

## PROSPECÇÃO E PESQUISA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – UMA CONTRIBUIÇÃO À PRODUÇÃO LIMPA

Paulo Magno da Matta

Geólogo - Departamento Nacional de Produção Mineral –DNPM/BA  
6ª Avenida, 650 – Área Federal – Cab – CEP 41.750-300 – Salvador-BA  
Fone: (71) 371-1513; 371-4010; 371-0496 / Fax: (71) 371-5748; 371-0422

### RESUMO

As rochas foram largamente usadas pelo homem na história do mundo e do Brasil.

A importância dessa substância pode ser demonstrada pela movimentação de capital no valor aproximado de 2,0 bilhões de dólares por ano e na geração de 105 mil empregos diretos em 2000, sem prescindir do valor de US\$ 338,8 milhões em exportações no ano de 2002.

Entretanto, o segmento industrial de rochas ornamentais continua ainda desviado da nova ordem econômica-ambiental de prevenção da poluição, que é baseada nos conceitos de produção limpa, onde a essência é raciocinar da seguinte maneira: *se os rejeitos não nos interessam porque então não reduzi-los ao máximo possível e reciclar aqueles que são inevitáveis?*

Ao avaliarmos as perdas durante a produção de blocos, concluímos que certos métodos de lavra e de desmonte geram mais rejeitos que outros métodos.

A fase de prospecção e pesquisa é uma etapa crucial para subsidiar um projeto de lavra de blocos com pouca geração de rejeitos. Quanto mais densa e concentrada em um determinado volume de um maciço for executada a pesquisa de detalhe, mais limpa será a lavra.

Segundo a sugestão enfocada neste texto, a pesquisa de detalhe deveria ser realizada em área(volume) restrita, visando adensamento das combinações de dados e cruzamento de informações, devendo a reserva medida de rochas ser calculada para a quantidade de até 100.000m<sup>3</sup>. Este adensamento e concentração espacial da pesquisa já representaria uma importante estratégia inicial para reduzir o rejeito na lavra.

Por outro lado, as reservas indicadas e inferidas não precisam possuir limites de volume para cubagem.

Alguns programas de computador específicos estão sendo também utilizados como ferramentas nos esforços para a redução dos rejeitos durante a lavra.

### INTRODUÇÃO

O surgimento da pedra natural na evolução histórica da humanidade é de tal magnitude que se insere na base de todas as culturas clássicas.

Embora a utilização da pedra natural pelo homem tenha sido difundida praticamente por toda a história, sua consideração como atividade industrial é, entretanto, recente. Apenas a partir do século anterior, principalmente na Itália, foi quando começou a converter-se em um importante setor da indústria mineira, alcançando o desenvolvimento e crescimento maior nesses últimos 50 anos.

Nos últimos 50 anos, a indústria de mármore e *granitos* foi, então, impulsionada por uma crescente procura de material acabado para revestimento no País e seu consumo tem sido dia a dia mais acentuado, adquirindo no final da década de 80, o verdadeiro “boom” do setor no Brasil, sendo inclusive denominada como a “nova idade da pedra”.

As pedras utilizadas em revestimento abrangem três tipos de rochas: as ígneas, as sedimentares e as metamórficas.

Esses três tipos rochas classificados segundo suas origens são os responsáveis pela grande diversidade existente no Brasil. Conforme a primeira versão do *Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil*, de agosto/2002, o País possui em torno de 500 variedades de rochas produzidas em quase 1.300 frentes de lavra, o que, evidentemente, lhe confere alta competitividade no mercado internacional.

Segundo o *Sumário Mineral*, o Brasil, em 2002, produziu 3,059 **Milhões de toneladas** de rochas ornamentais e de revestimentos, encontrando-se entre os seis principais países produtores, ficando atrás da China, Itália, Índia, Espanha e Portugal, respectivamente. Ainda no *Sumário Mineral*, estão classificados os principais estados brasileiros produtores de materiais brutos e acabados, da seguinte forma: Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Ceará e Rio Grande do Sul.

A movimentação de capital do setor gira em torno de US\$ 2,0 bilhões/ano, garantindo cerca de 105 mil empregos diretos atualmente, sendo o consumo interno de 2,5 milhões de tons em 2002 e o das exportações em US\$ 338,8 milhões em 2002.

Entretanto, o crescimento do consumo de pedras no País, poderá redundar na ampliação da geração de outros problemas paralelos, mais

precisamente inerentes às questões ambientais. Pois para se produzir, por exemplo, 3,059 milhões de toneladas de rocha em um ano (2002), seriam necessários remover pelo menos 7,140 milhões de toneladas, a mais, de material em forma de rejeito, considerando a recuperação na lavra de 30%.

Dessa forma, para manter crescente esse setor promissor, deveremos estudar os melhores caminhos para reduzir a produção de rejeitos. A utilização de métodos de trabalho que estimulem a eficiência na produção, diminuindo ao máximo os rejeitos produzidos, deverão ser adotados. Ademais, os rejeitos que são inevitáveis deverão ser vistos como solução para outros setores. Nós iremos discutir aqui, portanto, a utilização do conceito de Produção Limpa, que trata da minimização de resíduos e a busca da eficiência nos processos produtivos e, em último caso, a utilização de reciclagem para os rejeitos inevitáveis.

## ENTENDIMENTO DE PRODUÇÃO LIMPA

Decerto este é um assunto bastante vasto, repleto de tantos instrumentos e ferramentas que uma discussão agora, mais abrangente, foge ao escopo deste texto. Mas de qualquer forma, apresentaremos de maneira objetiva o nosso entendimento do conceito de Produção Limpa, a saber:

A Produção Limpa é o conceito novo de produção (debatido com ênfase a partir do final da década de 80 e início da de 90) que utiliza tecnologias apropriadas com o objetivo principal de prevenir a poluição sem aumentar, ou até mesmo reduzindo, os custos dos processos produtivos, adotando as seguintes metas:

- reduzir ou eliminar a poluição e resíduos gerados nos processos de produção;
- aumentar a ecoeficiência e eficácia de produção;
- economizar recursos naturais e energia nos processos;
- utilizar materiais não tóxicos;
- utilizar com mais eficiência e racionalidade os recursos naturais;
- avaliar preventivamente o consumo dos produtos de forma a evitar impactos ao meio;
- reciclar os materiais remanescentes dos processos de produção para fechar o ciclo produtivo.

A forma de alcançar essas metas poderá advir da interferência nos projetos e processos industriais, desde as fases iniciais, mudando conceitos, aperfeiçoando as pesquisas preliminares, mudando a composição dos produtos (adaptação no projeto), alterando os materiais, as tecnologias, os equipamentos, aumentando a automação, selecionando as melhores práticas gerenciais, programando a produção e mudando os procedimentos para a recuperação de materiais.

