologia!

Não se conhecem pesquisas de órgãos ou de empresas que tenham feito inovações importantes em métodos de lavra ou tenham implantado localmente tecnologias próprias de lavra .

Nossa experiência é ainda muito pequena e tem-se feito, sempre que possível, o aproveitamento do melhor que existe fora do País. Esta etapa de fazer bem o que já existe é a melhor maneira de se incorporar novas tecnologias e de se preparar para a geração de outras.

O fator capacitação de pessoal é um dos maiores diferenciais entre o que se faz no Brasil e o que se consegue nas operações de primeira linha num contexto internacional. A análise desta questão é importante para se entender estas diferenças.

Os mineiros são formados na prática dos trabalhos; não há uma linha específica de formação para as posições de operação de equipamentos, por exemplo. Até cerca de 10 a 15 anos atrás, a maior parte desta mão-de-obra não tinha escolaridade, sequer o primeiro grau; hoje, a maior parte das empresa exige o primeiro grau completo para este tipo de atividade, promove cursos para que todos atinjam essa escolaridade, mas ainda persiste a questão da empresa ter de arcar com o ônus da formação profissional do mineiro.

Recorre-se à operação assistida de treinamento no trabalho, que consiste em práticas de alta eficácia, porém de alto custo e sempre desenvolvidas pelas empresas, vez ou outra em cooperação com os fornecedores de equipamentos e insumos. Não há cursos de reciclagem disponíveis no mercado.

Uma estrutura de certificação como a que se discute para manutenção no âmbito da Associação Brasileira de Manutenção- ABRAMAN seria interessante para os certificandos e para a indústria. Vale citar o esquema de certificação existente na África do Sul, conduzido pela *Chamber of Mines* e que é muito eficiente.

O pessoal de manutenção pode ser encontrado com maior nível de escolaridade, e tem boa formação por meio de cursos de nível médio e cursos profissionalizantes como, por exemplo, os do SENAI. Eles possuem um espectro mais amplo de emprego do que os mineiros de modo geral.

Com relação aos aprendizes do SENAI, no entanto, há um entrave difícil de ser resolvido no caso da mineração subterrânea, que tem origem na idade mínima para admissão ao trabalho no subsolo, de 21 anos de idade: o menor vem do SENAI, em geral muito bem preparado, e faz seu estágio na mineradora, terminando-o em torno dos 18 anos de idade. O jovem deve então ser dispensado pela impossibilidade de admissão, ocupando-se de outra atividade e não regressando à mineração. O mesmo acontece com os estagiários egressos das escolas técnicas profissionalizantes.

Para a reciclagem, principalmente do pessoal de manutenção, o SENAI tem oferecido cursos nas áreas de mecânica e eletricidade básica, hidráulica,

instrumentação, metrologia e outras disciplinas importantes na complementação da formação da mão-de-obra.

Estas iniciativas logram sucesso na razão direta da qualidade dos serviços de desenvolvimento de recursos humanos das empresas, nem sempre disponíveis em estruturas mais enxutas. É interessante estudar os ganhos com sinergia através de serviços de orientação e certificação que atendam a toda a indústria, onde os recursos possam ser compartilhados.

Os técnicos de nível médio são em geral bem preparados nas Escolas Técnicas Federais (CEFETs). No caso da mineração subterrânea, destacam-se as escolas de Natal e Ouro Preto. Há também bons técnicos de nível médio egressos de escolas de Santa Catarina, na região de Criciúma. Registra-se a iniciativa da Fundação José Carvalho, mantida pela Ferbasa, na Bahia, que formou mão-de-obra de nível médio de primeira qualidade durante a década de 1970 e que descontinuou a formação de pessoal para mineração na década seguinte.

O técnico de nível médio, entretanto, ingressa, em geral, ainda muito jovem no mercado de trabalho. Parte de sua formação, principalmente em aspectos de gerenciamento e relações interpessoais, tem de ser realizada na empresa, o que costuma ser feito através de cursos *in house*, uma vez que este tipo de produto não está disponível no mercado. As empresas maiores conseguem manter estes cursos, mas o mesmo não ocorre com as empresas menores.

Nos aspectos mais técnicos, há deficiências em relação à redação técnica, língua estrangeira (inglês), estatística, perfuração, desmonte de rochas, teoria de decisão e técnicas de pesquisa operacional, principalmente. Alguns cursos vêm sendo oferecidos pelo IETEC que preenchem parte destas lacunas.

Há sete cursos de graduação em engenharia de minas: na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Ouro Preto, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal da Paraíba. Os cursos de engenharia de minas são de razoável qualidade e têm sofrido com os problemas ligados à má aplicação das verbas no ensino superior brasileiro. Algumas facilidades passaram a estar disponíveis nos últimos anos: o nível das bibliotecas é bom em algumas escolas e sofrível na maioria. Onde há acesso franco a computadores é possível trabalhar técnicas que dependem de simulação numérica e pesquisar farto material através da *internet*. Os laboratórios das escolas de engenharia de minas são, geralmente, muito fracos, por falta de recursos humanos e materiais.

O que foi dito com relação aos profissionais de nível médio recém ingressados no mercado, com respeito ao conteúdo de gerenciamento e relações interpessoais, é válido também com relação aos engenheiros, embora ingressem no mercado de trabalho mais tarde e estejam naturalmente mais amadurecidos.