Neste estudo procuraremos demonstrar o uso do conceito de Produção Limpa para o setor bastante específico da área de rochas ornamentais.

## LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS E SEUS PROBLEMAS

Trataremos, nesta oportunidade, do segmento produtivo de mármore e granitos ainda na mina. Discutiremos de forma básica sobre os métodos de extração de rochas e os problemas ambientais gerados com a produção de blocos. O nosso objetivo aqui é demonstrar as perdas geradas durante os trabalhos extrativos de blocos de mármore, granitos e rochas similares.

## LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As pedreiras de granitos, mármore e rochas afins são em geral compostas de bancadas, podendo ser de diversos tipos, a depender da jazida e da forma de ocorrência do bem mineral. Dessas bancadas são extraídos os blocos da rocha desejada. Geralmente as pedreiras de rochas são conduzidas a céu aberto, no entanto, encontra-se, mais raramente, mineração subterrânea de rochas ornamentais.

São dois os tipos de lavra para rocha ornamental: um, é a lavra de matacão e o outro, a lavra de maciços rochosos. Neste texto daremos mais ênfase aos maciços.

### *Lavra de matacões*

Os matacões são corpos de rocha arredondados, que se desprendem dos maciços rochosos, por efeito do desgaste erosivo físico, químico e biológico ocorrido durante a passagem dos longos períodos da escala geológica. Esses corpos podem sofrer algum deslocamento ou não na superfície. Os mármore e rochas carbonatadas não passam pelo principal processo erosivo de formação dos matacões, conhecido como exfoliação esferoidal, quando a rocha sofre um processo gradativo de exfoliação das suas partes mais externas como se fosse uma “cebola descascando”.

As dimensões dos matacões, viáveis economicamente, precisam ser as maiores possíveis, na ordem de dezenas de metros cúbicos. Porém, quando eles são constituídos de material de alto valor, os corpos de pequenas dimensões, de até 6 ou 7m<sup>3</sup>, podem ser lavrados com lucro.

A lavra desses corpos é simples: resume-se à partição do matacão por intermédio de furos raiados coplanares e paralelos, efetuados por marteletes pneumáticos, a gasolina ou elétricos. Feitos os furos, utiliza-se cunhas e marretas que fornecem a percussão manual, para seccionar o corpo em pranchas, aproveitando-se as direções de clivagem naturais da rocha. Posteriormente, essas pranchas passariam pelo mesmo processo, visando o desdobramento em blocos, cada vez menores, até atingirem a dimensão comercial.

A partição dos matacões pode ser efetuada também com explosivos de baixa onda de choque (como pólvora negra). Após a execução do furo, deve-se preenchê-lo com pólvora negra e tamponá-lo devidamente. Essa prática é mais utilizada principalmente quando o matacão apresenta

dimensões consideráveis. Os matacões podem ser partidos também por argamassas expansivas.

### **Problemas ambientais gerados com a lavra de matacões**

O fato de, freqüentemente, os matacões estarem, todo ou em parte soterrados no regolito, cria-se a necessidade de grande remoção do solo, geralmente sem controle algum, para a condução da lavra, ocasionando impacto sobre o ambiente. Além do impacto visual causado, esse solo acaba sendo carreado e perdido nos períodos chuvosos.

Esse impacto é o principal, mas existem ainda as alterações negativas básicas proporcionadas pela mineração ao meio, a saber: desmatamentos, carregamento de sólidos em suspensão para as redes de drenagem, poluição causada por objetos estranhos ao local (peças de equipamentos, utensílios domésticos, ferramentas, etc.), poluição com o derramamento de óleos e combustíveis das máquinas e poluição sonora (martelotes pneumáticos, jet flame, etc.).

### **Rejeitos**

A taxa de recuperação da lavra de matacão é freqüentemente mais baixa que a do maciço. Desta forma a produção de rejeito na lavra de matacão é ainda maior que a do maciço.

As causas da produção de rejeito são:

Primeiro por causa do uso de explosivos, mesmo sendo de baixa onda de choque. A deflagração desses explosivos proporciona a criação de microfaturas em determinados materiais, podendo comprometer a integridade da rocha, o que ocasiona perda de material.

Segundo, a alteração da rocha causada pela ação das intempéries é mais forte nos matacões. Isso favorece a produção de rejeitos.

Em terceiro lugar, a possibilidade dos padrões estéticos dos corpos rochosos não se repetirem, em um nível aceitável, em uma mesma zona é comum. Essa heterogeneidade, que é mais imprevisível nos matacões, pode prejudicar o planejamento da produção e restringir o comércio do material, transformando uma parte da produção em rejeito.

E em quarto lugar, talvez a mais importante, está na forma geométrica e nas dimensões dos corpos individualizados. A geometria dos corpos rochosos compromete em muito na recuperação da jazida, já que o matacão é um corpo arredondado e o produto final (o bloco) possui forma de paralelepípedo com ângulos retos.

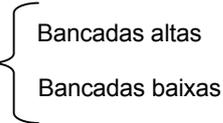
### **Lavra em maciços rochosos**

Os maciços rochosos representam grandes massas de rocha derivadas da consolidação dos magmas que se resfriaram no tempo geológico e emergem na superfície graças, principalmente, à erosão. No caso das rochas sedimentares esses

maciços surgiram dos grandes depósitos de sedimentos que passaram por processos diagenéticos diversos e posteriormente, afloraram à superfície sob as ações da erosão. Os maciços originários das rochas metamórficas passaram pelo mesmo processo erosivo das duas anteriores, aflorando uma massa rochosa que foi submetida às altas temperaturas e pressões no interior da crosta.

### **Métodos de lavra**

Os métodos de lavra utilizados para extrair blocos de rochas em maciços são apresentados abaixo:

1. Lavra por bancadas 
2. Lavra por painéis verticais
3. Lavra por desmoronamento
4. Lavra em fossa ou em poço
5. Lavra subterrânea

### **Bancadas altas**

Esta configuração de pedreira é utilizada nos maciços rochosos que apresentam heterogeneidade na qualidade e estrutura da jazida. A utilização de bancadas altas prevê a seleção de blocos finais. As bancadas constituem grandes pranchas com altura variando entre 4 e 16 metros. A altura da prancha corresponderá a um número múltiplo de uma das dimensões do bloco comercializável. O caráter seletivo atribui maior geração de rejeitos à lavra.

### **Bancadas baixas**

Ao contrário da anterior, esta configuração será utilizada para uma jazida dita homogênea. A altura da bancada corresponderá à dimensão de um bloco comercializável que é diretamente recuperado do maciço. Portanto, a extração dessa pedreira é pouco seletiva possuindo melhor recuperação que a supramencionada.