Com respeito aos aspectos técnicos, a maior oportunidade de aprendizado do aluno de graduação, entretanto, se dá na pesquisa, através de situações onde este auxilie seus mestres em trabalhos científicos. A produção científica das escolas de engenharia de minas brasileiras, porém, tem deixado a desejar, sendo pouco

engajada com as necessidades da indústria. Há muita dificuldade em se estabelecer uma associação mais íntima entre universidades e empresas, seja através da pesquisa ou da prestação de serviços. Esta situação tem prejudicado a interação entre uma e outra, em detrimento da pesquisa aplicada e da formação dos estudantes.

Casos de sucesso como o do JKMRC, da Universidade de Queensland, na Austrália, do grupo de engenharia civil da University of Toronto, no Canadá, do CSIRO e da Mintech na África do Sul, da Universidade de Lulea na Suécia, dentre outros, devem ser estudados e os fatores para o sucesso da interação entre universidade e indústria serão encontrados, assegurando a autonomia e independência da instituição de ensino e pesquisa e atendendo às demandas da indústria.

Tentativas de integração vêm sendo realizadas, por exemplo, através dos Congressos de Lavra, que foram organizados pelo IBRAM com a cooperação, principalmente, do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG, com boa participação de representantes da universidade e da indústria.

A realização de estágios na indústria por parte dos alunos dos cursos do SENAI, dos cursos de nível médio ou das universidades é facilitada e representa, também, um papel importante em sua formação. Os convênios entre algumas empresas e os departamentos de engenharia de minas de algumas escolas são a forma mais eficiente de operacionalizar os estágios dos estudantes de nível superior e é interessante estendê-los aos demais níveis. Os estágios longos e de férias constituem um excelente complemento do ensino universitário, necessitando ser mais seriamente apoiado pelos profissionais residentes nas minas. Deveriam ser incentivados e iniciados nos primeiros anos dos cursos de graduação, seguindo o modelo, por exemplo, do Canadá.

Há cursos de pós-graduação em engenharia de minas nas universidades Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Ouro Preto, Universidade Federal de Minas Gerais e Universidade Federal da Paraíba. No âmbito destes cursos, alguma pesquisa e capacitação de mão-de-obra de boa qualidade têm sido realizada mas, em algumas áreas, ainda é necessário recorrer a instituições no exterior, tanto para o mestrado, como para o doutorado e estudos superiores. Poucas teses têm sido feitas sobre lavra propriamente dita. O número maior de teses de pesquisa é, no entanto, na área de beneficiamento de minério, porque existem laboratórios de tecnologia mineral ociosos.

Uma questão que precisa ser atacada é o pequeno número de profissionais da indústria que retorna à universidade para a realização de estudos superiores de mestrado e doutorado. Considerando a localização remota da maior parte das minas, isto se dá, principalmente, porque o regime acadêmico utilizado impõe uma ausência muito longa do profissional, difícil de ser suportada pela indústria. Isto pode ser contornado disponibilizando-se cursos modulares, onde o aluno se afaste por um período menor, retornando temporariamente à universidade para cursos regulares e seminários. Um regime como este pode ser apoiado por técnicas de educação à distância, facilmente suportadas através do uso da *internet*, videoconferências e

outras técnicas. Este modelo vem sendo empregado em alguns cursos de *MBA in house* oferecidos pela Universidade de São Paulo, IBMEC e Fundação Dom Cabral e deve ser aperfeiçoado e adotado em maior extensão visando proporcionar o acesso de uma maior quantidade de profissionais de várias empresas aos estudos superiores em cursos abertos.

O apoio dado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia no passado às diversas entidades como Fundação Vanzolini, Fundação Cristiano Otoni, e Nuclep no sentido de irem ao exterior apreender e depois difundir no Brasil as técnicas de gerenciamento responsáveis pelo desenvolvimento das indústrias do primeiro mundo deixou resultados positivos.

Muitas minerações vêm obtendo muito bons resultados a partir das técnicas ligadas principalmente à implantação da Gerência pela Qualidade Total (GTQ ou TQC), que tiveram a metodologia ensinada pela Fundação Cristiano Otoni de Belo Horizonte, hoje Fundação de Desenvolvimento Gerencial– FGD.

Mas não foram todas as empresas de mineração que incorporaram estas novas técnicas na sua rotina, porque as consultorias disponíveis têm sido dispendiosas. Por isso, na grande maioria das empresas de PP e MP, não foram introduzidas nas técnicas do GQT.

Aquelas empresas de mineração que implantaram o TQC criaram nos seus colaboradores uma maior consciência para a análise de anomalias e foram introduzindo aos poucos a padronização de procedimentos que nada mais é do que influir no processo produtivo buscando sempre a aplicação da tecnologia mais adequada. O desdobramento das centenas de grupos de estudo criados, os chamados Círculos de Controle de Qualidade (CCQ) que proliferaram nessas empresas levou, numa segunda etapa, à solução de problemas sempre afinados na direção de aplicação da melhor tecnologia e aumento de produtividade, sendo feito pelos próprios colaboradores em trabalho de equipe, o que tem resultado em diminuição de custos e vem tornando o setor mineral mais competitivo.

Um projeto importante neste sentido seria incentivar e auxiliar as empresas que não puderam se beneficiar destas técnicas e proporcionar-lhes o treinamento introdutório para a implantação do GQT chamado de 5S ou senso de Utilidade, Ordenação, Limpeza, Saúde e Autodisciplina. A terminologia inglesa parece ser mais precisa: *Sort, Segregate, Shine, Standardization, Strengthening*.

Para que isto possa ser feito, será necessário, no curto prazo, preparar instrutores de 5S nas próprias empresas para que eles se encarreguem de divulgar o método. O custo para formar um instrutor seria de aproximadamente R\$3.000,00 e poderia treinar um contingente de cerca de mais de 500 pessoas, da mesma empresa ou de outras na região.

As empresas que seguem este método fazem freqüentes seminários internos e os melhores trabalhos são escolhidos para participarem em eventos estaduais e nacionais de CCQ.

A aplicação deste treinamento é abrangente e pode trazer benefícios à toda a empresa, desde a gerencia até o chão de fábrica, aos mineiros.

Os cursos de curta duração para engenheiros operadores de minas que foram feitos no passado, ministrados por consultores ou professores de Escolas do Exterior ou local, devem ser renovados e oferecidos com maior freqüência.

No Canadá foi criado o CISE, organização de aposentados que se dispõem a dar consultoria gratuitamente às empresas de países do terceiro mundo tendo somente as despesas de subsistência e de viagem pagas. Este tipo de organização poderia ser criado no Brasil para o fim de ajudar as pequenas e medias empresas de mineração.

RESUMO DAS SUGESTÕES

:

Cursos ou atividades	Público alvo
Pós-graduação em Engenharia de minas	Engenheiro de minas

Cursos de curta duração - reciclagem	Engenheiro de minas e técnico de mineração
Cursos de MBA (modulares)	Engenheiro de minas
Estágios de férias em empresas de mineração	Engenheiros de minas, professores e técnicos
Estágios de longa duração (semestre)	Técnico de mineração
Técnica de 5S	Mineiros das empresas de mineração
Técnica de CCQ	Idem
Cursos de curta duração de técnicas de lavra associados a congressos	Engenheiro de minas, estudantes
Consultorias por entidade de engenheiros de minas aposentados a ser formada	Pequenas e médias empresas de mineração

6 – SAÚDE E HIGIENE NO TRABALHO E SEGURANÇA NA MINERAÇÃO

A consciência sobre Higiene no Trabalho vem sendo muito difundida no país nos últimos 10 anos, vinda da indústria química. A tecnologia e a legislação trabalhista fortalecem seu emprego.

A monitoração dos agentes de risco à saúde tem sido cada vez mais precisa e fácil de fazer, favorecendo sua aplicação e aumentando sua exigência. Calor, ruído, gases, poeiras, vibrações e outros agentes insalubres são rastreáveis em quantidade, qualidade e exposição.

Existe uma tendência clara de intolerância com o mercantilismo da saúde laboral, ou seja, cada vez mais a exposição do trabalhador a agentes insalubres em troca de remuneração extra ou de aposentadoria mais rápida, tem sido combatida. O INSS expõe claramente suas intenções neste sentido. As contribuições à Previdência, por parte dos empregadores, tornaram-se maiores para as aposentadorias mais rápidas, o que é muito justo. Diante desse motivo de ordem econômica, as empresas têm buscado a melhoria na higiene dos ambientes e na segurança no trabalho, eliminando as aposentadorias especiais.

A tecnologia, como em todas as áreas, também contribui. Os equipamentos emitem menos ruído. Os combustíveis fósseis, geradores de gases poluentes, são

substituídos por energia limpa. Os filtros dos motores de combustão são mais eficientes. A sísmica fecha, cada vez mais, a malha de monitoramento de eventos. Os EPIs são mais cômodos e eficientes. Operam-se equipamentos dentro de cabines refrigeradas com isolamento termo acústico ou com controle remoto. Aspersores para combate a poeiras são melhores. Desenvolvem-se plantas para refrigerar o ar que entra nas minas de subsolo.

Há mais e melhores engenheiros de segurança e médicos do trabalho. Surgiu, com força, o higienista. Há mais eventos sobre o tema, mais treinamentos nas empresas, mais trabalhos científicos e mais literatura.

A responsabilidade civil e criminal sobre os quadros, por danos à saúde dos seus subordinados, é grande. A melhor maneira de não se expor, os administradores, gerentes e supervisores, é não causar dano à saúde de ninguém. Esta consciência, por força das circunstâncias ou por vontade própria, tem sido cada vez mais desenvolvida e continuará aumentando. A eficiência dos sistemas de gestão é que acaba com estes dissabores.

No fim de todo o processo, os exames médicos é que indicam se todos os esforços surtem efeitos. Os processos não são bons se existir pneumoconiose, disacusia, hérnias de disco, escolioses e outros males, provenientes do trabalho. As ações de higiene e segurança não são eficientes se existirem dias perdidos por conta do labor.

Fala-se, para o futuro, na privatização da Previdência. Isto, certamente, implicará na proporcionalidade entre as contribuições das empresas seguradas e as despesas das empresas seguradoras. Maior risco, maior custo. Mais um motivo para melhorar a higiene e a segurança dos ambientes e métodos de trabalho: quanto mais os segurados usarem a previdência, por motivos de saúde ou aposentadoria especial, maiores serão suas despesas e menores seus lucros.

As estatísticas de acidentes pessoais por empresa existem, mas são sigilosas e dificilmente disponibilizadas. Estima-se que os acidentes por morte nas minas não alcancem dois dígitos num ano.