### **Lavra por desabamento**

Aplicada em maciços rochosos bem fraturados e com relevo acidentado (acima de 45°). O desmonte é feito sobre grandes pranchas verticais (painéis verticais, mais altos que 12m). Normalmente são desmontados volumes na ordem de 3000 a 5000 m<sup>3</sup> de rocha de uma só vez, através de explosivos. Após o desmonte são selecionados os maiores blocos com as formas mais apropriadas para o esquadrejamento e a produção de blocos comercializáveis. Este método apresenta uma recuperação muito baixa que varia entre 10 e 15%, por isso mesmo a rocha precisa ter alto preço no mercado. É um método dificilmente adotado no Brasil.

### **Lavra em fossa e em poço**

Estas configurações, na verdade, representam variações dos métodos de exploração por bancadas. A diferença é que elas formam depressões no terreno. Por isso, esses métodos são aplicados em jazidas que ocorrem geralmente em

planícies ou em relevos bastante suaves. A lavra em poço já é, por outro lado, uma evolução da lavra em fossa.

### **Lavra subterrânea**

A lavra subterrânea é também a evolução das lavras em fossa e em poço. Normalmente é aplicada em rochas moles (carbonatadas), mas encontra-se, apesar de raro, lavras subterrânea em rochas duras com a presença de muito quartzo, como é o caso dos quartzitos de Oliveira dos Brejinhos na Bahia.

### **Desmonte de rochas – técnicas de corte**

Além dos métodos escolhidos para lavra, as técnicas de corte no desmonte das rochas podem influenciar muito na geração de poluição ao ambiente.

Sem nos aprofundarmos, citaremos abaixo as principais técnicas de corte utilizadas no desmonte de rochas ornamentais.

Existem, basicamente, dois tipos de tecnologias de corte para rochas, a saber: Tecnologias cíclicas e Tecnologias de corte contínuo.

As tecnologias de cortes cíclicos exigem a realização de furos na rocha para o desmonte, algumas utilizando explosivos de baixa velocidade de choque. Já as tecnologias de corte contínuo não utilizam furação.

### **Tecnologias de cortes cíclicos são divididas em :**

- perfuração e explosivo;
- perfuração contínua;
- divisão mecânica por cunhas;
- divisão por agentes expansivos.

### **Perfuração e explosivo**

Consiste em perfurar a rocha com martetele pneumático em furos coplanares e paralelos com espaçamento correspondente entre 8 e 20 vezes o diâmetro dos furos. Nos furos podem ser colocados explosivos tipo pólvora negra, nitrato de amônia, cordel detonante e cartucho explosivos de baixa velocidade de choque. Os furos de diâmetros entre 3,2 cm e 3,4cm devem ficar espaçados de 26 a 70cm, e receber a carga de explosivo adequada, de forma que o plano de fogo seja suficiente para isolar uma fatia de rocha, visando o esquadrejamento ou novas subdivisões sem danificar o material. Os cálculos devem considerar as características físicas e mecânicas das rochas para evitar maiores perdas no fogo, usando, inclusive, software específicos que simulem um desmonte eficaz. Mesmo assim o risco de trincar o material é grande o que facilita a produção de rejeitos.

### **Perfuração contínua**

Trata-se da realização de várias perfurações bastante próximas ou adjacentes uma da outra, por equipamentos conhecidos como corta blocos (*slot drill*), onde são acoplados um ou mais marteteles pneumáticos que executam a operação simultânea,

ao deslocar-se sobre um tipo de trilho. A operação é conduzida através de rotação contínua e reversível com percussões sobre a broca promovendo uma fenda contínua por toda a linha de furo. Logo, aqui não se utiliza explosivos. Esta técnica provoca menos perda de material que a anterior.

### **Divisão mecânica por cunhas**

Consiste na perfuração da rocha por diversos furos separados linearmente em espaços curtos e posterior divisão com aplicação de cunhas, entre linguetas de metal, efetuando-se percussão manualmente com a ajuda de uma marreta, até criar fissura e partir a rocha. Esta técnica causa atraso na produção já que pode durar até muitas horas para partir determinadas rochas, diminuindo, assim, a produtividade da lavra. O custo da perfuração é também alto em razão da quantidade de furos realizados.

### **Divisão por agentes expansivos (argamassas expansivas)**

O princípio é o mesmo da técnica anterior. Diferencia, entretanto, na substituição das cunhas por um tipo de massa auto expansiva (aplicadas nos furos) e no espaçamento entre que agora é ampliado (menos perfurações), resultando num melhor custo benefício durante a produção de blocos. O corte das pranchas não afetam a integridade física das rochas, gerando, assim, menos rejeito e aumentando a produção.

### **Tecnologias de corte contínuo são:**

- Fio helicoidal e diamantado;
- chama térmica (flame-jet)
- cortador a corrente;
- jato d'água (waterjet).

### **Fio helicoidal e diamantado**

Essas duas ferramentas de desmonte classificam-se entre aquelas de corte contínuo, cuja operação de desdobramento das pranchas não são interrompidas até atingir o ponto de alcance final do equipamento em determinado local do maciço.

O fio helicoidal se compõe de três fios de aço trançados em forma de helicóide, puxados por um motor e orientado por roldanas usado nos mármore e calcários. A operação de corte se faz em conjunto com uma lama abrasiva, composta de 70% de água e 30% de areia quartzosa. Atualmente este equipamento vem sendo substituído pelo fio diamantado que possui melhor desempenho.

O fio diamantado é também tracionado por um motor com roldanas no sistema. Ele é composto por um fio de aço de 5mm de diâmetro, sobre o qual estão fixadas pérolas diamantadas de mais ou menos 10mm de diâmetro, responsáveis pelo corte da rocha. A quantidade de pérola depende da finalidade do fio: se for usado para mármore serão 30 a 32 pérolas por metro de fio; se for no granito, sendo considerado como rocha dura, serão 40 pérolas por metro de fio. A velocidade do fio diamantado é bastante superior ao do fio anterior, ou seja: quase 10 vezes mais rápido

(10 – 15m<sup>2</sup>/h nos mármore e nos granitos 2 a 5m<sup>2</sup>/h). O consumo de água gira em torno de 500l/m<sup>2</sup> e a energia 7,1KWh/m<sup>2</sup>. É uma técnica satisfatória pela alta produção e pequena geração de rejeitos.

### **Chama térmica (flame jet)**

Trata-se de uma técnica que utiliza para desmonte de rochas um tipo de lança com bico que suporta a injeção de uma chama de até 2500°C. A chama é produzida por uma mistura de diesel e ar comprimido, aplicável em rochas silicatadas, de preferência naquelas que apresenta maior homogeneidade. O efeito do calor atinge principalmente o mineral de quartzo que possui 2 coeficientes distintos de dilatação. Simultaneamente ao corte utiliza-se água para resfriar a rocha e reduzir maiores perdas do material lapídeo. O problema está nas laterais do corte da rocha, que são normalmente danificadas por micro fraturas em até 30cm de cada lado, em razão do forte calor produzido pela chama. Isso faz aumentar as perdas durante a extração mineral.