Outro aspecto importante é que nossas minas subterrâneas são relativamente pouco profundas, havendo somente duas que excedem os 700m. Na medida que sejam aprofundadas, os riscos de acidentes serão maiores.

Surge uma consciência generalizada a esse respeito e as análises dos acidentes ocorridos e potenciais estão sendo feitas cada vez com mais rigor e transparência.

A indústria mineral brasileira apresentou nos períodos de 1995 a 1997 o mais alto coeficiente de mortalidade, quando comparado com outras atividades econômicas (fontes MPAS,RAIS,1997) e será necessário reverter o quadro por meio de maior atenção dos profissionais, especialmente analisando as situações potencialmente de maior risco.

7- RELAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES E EMPRESAS E LÍDERES NACIONAIS ENVOLVIDOS COM O DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS DE LAVRA

No Brasil, as empresas, de modo geral, possuem nos seus quadros técnicos especializados em planejamento para as suas minas e seus projetos de expansão. Utilizam sempre os *softwares* que foram licenciados.

Algumas empresas, nos estudos de novos projetos e expansões, utilizam-se de consultoria especializada local isoladamente ou associada à consultoria externa.

A consultoria é mais desenvolvida na área da mineração a céu aberto, sendo mais restrita para projetos de lavra subterrâneos.

Os técnicos locais estão ligados a empresas de consultoria, são autônomos, ou ligados a cooperativas. A região Sudeste possui o maior número de profissionais dedicados à lavra.

As Universidades procuram também melhorar suas receitas, disponibilizando seus mestres para trabalhos de projetos, nos quais são quase sempre auxiliados por alunos de graduação.

A relação da página seguinte foi o melhor que se conseguiu de informações do mercado de consultoria.

MERCADO BRASILEIRO DE CONSULTORIA DE ENGENHARIA DE MINAS

Nome da empresa	Profissional Líder	Localização
Casadei Engenharia Mineral	Décio Casadei	São Paulo
Univ. de São Paulo	José do Valle Nogueira	São Paulo
Roberto Costa Eng. Ltda	Roberto Rodrigues Costa	Belo Horizonte
Apromin Engenharia	Tales Silveira	Belo Horizonte
Minerale Projetos e Com. Ltda	Paulo Cezar P. Martins	Belo Horizonte
Edex Ltda	Luiz Carlos Alvarenga	Belo Horizonte
Minaserve Ltda	Bernardo Piquet	Rio de Janeiro
Profissional	Jorge Valente	Belo Horizonte
Profissional	Waldo Falabela Gribel	Rio de Janeiro
Profissional	Fernando Moacyr Lisboa	Rio de Janeiro
Gemcom	Marco Aurelio Guimarães	Belo Horizonte
JTMM Engenharia Ltda	José Tarcisio de Menezes	Salvador
Rio Minas Consultoria	Renato Bravo	Vitória

8 - PRINCIPAIS MINAS BRASILEIRAS

Foram selecionadas 32 minas operadas a céu aberto, com produção de minério e estéril acima de 3 milhões de toneladas por ano e somente 13 minas subterrâneas com produção igual ou superior a 600.000 t por ano em 2001. Foram agrupadas por substâncias produzidas, identificando-se os nomes mais conhecidos das propriedades e das empresas proprietárias. A coluna de equipamentos indica, de acordo com a legenda, os tipos de equipamentos utilizados nas minas. Nas minas em que as operações são total ou parcialmente contratadas, não foram indicados todos os equipamentos, pois, de acordo com o texto, os empreiteiros possuem a liberdade de fazer a produção com os equipamentos de sua disponibilidade, uma vez que os prazos dos contratos são sempre limitados no tempo, sem relação com a vida útil dos mesmos. Somente a Samarco, em Mariana, Minas Gerais, contrata serviços com equipamentos de grande porte, onde é levada em consideração a vida útil dos equipamentos. No caso desta mina os equipamentos contratados foram incluídos.

Do ponto de vista da perfuração, algumas minas de GP poderiam aumentar o diâmetro da perfuração primária e trabalhar com escavadeiras carregando sempre que possível caminhões de ambos os lados. Muitas não o fazem devido à dificuldade de maior desenvolvimento e impedimento de desmontes de grandes massas dada à proximidade de centros urbanos.

De modo geral, nas minas de MP e GP pode ser observado, conforme foi mencionado no texto principal, que existe uma pequena inadequação em não se utilizar sempre equipamentos de carga maiores, mais adaptados aos caminhões existentes de grande capacidade. Uma maior utilização das escavadeiras hidráulicas e de pás carregadeiras de grande porte, quando possível, como já vem sendo feito em muitas delas, está minimizando esta pequena deficiência encontrada nas nossas minas.

A outra possibilidade de melhoria seria incluir nas frotas motoniveladoras de porte maior do que as do modelo CAT 16 e 140G, o que facilitaria a conservação de vias.

Somente em uma mina foi instalado britador especialmente dedicado para preparação de lastro para as estradas, o que é muito importante.

Na elaboração dos quadros apresentados foram contatados os responsáveis das principais minas brasileiras através de visitas às principais operações, complementando as informações por meio de comunicações via telefone e *internet*. Houve grande colaboração, o que permitiu que essas planilhas pudessem ser elaboradas com o menor índice de erros possível.