A velocidade do corte não é boa, ficando em torno de 1m<sup>2</sup>/h. A poluição sonora da operação é muito alta, atingindo até 130 decibéis. O consumo de diesel é também uma desvantagem já que o aparelho precisa de 65L/h, além de 10m<sup>3</sup>/h de ar comprimido a 0,7 mega pascal de pressões. Portanto, esta técnica leva desvantagem em relação ao custo operacional, a sua baixa produtividade e ao impacto gerado com a maior produção de rejeitos e a poluição sonora. Apesar disso tudo, esta técnica é ainda comum no Brasil.

### **Cortador a corrente**

A tecnologia usada com essa máquina consiste em efetuar cortes nas rochas estabelecendo uma sucessão de planos paralelos. Podem ser feitos planos de serragem verticais como também horizontais.

O campo de ação dessas máquinas se estendem das pedras macias (carbonatadas) às pedras duras (silicatadas). Para as rochas macias as máquinas utilizam correntes providas de dentes de carbureto de tungstênio; já para as rochas duras os dentes dessas correntes contêm plaquetas de diamante. A máquina possui um braço que permite atingir até 4 metros de profundidade. O desempenho do cortador a corrente depende da rocha: se for de dureza alta o corte pode avançar em torno de 5 a 6 m<sup>2</sup>/h, caso contrário o corte poderá atingir até 30 m<sup>2</sup>/h. De qualquer maneira esta técnica é considerada limpa e produtiva em termos quantitativos e qualitativos.

### **Jato d'água (waterjet)**

Trata-se de uma técnica introduzida recentemente na extração de rochas ornamentais, funcionando por intermédio de um equipamento que ejeta um fio d'água a uma pressão de até 2000 bars, impulsionada por uma bomba de alta pressão.

Os parâmetros principais que influenciam na performance são: a pressão d'água, a sua vazão e a

velocidade de corte. Essa técnica permite extrair blocos regulares com mais qualidade, aumentando a recuperação para 70% ao invés de 20% como acontece com a maioria das explorações com explosivos.

A erosão provocada pelo jato d'água está relacionada essencialmente com as micro descontinuidades das rochas, a saber: a porosidade, o tamanho dos grãos dos minerais constituintes, a composição mineralógica, o grau de meteorização e comportamento elástico. O consumo de água no pior dos casos fica em torno de 60l/min.

### **Problemas ambientais gerados pela lavra de maciço rochoso**

Resumidamente podemos dizer que os principais impactos ambientais causados pelas lavras de mármore e granitos são os seguintes:

- Impacto visual;
- Desmatamentos;
- Decapeamento ou remoção do solo;
- Disposição do Bota fora da mina;
- Lixo doméstico;
- Sucata metálica disposta na área;
- Efluentes líquidos (esgoto doméstico, óleos lubrificantes originários da manutenção das máquinas e equipamentos e produtos de limpeza);
- Poluição atmosférica (poeiras e fumaça, geradas pelas frentes de lavra com as explosões, pelas máquinas perfuratrizes, pelo "flame jet", por veículos automotores com seus deslocamentos e combustão de motores ao redor das cidades e dentro dos seus limites);
- Poluição sonora (provocados pelos equipamentos de desmonte da rocha como: maçaricos (flame jet), perfuratrizes, detonações, veículos pesados e a circulação constante de caminhões dentro dos limites das cidades);
- Vibrações (causadas pelas detonações, percussões de equipamentos de sondagens – perfuratrizes e martelotes pneumáticos, circulação de veículos pesados e dos caminhões, neste caso nas cidades).

### **Rejeitos gerados na lavra de maciços rochosos**

Reavaliando o texto acima podemos afirmar que a maior produção de rejeitos nos maciços se origina principalmente: dos métodos de lavra (exemplo, desabamento) quando estes utilizam desmonte de grandes pranchas; dos desmontes com cortes cíclicos de rochas quando se usa explosivos; das perfurações com grandes profundidades através do prováveis desvio dos furos; do calor derivado do **flame jet** ou maçarico. Além desses itens existem ainda fatores extra mineração para adicionar o volume de rejeitos gerados, como o mercado, por exemplo, que normalmente atende a certas tendências arquitetônicas mundiais. Não é raro um determinado tipo rocha ser bem aceito no mercado em um momento e pouco depois esse mesmo tipo não ser mais aceito. O resultado vai refletir diretamente na recuperação da pedreira, tornando os blocos que antes eram bem comercializados em meros rejeitos.

## **SUGESTÕES PARA PRODUÇÃO MAIS LIMPA NA EXPLOTAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Para reduzir a geração dos resíduos rochosos na produção de blocos é importante analisar todas as etapas que precedem a formação do produto final. Neste caso estamos considerando como produto final o bloco de rocha bruta.

Na verdade esse bloco chega a passar por uma primeira etapa de beneficiamento que é o esquadrejamento da rocha. Em quantidade, a principal exportação de rochas do País é na forma de blocos. Os países importadores realizam o beneficiamento final, dentro do seu parque industrial.

Então para analisar todas as etapas pertencentes à fabricação de blocos de granitos e mármore seria interessante fazer um tipo de **Análise do Ciclo de Vida (ACV)** desse produto. Esta análise, inclui a avaliação do ciclo completo de vida do bloco, que engloba, neste caso, a prospecção da ocorrência rochosa, a pesquisa do minério encontrado, a implantação da infra-estrutura necessária à extração da rocha, a execução dos trabalhos de lavra, o sistema de transporte planejado e a comercialização do produto final. Normalmente seriam avaliados também, o uso e a reutilização do produto, a manutenção, a reciclagem e a disposição final. Entretanto a nossa proposta, aqui, é discutir apenas a questão até a produção de blocos, não englobando, assim, as etapas do consumo do material.

A produção de rejeito, para o nosso caso, acontecerá apenas durante a fase de lavra. Todavia a **ACV** deverá englobar principalmente as fases iniciais de prospecção e pesquisa (exploração), pois destas etapas dependerão fortemente as etapas posteriores do empreendimento mineiro. Já discutimos acima as fases de lavra e os métodos mais importantes na geração de rejeitos. Agora discutiremos a contribuição das etapas iniciais do projeto (prospecção e pesquisa) na redução de rejeitos durante as etapas de lavra.

## **PROSPECÇÃO E PESQUISA DE ROCHAS. UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO DE REJEITOS**

Como foi citado nos parágrafos anteriores, as características das rochas influenciam diretamente no índice de recuperação de uma lavra. As estruturas da rocha e do próprio afloramento (gradiente, sistema de juntas, acessibilidade, etc.), a sua textura, os aspectos físicos dos maciços, os índices físicos dos materiais rochosos, as suas características tecnológicas, como resistência a abrasão, a compressão, ao congelamento e degelo, dilatação térmica, etc., precisam ser conhecidos para melhor se programar as técnicas de extração e beneficiamento mais adequadas.