A região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, é, sem dúvida, a maior concentração em minas do mundo na atualidade. São movimentadas entre minério e estéril cerca de 450 milhões de toneladas nas diversas minas. Com esta atividade tão intensiva e diversificada naquela região, somado ao que se faz em Carajás, no Pará, pode-se dizer que o Brasil tornou-se hoje modelo de aplicação de tecnologias de mineração a céu aberto.

De modo geral, a qualidade das operações compara-se com o que melhor se apresenta no exterior. Existe uma característica diferenciada, devido a algumas

minas se situarem próximas de centros urbanos – aspecto verificado também em muitas minas nos países desenvolvidos no passado -, e que as obriga a ter mais cuidados, não podendo utilizar certos recursos como grandes desmontes como os feitos em minas mais afastadas.

As técnicas de planejamento e controle também são comparáveis às melhores operações do mundo. De um modo geral a aderência aos planos está sendo superior a 80%.

Nos quadros das operações subterrâneas, algumas delas se apresentam também, com aplicação de equipamentos mais modernos existentes nas minas do exterior, sem poderem ainda se equiparar com a automação mais moderna que lá existe.

Algumas minas como as de carvão, por razões econômicas, ainda vêm operando com equipamentos velhos, adquiridos na década de 1980, que não puderam ser renovados. Outras minas fabricam seus próprios equipamentos devido estarem impossibilitadas de adquirir no exterior.

O maior destaque que deve ser citado é a mina de Potássio, de Sergipe, a única mineração contínua que se tem no Brasil e que opera dentro dos melhores padrões internacionais. É a única mina que possui refrigeração na ventilação.

A produtividade em t/ homem.ano nas operações de mina está muito ligada ao tipo de minério e estéril que é lavrado, à geometria da cava, à automação implantada, ao ritmo de trabalho e é, também, função da distância de transporte ao britador e aos depósitos de estéril, se houverem. As exigências na deposição do estéril influem também na produtividade. A pesquisa foi incluída somente para se ter noção de como estes valores variam, permanecendo ainda dúvidas quanto à confiabilidade das informações. Algumas empresas consideram estas informações confidenciais.

TABELA 2a – Principais minas a céu aberto do Brasil

Mina	Localização	Produto	Empresa mineradora	Produção (1.000 ³ t/a)			Equipamentos	Produtividade 10 ³ t / homem / ano					
				rom	estéril	total							
CARAJÁS	Carajás / PA	Ferro	Cia. Vale do Rio Doce	61,3	37,2	98,5	1,2,5,8,9,c, d, i, j, n, o, p, u, v, x, B,C,D,E,G,J,K,L, N	105					
CAUÊ	Itabira / MG	Ferro	Idem	28,8	36,7	65,5	3,4,b, d, f, i, j, o, p, u, B,F,G,J,K,L,N	76					
CONCEIÇÃO	Itabira / MG	Ferro	Idem	25,7	25,2	50,9	4,9,a, b,c, d, f, o, p, B,F,H,L,M	76					
CONGO SOCO	Bar. de Cocais / MG	Ferro	Idem	7,5	5,9	13,4	F, m, t, A, l	18					
ALEGRIA 9	Mariana / MG	Ferro	Idem	9,4	7,5	16,9	a, g, q, s, v, A, G	56					
TIMBOPEBA	Mariana / MG	Ferro	Idem	6,6	19	25,6	4, 5, a, f, k, l, p, q, v, x, J, L	128					
MORRO AGUDO	Piracicaba / MG	Ferro	Idem	4,6	1,4	6,0	6, g, h, s, A, l	26					
CAPANEMA	Itabirito / MG	Ferro	Min. Serra Geral	5,0	7,6	12,6	7,a, q, r, l, J	105					
ALEGRIA	Mariana / MG	Ferro	Samarco Min. S.A.	18,0	10,8	28,8	F, p, s, u, G, H, M	110					
<p>Legenda / Equipamentos</p> <table> <tr> <td>Perfuratriz: 1- 12"1/4 2- 11" 3- 10 4- 9"7/8 5- 7"7/8 6- 5" 7- 4"</td> <td>Escavadeira: cabo e hidráulica 8-PH 2800 9-PH 2100 a-PH 1900 b-BE 295 c-295 B III</td> <td>Pá Carregadeira: f- Cat 994 g- CAT 992 h- Cat 988 i- Marathon 1800 j- Marathon 1400 k- Marathon 1100 l- Marathon 1000 m-Volvo 120G</td> <td>Caminhão: n- 278T o- 240T p- 190 q- 150 T r- 120 T s- 95-100T t- 25t</td> <td>Trator esteiras e pneus u-0 CAT D11 v- CAT D10 x- CAT D9 A-CAT D8 B- CAT 834B C-CAT 824 D-CAT 690 E- Komatsu D 475</td> <td>Patrol: F- CAT 24 G- CAT 16 H- CAT140G; I-CAT-120G Outros: J- Tanque 60000 l K- GPS L- Dispatching M- Correias na mina N- Britador na mina</td> </tr> </table>								Perfuratriz: 1- 12"1/4 2- 11" 3- 10 4- 9"7/8 5- 7"7/8 6- 5" 7- 4"	Escavadeira: cabo e hidráulica 8-PH 2800 9-PH 2100 a-PH 1900 b-BE 295 c-295 B III	Pá Carregadeira: f- Cat 994 g- CAT 992 h- Cat 988 i- Marathon 1800 j- Marathon 1400 k- Marathon 1100 l- Marathon 1000 m-Volvo 120G	Caminhão: n- 278T o- 240T p- 190 q- 150 T r- 120 T s- 95-100T t- 25t	Trator esteiras e pneus u-0 CAT D11 v- CAT D10 x- CAT D9 A-CAT D8 B- CAT 834B C-CAT 824 D-CAT 690 E- Komatsu D 475	Patrol: F- CAT 24 G- CAT 16 H- CAT140G; I-CAT-120G Outros: J- Tanque 60000 l K- GPS L- Dispatching M- Correias na mina N- Britador na mina
Perfuratriz: 1- 12"1/4 2- 11" 3- 10 4- 9"7/8 5- 7"7/8 6- 5" 7- 4"	Escavadeira: cabo e hidráulica 8-PH 2800 9-PH 2100 a-PH 1900 b-BE 295 c-295 B III	Pá Carregadeira: f- Cat 994 g- CAT 992 h- Cat 988 i- Marathon 1800 j- Marathon 1400 k- Marathon 1100 l- Marathon 1000 m-Volvo 120G	Caminhão: n- 278T o- 240T p- 190 q- 150 T r- 120 T s- 95-100T t- 25t	Trator esteiras e pneus u-0 CAT D11 v- CAT D10 x- CAT D9 A-CAT D8 B- CAT 834B C-CAT 824 D-CAT 690 E- Komatsu D 475	Patrol: F- CAT 24 G- CAT 16 H- CAT140G; I-CAT-120G Outros: J- Tanque 60000 l K- GPS L- Dispatching M- Correias na mina N- Britador na mina								

Tabela 2b – Principais minas a céu aberto (continuação)

Mina	Localização	Produto	Empresa mineradora	Produção (1.000 ³ t/a)			Equipamentos	Produtividade 10 ³ t/ homem / ano							
				rom	estéril	total									
FABRICA	Congonhas / MG	Ferro	Ferteco Mineração S.A.	15,3	12,2	17,5	1, 3, 7, g, h, i, j, n, o, r, t, u, v	91							
CÓRREGO DO FEIJÃO	Brumadinho / MG	Ferro	Idem	6,4	4,3	10,7	X								
PICO	Itabirito / MG	Ferro	Min. Brasileiras Reunidas S.A.	15,4	14,5	29,9	2, 3, 9, a, c, g, i, m, o, r, s, u, v	100							
TAMANDUÁ	Nova Lima / MG	Ferro	Idem	9,1	10,8	19,9	2, 3, 8, c, h, i, p, q, r, s	102							
CAPITÃO DO MATO	Idem	Ferro	Idem	5,8	12,3	18,1	2, 3, 6, 8, i, k, q, r	109							
JANGADA	Idem	Ferro	Idem	4,4	2,9	7,3	X								
CASA DE PEDRA	Congonhas / MG	Ferro	Cia Siderúrgica Nacional S.A.	13,8	7,9	21,7	1, 2, 7, b, h, i, j, m, o, s, u, v	108							
PAU BRANCO	Brumadinho / MG	Ferro	Valloure Com. Min. & Tubes	3,3	4,8	8,1	4, 5, d, e, f, i, X								
ENGENHO SECO	Sarzedo / MG	Ferro	Itaminas Com. Minérios S/A	11,2	3,2	14,4	X								
<p>Legenda / Equipamentos</p> <table> <tr> <td>Perfuratriz: 1-9" 7/8 2-7" 7/8 3-6" ½ 4-5" 1/2 5-4"</td> <td>Escavadeira: 6- PH 2100 7- PH 1900 8- PH 1600 9- BE-195B a- BE-190B</td> <td>b- Marion 12cj c- Demag H285 d- Demag H 71 e- Cat 320 f- SH Fiat 200</td> <td>Pá Carregadeira: g- Marathon 1100 h- Marathon 1000</td> <td>Caminhão: i- 150 T j- 120 T k-38 t l- 25 t</td> <td>Trator: m- CAT D10 n- CAT D9 o- CAT D8 p- Komatsu D 375 q- komatsu WO 600</td> <td>Patrol: r- CAT 16 s- CAT 140G Outros: t- rompedor u- tanque 60000 l v- dispatching X – Operação contratada</td> </tr> </table>								Perfuratriz: 1-9" 7/8 2-7" 7/8 3-6" ½ 4-5" 1/2 5-4"	Escavadeira: 6- PH 2100 7- PH 1900 8- PH 1600 9- BE-195B a- BE-190B	b- Marion 12cj c- Demag H285 d- Demag H 71 e- Cat 320 f- SH Fiat 200	Pá Carregadeira: g- Marathon 1100 h- Marathon 1000	Caminhão: i- 150 T j- 120 T k-38 t l- 25 t	Trator: m- CAT D10 n- CAT D9 o- CAT D8 p- Komatsu D 375 q- komatsu WO 600	Patrol: r- CAT 16 s- CAT 140G Outros: t- rompedor u- tanque 60000 l v- dispatching X – Operação contratada	
Perfuratriz: 1-9" 7/8 2-7" 7/8 3-6" ½ 4-5" 1/2 5-4"	Escavadeira: 6- PH 2100 7- PH 1900 8- PH 1600 9- BE-195B a- BE-190B	b- Marion 12cj c- Demag H285 d- Demag H 71 e- Cat 320 f- SH Fiat 200	Pá Carregadeira: g- Marathon 1100 h- Marathon 1000	Caminhão: i- 150 T j- 120 T k-38 t l- 25 t	Trator: m- CAT D10 n- CAT D9 o- CAT D8 p- Komatsu D 375 q- komatsu WO 600	Patrol: r- CAT 16 s- CAT 140G Outros: t- rompedor u- tanque 60000 l v- dispatching X – Operação contratada									