O mesmo pode-se dizer sobre a infra-estrutura, a localização geográfica e a geometria do afloramento objetivado. São pontos que podem pesar no índice de geração de rejeitos de uma lavra de rochas.

Assim, as fases iniciais do projeto de produção de blocos, que normalmente são conduzidas apenas para encontrar o afloramento rochoso de interesse e definir a viabilidade econômica de sua exploração, baseado em análises quantitativas e qualitativas, deverão se preocupar desde agora com o índice de recuperação da lavra. Esta é a nossa primeira sugestão. As fases de prospecção e pesquisa deverão nortear suas condutas já para a prevenção da poluição e redução da produção de rejeitos na fase de lavra da jazida.

## **PROSPECÇÃO MINERAL PARA ROCHAS ORNAMENTAIS**

A etapa de prospecção engloba duas fases distintas: a primeira é a fase de escritório e a segunda a fase de reconhecimento de campo. A primeira fase é início de tudo e a segunda objetivará confirmar "*in loco*" as conclusões extraídas na primeira fase. A seguir resumiremos essas duas fases.

### ***Estudos preliminares no escritório***

A localização de uma ocorrência mineral é o objetivo principal da fase de prospecção, mas não é apenas esse o seu único objetivo. Nesta fase serão avaliados vários fatores extra geológicos que poderão viabilizar a execução do projeto de lavra. Entre eles são consideradas a localização geográfica da área, suas condições de acesso, a infra-estrutura da região, a morfologia do afloramento, entre outros itens.

O início desta etapa se concentrará na compilação de todas as informações geológicas disponíveis da rocha e da região objetivada. Utiliza-se mapas geológicos entre as escalas de 1:100.000 e 1:500.000, fotografias aéreas, imagens de satélites, trabalhos anteriores publicados, trabalhos acadêmicos, registro de informações sobre a existência de outras pedreiras na região, etc. Tudo que auxilie na primeira seleção de ambientes geológicos promissores para o empreendimento.

Esses instrumentos de informações darão condições de se fazer as primeiras avaliações dos possíveis locais de implantação do projeto pretendido.

As imagens de radar e fotos aéreas, por exemplo, são bons instrumentos para a definição dos principais domínios litológicos presentes, destacando áreas de maciços rochosos, de ocorrências isotrópicas, de intrusões graníticas, da existência de zonas de matacões e o índice de fraturamento dominante, formas de relevo, sua evolução e áreas desnudadas. Juntamente com os mapas geológicos e geomorfológicos pode-se definir os melhores lugares e a prováveis rochas que lá existam.



**Imagem de radar ilustrando uma rocha alcalina intrusiva (padrão homogêneo). Detalhe para a falha NE-SW que trunca o maciço (Serra Maicuru, estado do Pará).**

Esses são exemplos do que se pode obter ainda em escritório, utilizando apenas as ferramentas supramencionadas. Mesmo neste momento, pode-se trabalhar já pensando em reduzir rejeitos. Como poderíamos fazer isso? De início, **não** deveremos procurar rochas que possuam aceitação comercial mediana no mercado, em locais distantes e de difícil acesso, longe dos portos ou com pouca infra-estrutura. Para estes casos os preços das rochas precisam ser bastante atraentes. Essas condições certamente aumentariam em muito a produção de rejeitos, pois uma rocha de preço mediano no mercado não suportaria o custo do transporte de locais de difícil acesso.

Para esclarecer este fato é importante observar que é comum numa pedreira haver produção de 3 categorias de blocos, segundo o índice de qualidade: A, B e C. Sendo o bloco de categoria "A" o de melhor qualidade e o "C" o de pior, devido a pequenos defeitos originários da própria rocha ou do processo de extração. No entanto a meta é comercializar todos os blocos produzidos, evidentemente com diferentes preços. Mas no caso supracitado, a Jazida, para sobreviver, poderia comercializar somente blocos de categoria "A" que resistissem aos custos de distribuição. Os blocos menos qualificados, com pequenos defeitos, pertencentes às categorias "B e C", passariam, assim, a serem rejeitos.

Logo, em áreas que apresentam dificuldades de infra-estruturas e acesso, como as citadas acima, precisariam possuir ocorrências de materiais lapídeos de altos valores, tipo os granitos azuis e pretos ou mármore azulado ou verdes, por exemplo. Materiais como estes têm a chance de melhor suportar os custos de produção e transporte em locais que apresentam dificuldade de acesso. Os preços compensadores permitiriam o comércio dos blocos menos qualificados (tipo "B e C").

## **Reconhecimento de Campo**

De posse das informações preliminares obtidas, põe-se em prática o primeiro plano de reconhecimento de campo. Esta etapa irá ratificar "*in loco*" as condições observadas na etapa anterior (de escritório). As rochas prováveis de serem encontradas, após as pesquisas bibliográficas realizadas, com o subsídio de mapas, fotos aéreas, etc., agora deverão ser confirmadas "*in loco*". Esta avaliação "*in loco*" deverá ocorrer sob escalas mais detalhadas (entre 1:50.000 e 1:100.000). Os moradores do local poderão fornecer preciosos subsídios no descobrimento das rochas, pretendidas com o conhecimento do local que eles possuem.

Agora deverão ser considerados e anotados tanto os aspectos que influenciam na explotabilidade da área quanto as características topo-geológicas dos afloramentos presentes. Assim, serão avaliados "*in loco*", a localização geográfica (proximidade do centro de consumo), a infra-estrutura da região, a qualidade dos acessos existentes, a existência de outras pedreiras e a vulnerabilidade ambiental. Estes itens determinarão a explotabilidade da área.

Em campo também deverão ser avaliados as **qualidades dos afloramentos** existentes. Portanto as características topográficas do local e dos afloramentos (prováveis alvos), a sua morfologia, as dimensões das ocorrências, a vegetação do local e sua influência no acesso (floresta densa, vegetação rasteira, ausência de vegetação, etc.), os sistemas de descontinuidades de cada afloramento, as características visuais das rochas (cor, fechamento, granulação, homogeneidade, alterabilidade) deverão ser consideradas nas avaliações. Tudo isso será acompanhado de um levantamento geológico preliminar e um programa de **amostragens** que determinarão a qualidade do afloramento.

## **Amostragem**

Essa amostragem consistirá em coletas de fragmentos pequenos (amostras de mão) e em coletas de amostras destinadas à elaboração de mostruários. A primeira servirá para confirmar a litologia da área objetivada. É um procedimento que faz parte do reconhecimento geológico preliminar.