TABELA 2c – Principais minas a céu aberto (continuação)

Mina	Localização	Produto	Empresa mineradora	Produção (1.000 ³ t/a)			Equipamentos	Produtividade 10 ³ t / homem / ano
				rom	estéril	total		
TROMBETAS	Oriximiná / PA	Bauxita	Mineração Rio do Norte S/A	14,9	26,8	41,7	3, 6, 7, c, e, i, m, n, s, t, v, x, A, F, H, I, J	139
TAPIRA	Tapira	Fosfato	Fertilizantes Fosfatados S/A	12,8	14,5	27,3	8, a, b, k, l, u, F	84
CATALÃO	Catalão / GO	Fosfato	Fertilizantes Fosfatados S.A.	5,8	5,4	11,2	X	
OUIDOR	Ouidor / GO	Fosfato	Copebras Ltda	4,2	5,3	9,5	X	
APATITA	Cajatí / SP	Fosfato	Bungue Fertilizantes S/A	5,2	7,0	12,2	X	
BARREIRO	Araxá / MG	Fosfato	Idem	4,2	5,3	9,5	X	
CANABRAVA	Minaçú / GO	Amianto	S/A de Mineração de Amianto	2,4	1,1	3,5	1, 2, m, u, v, A, B, C, F	46
MORRO DO OURO	Paracatu / MG	Ouro	Rio Paracatu Mineração S.A.	19,7		19,7	l, m, n, t, B	138
CANDIOTA	Candiota / RS	Carvão	Cia. Riograndense de Min.	1,6	5,4	7,0	1, 3, 5, 9, o, u, E, H	41
RECREIO	Butiá / RS	Carvão	Copelmi Mineração Ltda	2,2	38,0	40,2	4, e, g, h, r, u, H, X	

Legenda / Equipamentos						
Perfuratriz :	Escavadeiras e Draglines	Escavadeira hidráulica	Pá carregadeira	Caminhão:	Trator:	Patrol:
1- 6" ½	5- BE 37cj	c- Liebherr 994	i- Cat 992	k- 190 T	s- Cat D11	A – Cat 16
2- 5" ½	6- BE 28cj	d- Liebherr 974	j- Cat 990	l- 120 T	t- Cat D10	B- Cat 140G
3- 4"	7- BE 17cj	e- Liebherr 964		m- 100 T	u- Cat D8	C- CatT120G
4- 4"	8- PH 1900	f- Liebherr 954		n- 85 T	v- Cat D6	D- Huber Warcoo 165
	9- PH 1600	g- Cat 345		o- 64 t	x- Cat 824	E- Fiat
	a- BE 190B	h- Cat 320		p- Cat 773		Outros:
	b- Marion 151M			r- < 30 t		F- Tanque 60.000 l
						G- rompedor
						H- Método de fatias
						I- Britador na cava
						J- Correia transportadora
						X- Operação contratada

TABELA 2d – Principais minas a céu aberto (continuação)

Mina	Localização	Produto	Empresa mineradora	Produção (1.000 ³ t/a)			Equipamentos	Produtividade 10 ³ t/ homem/ ano
				rom	estéril	total		
BOCAINA	Arcos / MG	Calcário	Cia Siderúrgica Nacional	2,0	1,7	3,7	2, a, c, g, h, l, X	
SAIVÁ/ ITARETA MA	Rio Branco do Sul /PR	Calcário	Cimento Rio Branco S/A	7,1	1,3	8,4	1, 3, 4, 5, d, g, h, k, m	59
GUAJÚ	Mataraca / RN	Ilmenita	Milenium do Brasil Ltda	4,5		4,5	h, i, n	155
PITINGA	Presidente Figueiredo / AM	Cassiterita	Mineração Taboca S/A	11		11	7, 8, 9, b, e, f, g, h, j, o, p	44

Legenda / Equipamentos					
Perfuratriz	Escavadeira hidráulica	Pá Carregadeira	Caminhão	Trator	Patrol
1- 5" ½	3- Liebherr 974	a- Cat 990	c- 85 T	g- Cat D8	j- Cat 140G
2- 4"	4 - Liebherr 964	b- Cat 966	d- Ct 773	h- Cat D6	k- CatT120G
	5 - Liebherr 954		e- 50 t	i- Komatsu - D65	l- Huber Warcoo 165
	6 - Cat 345		f- 35 t		
	7- Cat 330				Outros:
	8- Cat 320				m- rompedor
	9- Cat 245				n- correia transportadora
					o- Draga Elicot B890 E
					p- Draga Elicot B1690 E
					X- Operação contratada