O segundo caso compreende a retirada de uma porção ou lasca dos principais afloramentos visitados para expor as partes frescas do maciço e elaborar um mostruário (ou seja, uma pequena porção da rocha serrada e polida – figura 20) da rocha encontrada. Este mostruário indicará as qualidades visuais da rocha quando polida. Este é um fator decisivo para a seleção do alvo final.

Como na primeira fase da prospeção (escritório), após a determinação da explotabilidade da área e da qualidade dos afloramentos, estaremos confirmando as condições da explotabilidade da região. Se a região não apresentar boas variáveis para um empreendimento (infra-estrutura, dificuldade de acesso, distância dos portos, etc.) deveremos selecionar apenas aquelas rochas que teriam condições de obter preços compensadores no mercado para evitar uma grande produção de

rejeitos. Neste caso, os materiais comuns devem ser evitados ou, se mesmo assim for implantado um projeto, ele deverá contemplar, desde já, um estudo da viabilidade de reciclagem de grandes quantidades de rejeitos (fabricação de paralelepípedos, britagem, etc.). Isso quer dizer que ainda na fase de reconhecimento de campo, deverão ser avaliadas as condições econômicas e sociais da região, para definir o potencial de aceitação na implantação de um projeto paralelo de reciclagem.

## **PESQUISA DE DETALHE PARA ROCHAS ORNAMENTAIS**

As áreas selecionadas anteriormente serão avaliadas, nesta etapa, com maior detalhe (1:500 a 1:5.000). Os afloramentos escolhidos como alvos na etapa anterior, serão agora submetidos a novas técnicas de pesquisa visando o dimensionamento do depósito mineral, em busca de resultados quantitativos e qualitativos suficientemente precisos para que esse depósito seja considerado uma jazida mineral.

Para reduzir a produção de rejeito, é preciso intensificar e concentrar a pesquisa geológica e estrutural do afloramento pretendido, detalhando as avaliações exploratórias necessárias.

A pesquisa de detalhe é basicamente dividida em sete partes, ordenadas em seqüência real das etapas de funcionamento do projeto:

- Mapeamento geológico de detalhe;
- Topografia;
- Características tecnológicas das rochas (ensaios de laboratório);
- Lavra experimental (teste de beneficiamento)
- Levantamento geofísico;
- Sondagens;
- Cubagem.

### **Mapeamento geológico**

O mapeamento geológico e a topografia são os primeiros serviços realizados na pesquisa de detalhe. Ele normalmente é executado concomitantemente a topografia, se além aos seguintes itens: a composição litológica da área; a composição mineralógica dos alvos; a espessura do capeamento (regolito); as características texturais da rocha; a existência ou não de manchas, lentes, veios, entre outros defeitos, e colocar em planta todas as estruturas mensuráveis que afetam a exploração do material, sejam elas fraturas, falhas, juntas, diáclases, foliação, dobras, diques, camadas, etc.. Paralelamente, deverão ser realizadas avaliações detalhadas dos jazimentos de interesse, considerando a sua acessibilidade, a qualidade do afloramento, a homogeneidade, e o sistema de fraturamento.

### **Topografia**

A topografia normalmente acompanha o mapeamento geológico, principalmente durante a execução de malhas para escavações e sondagens.

Na topografia deverá constar a determinação do norte verdadeiro, dos lados da poligonal autorizada para pesquisa e, principalmente, o levantamento plani-altimétrico em escala adequada, normalmente entre 1:1.000 e 1:5.000, podendo ser mais detalhado ainda, se necessário for. Um dos objetivos principais da topografia é facilitar a cubagem das reservas, pelo método das seções.

## **CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS**

Um projeto deve prever a compatibilização das características das pedras com as diversas solicitações existentes perante as aplicações programadas, bem como, garantir uma vida útil razoável para um determinado revestimento. Deverá ser considerado que esse revestimento estará sujeito a diferentes oscilações de temperatura, de umidade, de pressões do vento com magnitudes variadas, além de ações de impacto, de desgaste abrasivo, dentre outras.

Como a aplicação dos materiais pétreos é o objetivo final do produto, essa etapa precisa ser executada com muita competência, necessitando, para isso, na execução do serviço, a determinação das adequações corretas aos aspectos fisiográficos de uma região, sugerindo, em muitos casos, a personalização de um material desejado, o que torna imperativo a realização de avaliações das características tecnológicas, químicas e física dos materiais por meio de diversos ensaios em laboratórios especializados.

### **Testes de beneficiamento**

Os testes industriais de beneficiamento, avaliam o comportamento do conjunto, rochas e máquinas, para o processo de serragem e polimento. A observação dessas características pode influenciar a viabilidade de um empreendimento, através da combinação entre a resposta de um tipo petrográfico ao processo de serragem e polimento e o provável preço da rocha.

### **Lavra Piloto**

Os trabalhos de exploração durante a fase de pesquisa são legalmente permitidos pela Portaria Ministerial n.º 380 de 15/07/1943 e a Instrução Normativa 01/2000, que regulam a retirada prematura de minério por meio de Guias de Utilização. Recentemente, a regulamentação foi modificada pelas Normas Reguladoras de Mineração (Portaria n.º 12/2002 do Diretor Geral do DNPM) e pela Portaria do DG/DNPM n.º n°367, (04/09/2003) obrigando ao titular de uma área mineral a apresentar um Projeto Técnico de extração para a Guia supracitada, além de um Plano de Controle Ambiental .

Para o caso de rochas ornamentais, as Guias de Utilização concedidas pelo DNPM, permitem retiradas de quantidades *máximas entre 3600m<sup>3</sup> a 6000 m<sup>3</sup>* (Portaria n°367, 04/09/2003) por um período de 1 ano. Esses números são suficientes para a obtenção das respostas necessárias à complementação da pesquisa conduzida.

A abertura da frente de lavra piloto deverá possuir 2(duas) metas: a) complementação da pesquisa mineral, e; b) estudo de mercado.

### **Complementação da Pesquisa Mineral com a lavra piloto**

Se considerarmos a tecnologia existente atualmente, a pesquisa de rochas ornamentais é ainda insuficiente para o bom conhecimento das particularidades dessa substância, solicitadas pelas exigências volúveis do mercado e às complexidades existentes inerentes às suas características físicas, estruturais, texturais internas e, enfim, à qualidade da aparência do material pétreo. Ao contrário, um outro minério qualquer, como o de ferro, ouro, estanho, areia, argila, etc. não possui qualidade relacionada ao seu aspecto visual, mas sim ao seu teor, ou à sua composição química favorável. Portanto, essas diferenças é que impõem um caráter *sui generis* às rochas ornamentais, principalmente durante a fase de pesquisa mineral.

Se a pesquisa sozinha é insuficiente para avaliar corretamente um depósito de rochas ornamentais, deveremos abrir uma frente de lavra experimental ou Lavra Piloto. Seria também o momento propício para a realização dos testes de beneficiamento (serragem, polimento e lustro do bloco) e de mercado. A quantidade de 500 m<sup>3</sup> é suficiente para estes testes. Esta estratégia nada mais seria que a utilização de **métodos empíricos** durante a pesquisa mineral.

A lavra piloto torna-se, então, muito importante na obtenção de informações mais precisas e eficazes sobre o afloramento rochoso e as técnicas de extração, a saber: a qualidade da rocha (cor, textura, alterações, fraturas, veios, enclaves, etc.), a sua tensão interna, as condições de lavrabilidade do depósito e avaliação das prováveis conseqüências impactantes ao meio e avaliação dos métodos mais adequados para uma produção limpa. A adoção de bancadas que não priorizem pranchas de volumes exagerados e a utilização de argamassas expansivas no desmonte, ao invés de explosivos, aliada a técnicas de corte contínuo, tipo fio diamantado, cortador a corrente ou jato d'água, aparentemente são as melhores maneiras de explorar com menor produção de rejeitos.

A lavra piloto também favorecerá uma avaliação geológica da rocha mais eficiente, pois serão expostas duas ou mais faces da rocha fresca no maciço, servindo como um ótimo testemunho. Nesta fase também poderão ser selecionados os melhores métodos de beneficiamento. Se houver realmente a necessidade de se utilizar explosivos, a lavra piloto determinará o plano de fogo mais adequado para o material em estudo de forma que não prejudique a rocha e evite a geração de rejeitos, além de se poder analisar empiricamente a melhor produção em escala comercial para a lavra definitiva.

### **Estudo de mercado**

Também é feito com os blocos extraídos da lavra piloto. Como já foi dito acima a importância do mercado para este setor é muito grande porque

influencia, inclusive, na recuperação da lavra, prevenindo a geração de rejeitos.

### **Matacões**

A lavra de matacões, como já foi mencionado, é normalmente impactante e geradora de rejeitos. Não existem técnicas eficientes para uma redução significativa de rejeitos. Entretanto, se houver a exploração de matacão, é melhor utilizar no seu corte, argamassas expansivas e selecionar sempre os matacões de maiores dimensões, já que, pelo menos, são mais compensadores economicamente.

### **Geofísica**

Caso os resultados anteriores sejam positivos, os estudos poderão ser complementados, com a obtenção da melhor avaliação possível sobre o material imediatamente pretendido. Neste caso, a malha da pesquisa deve ser adensada nas proximidades ao redor da frente experimental aberta, de forma que as informações adquiridas nos serviços de exploração sejam combinadas com os dados da pesquisa complementar final.

Métodos como o Geo-radar (GPR), por exemplo, estão sendo utilizados para a detecção de descontinuidades da rocha de origem magmática. Seções de radar com afastamento constante são migradas em profundidade, para a interpretação do sistema de fraturas e a porção contínua do corpo rochoso, visando a obtenção do volume que poderá ser explorado economicamente.

Além desse método podemos citar outros que também subsidiam nos estudos da rocha, a saber: o sísmico (da mesma forma, para detecção de fraturas); a gravimetria (para as estruturas cársticas ou cavernas, em rochas carbonatadas); magnetometria (para diques de rochas máficas, por exemplo); e sondagem elétrica vertical - SEV (sensíveis à presença da água na definição da geometria dos corpos).

Assim, podemos observar que a geofísica representaria uma boa ferramenta na redução de rejeitos na lavra. Pois, suas informações poderão subsidiar na caracterização dos defeitos diversos, nas condições litológicas, texturais e estruturais internas dos maciços e corpos de rocha, favorecendo um melhor aproveitamento da lavra.

### **Sondagem**

É um método importante, mas não utilizado intensamente por causa do seu custo alto e do seu efeito pontual para a obtenção de informações. No entanto, elas poderão ser trabalhadas como importante complemento de informações na pesquisa de detalhe. Este serviço fornecerá dados sobre as características da rocha em subsuperfície, que poderão representar ótimas ferramentas na conclusão final a respeito da jazida.

A nossa sugestão é para executar furos de sonda com diâmetro tipo BX, a uma profundidade máxima de 20m. O diâmetro BX é adequado para

testemunhos, que é o objetivo da sondagem. A profundidade de 20m é que mais se adapta a nossa proposta de cubagem limitada, que será discutida a seguir.

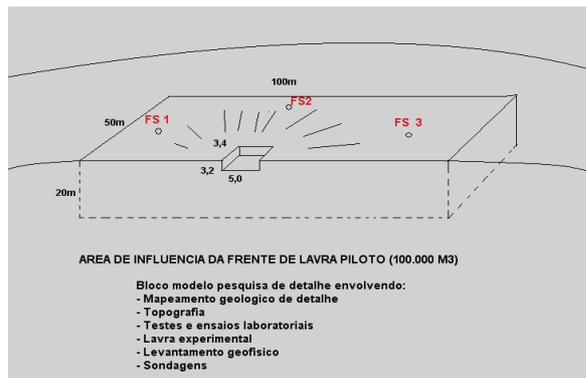
### Cubagem

Para se começar a lavar uma jazida, seja qual for a substância mineral, o depósito precisará estar bem dimensionado quantitativamente.

Quando falamos em cubagem estamos nos referindo a reservas minerais e o Regulamento do Código de Mineração, no seu artigo 26 (Decreto n.º 62.934, de 02/07/1968), define três tipos de reservas: a reserva medida, indicada e inferida. A **reserva medida** é aquela que possui o erro máximo de 20% em relação ao volume verdadeiro do depósito estudado. A reserva indicada utiliza parcialmente a extrapolação na cubagem e a inferida, trabalha somente com extrapolação.

É necessário a obtenção da reserva medida quando a pesquisa apresenta resultados positivos. As outras duas reservas podem ser também calculadas visando o dimensionamento aproximado da reserva total, o que é importante para o caso de ser necessário realizar reavaliação no quadro de reservas.

Após o registro de todas as informações adquiridas nas fases anteriores, processa-se o cruzamento de dados para a elaboração da planta detalhada final dos alvos selecionados. Os cruzamentos desses dados, podem ser, então, processados por programas de computadores específicos e seus resultados expostos em planta tridimensional, objetivando proceder avaliações seguras sobre a reserva medida e garantir a boa condução de uma futura lavra, sob os conceitos de produção limpa.



**Figura – Bloco modelo representando a área de influência da lavra piloto (volume extraído =  $3,4 \times 3,2 \times 5,0 = 54,4 \text{ m}^3$ ). FS 01: Furo de sonda 01**

É aconselhável que a cubagem da reserva medida utilize o método das seções transversais, por apresentar maior precisão na quantificação do depósito rochoso. Pode-se utilizar softwares específicos que digitalizem essas informações fornecendo inclusive os índices de erros prováveis.