TABELA 3a – Principais minas subterrâneas do Brasil

Mina	Localização	Produto	Métodos de lavra	Empresa mineradora	Produção (1000 t/a)			Equipamentos	Produtividade t/ homem / ano
					minério	estéril	total		
CARAIBA	Jaguarari, BA	Cobre	VRM, subniveis	Mineração Caraiba	1186		1186	1,2,3,4,7,b,c,e,f,h,i,j,k,l,n,o,p	2658
CUIABA	Sabará, MG	Ouro	cutre e enchimento	Anglogold	685		685	1,2,3,7,b,e,g,k,l	1610
FAZENDA BRASILEIRO	Teofilândia, BA	Ouro	subniveis	Cia. Vale do Rio Doce	1000	500	1500	1,3,5,7,a,b,f,g,h,i,k,l,n	2215
TAQUARI-VASSOURAS	Rosário do Catete, SE	Potássio	câmaras e pilares	Idem	2295		2295	1,2,f,m	5945
CRIXAS	Crixás, GO	Ouro	cutre e enchimento, câmaras e pilares	AngloGold / TVX	471	113	564	3,7,a,e,g,k,l	2611
IPUEIRA E MEDRADO	Andorinhas, BA	Cromo	sublevel caving e subniveis	Min. Vale do Jacurici	540	240	780	3,6,7,b,e,g,k,l,o	5571
FORTALEZA DE MINAS	Passos, MG	Níquel	subniveis	Mineração Serra da Fortaleza S.A.	615	115	725	3,5,7,a,b,e,g,k,l	4910

Legenda / Equipamentos

Poço:	Perfuratriz / produção:	Jumbo:	Caminhão:	LHD:	Outros:
1- skip	4-Cubex	7-jumbo hidráulico	a- <25t	d- 2 a 5 cj	k- caminhão plataforma
2- gaiola	5-Simba	8-jumbo pneumático	b- 25 t a 40 t	e- 5 a 8 cj	l- motoniveladora
3- rampa	6-outro		c- 50 t	f- > 8 cj	m- minerador contínuo
					n- caminhão explosivo
					o- caminhão de concreto projetado
					p- raise borer

TABELA 3b - Principais minas subterrâneas do Brasil (continuação)

Mina	Localização	Produto	Métodos de lavra	Empresa mineradora	Produção (1000 t/a)			Equipamentos	Produtividade e t/ homem / ano																																			
					minério	estéril	total																																					
MORRO AGUDO	Paracatu, MG	Zinco, Chumbo	câmaras e pilares	Cia. Mineira de Metais	604	250	854	1,3,7,8,a,e,g,k,l,i,X																																				
SÃO BENTO	Santa Bárbara/MG	Ouro	subníveis	Eldorado	417	154	571	1,2,3,6,7,a,d	1530																																			
VAZANTE	Vazante/MG	Zinco	corte e enchimento	Cia. Mineira de Metais	531	231	762	1,3,7,c,e,g,h,i,k	2820																																			
TREVO	Siderópolis/ SC	Carvão	câmaras e pilares	Ind. Carbonífera Rio Deserto	1140		1140	ca, perf. rotativa; correias transportadoras	3000																																			
ESPERANÇ A/ FONTENEL E	Treviso/ SC	Carvão	câmaras e pilares	Carbonífera Metropolitana S/A	1600		1600	perf. rotativa; shuttle car; feeder breaker; ca, j, correias, loader	3200																																			
VERDINHO	Forquilha/ SC	Carvão	câmaras e pilares	Carbonífera Criciúma S/A	1275		1275	perf. rotativa, ca, correias	3642 (?)																																			
<p>Legenda / Equipamentos</p> <table> <tr> <td>poço:</td> <td>perfuratriz / produção:</td> <td>jumbo:</td> <td>caminhão:</td> <td>LHD:</td> <td>Outros</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1- skip</td> <td>4-Cubex</td> <td>7-jumbo hidráulico</td> <td>a- <25t</td> <td>ca- < 2 cj</td> <td>g- pá carregadeira</td> <td>k- caminhão plataforma</td> </tr> <tr> <td>2- gaiola</td> <td>5-Simba</td> <td>8-jumbo pneumático</td> <td>b- 25 t a 40 t</td> <td>d- 2 a 5 cj</td> <td>h- scaler</td> <td>l- motoniveladora</td> </tr> <tr> <td>3- rampa</td> <td>6-outro</td> <td></td> <td>c- 50 t</td> <td>e- 5 a 8 cj</td> <td>i- rock bolter</td> <td>m- minerador contínuo</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>f- > 8 cj</td> <td>j- cable bolter</td> <td>X- Operação contrada</td> </tr> </table>										poço:	perfuratriz / produção:	jumbo:	caminhão:	LHD:	Outros		1- skip	4-Cubex	7-jumbo hidráulico	a- <25t	ca- < 2 cj	g- pá carregadeira	k- caminhão plataforma	2- gaiola	5-Simba	8-jumbo pneumático	b- 25 t a 40 t	d- 2 a 5 cj	h- scaler	l- motoniveladora	3- rampa	6-outro		c- 50 t	e- 5 a 8 cj	i- rock bolter	m- minerador contínuo					f- > 8 cj	j- cable bolter	X- Operação contrada
poço:	perfuratriz / produção:	jumbo:	caminhão:	LHD:	Outros																																							
1- skip	4-Cubex	7-jumbo hidráulico	a- <25t	ca- < 2 cj	g- pá carregadeira	k- caminhão plataforma																																						
2- gaiola	5-Simba	8-jumbo pneumático	b- 25 t a 40 t	d- 2 a 5 cj	h- scaler	l- motoniveladora																																						
3- rampa	6-outro		c- 50 t	e- 5 a 8 cj	i- rock bolter	m- minerador contínuo																																						
				f- > 8 cj	j- cable bolter	X- Operação contrada																																						