Para os maciços, recomendamos que o volume a ser cubado, seja limitado a um teto máximo

ao redor de  $100.000 \text{ m}^3$ . Este valor acompanha as dimensões de uma bancada referencial de 100m de comprimento, por 50m de avanço e 20m de profundidade (ver figura acima).

A área cubada deverá envolver o material existente em volta da frente aberta da lavra piloto, já que poderão ser utilizadas as próprias informações obtidas nesta frente e, com a combinação das informações relativas às etapas precedentes, estendê-las até os limites máximos supracitados, de forma que assegurem razoável confiabilidade.

O número correspondente ao teto máximo supramencionado de  $100.000 \text{ m}^3$ , foi escolhido para simbolizar um projeto de lavra de porte médio, com produção de  $300 \text{ m}^3$  /mês de blocos e vida útil com um pouco mais que 16 anos, considerando uma evolução na recuperação da lavra para em torno de 60%. Assumindo o preço médio de  $\text{US\$ } 300/\text{m}^3$  com o custo de  $\text{US\$ } 180/\text{m}^3$ , o período de 16 anos seria suficiente arrecadar aproximadamente  $\text{US\$ } 6.900.000$  de lucro operacional.

Além disso, esse volume representaria o resultado da concentração de pesquisa em áreas e volumes restritos, visando a redução de custos, melhorando o conhecimento do material pretendido e priorizando o conceito de produção limpa na atividade de extração mineral.

De fato, a busca da precisão na avaliação quantitativa e qualitativa do depósito, deverá ser atingida com o adensamento da pesquisa apenas na região que envolve, o que podemos chamar de, a **área de influência da pedra (figura acima)**. Esta *área de influência* deve resultar das extrapolações conscientes, derivadas do cruzamento dos dados expostos na frente de lavra, com as informações obtidas nas etapas anteriores (mapeamento geológico, topografia, testes laboratoriais, sondagens e geofísica).

A verdade é que, quanto maior for o volume pesquisado e cubado dos maciços, menos seguras e precisas serão as informações estimadas sobre os seus comportamentos e aspectos internos. Pois, estarão ocultos perigosamente parâmetros que representem problemas, a saber: mudança de textura da rocha, presença de diques, fraturas, lentes, enclaves, manchas, cavidades e estruturas de cavernamento (mármore), alterações de cor, etc., Estes problemas poderão gerar bastante rejeitos e até condenar um empreendimento.

Vale ressaltar, no entanto, que é comum haver empreendimentos que realizam investimentos em pesquisa correspondentes à grandes áreas de maciços, resultando muitas vezes em cubagens na ordem de dezenas de milhões de metros cúbicos. Neste caso, ou a pesquisa será muito dispendiosa ou ela será insuficiente para uma avaliação qualitativa e quantitativa adequada, escondendo assim os defeitos existentes no interior das rochas.

Finalmente, o que se pretende desta estratégia é **concentrar os serviços de pesquisa mineral em área restrita** para tornar as informações mais eficazes, de forma que proporcione uma melhor

relação de custo/benefício na pesquisa, com a garantia da precisão almejada na avaliação, reduzindo ao máximo as perdas da futura lavra. Neste caso, o volume sugerido de 100.000 m<sup>3</sup>, não é a causa da proposta, mas o meio de atingi-la.

## NOVAS SUGESTÕES DE PRODUÇÃO LIMPA

Para o cálculo das reservas existem algumas sugestões que consideramos interessante no subsídio de uma produção limpa na lavra de rochas. Como exemplo, podemos citar a modelagem de blocos desenvolvido para dimensionar uma reserva de rocha ornamental com base na dimensão dos blocos comercializáveis escolhidos, dentro dos limites topográficos do maciço, considerando as principais estruturas geológicas medidas em campo e lançadas no programa. Essa modelagem utiliza o aplicativo conhecido como DATAMINE, normalmente empregado para calcular as reservas das substâncias minerais convencionais, e que agora está sendo aproveitado a partir de uma adaptação para rochas ornamentais (Kalvelage M., Lima A., Toni G., 2001). Por esse programa pode-se buscar o tamanho do bloco comercial mais apropriado para uma recuperação máxima da reserva durante a lavra. A maior dificuldade estaria na padronização dos blocos e nos lançamentos dos dados diversos oriundos de uma jazida de rochas, para a alimentação do software sem problemas no resultado final. Afinal a padronização de blocos para uma jazida heterogênea poderá resultar em geração de rejeitos se forem considerados os defeitos estruturais existentes nessas jazidas.

Essa modelagem de blocos seria muito bem aplicado em uma jazida bastante homogênea. Neste caso, o software seria uma boa ferramenta para planejar uma lavra inserida dentro do conceito de produção limpa.

Outra pesquisa realizada pela escola Politécnica da Universidade de São Paulo, também lançando mão de modelagens geológicas e planejamento de lavra com auxílio da técnica de Radar de Penetração no Solo – GPR, a partir de detalhes estruturais e texturais levantados e dos arranjos espaciais dos maciços rochosos. Utiliza-se também um software de mineração, que gera modelos de blocos com **dimensões variadas**. A lógica do programa permite definir um espaço tridimensional, que deve ser preenchido por blocos de acordo com uma disposição pré-arranjada. Todos os blocos com as diversas dimensões selecionadas, são alocados automaticamente no espaço digitalizado do maciço, considerando as suas condições estruturais (falhas, fraturas, etc.) e texturais. A recuperação teórica é calculada então como uma porcentagem do volume total disponível do maciço em relação ao volume preenchido pelos blocos de um determinado conjunto de dimensões selecionadas (Mastrella R., Stellin R., Stellin A. e Tomi G., 2001).

Essa mesma escola e os mesmos pesquisadores supracitados, acompanhando o projeto de pesquisa maior sobre técnicas de planejamento para o aproveitamento de rochas ornamentais, apresentaram outra linha de pesquisa específica levando em conta, desta vez, a modelagem geológica

tridimensional de um bloco qualquer, considerado como defeituoso. O programa de computador utilizado fará uma modelagem geológica do bloco registrando as suas estruturas, texturas e cores típicas. Em seguida procede-se a serragem simulada do bloco dito como defeituoso, originando chapas de 2 centímetros de espessura permitindo, assim, a elaboração de um banco de dados das chapas que poderiam ser serradas e polidas. Essas chapas simuladas apresentam com exatidão a estrutura e cores que terão após a serragem. De posse desse banco de dados será possível realizar intervenções arquitetônicas, antes mesmo da serragem do bloco, de acordo com a estética desejada num determinado projeto, pois os trabalhos dos arquitetos estariam sendo subsidiados com informações eficazes sobre o aspecto visual interno de um bloco tido como “defeituoso”. Dessa forma os arquitetos poderão tomar decisões sobre a aplicação das chapas oriundas desses blocos, podendo, então, viabilizá-los como blocos, diminuindo a geração de rejeitos.

## CONCLUSÃO

Podemos notar que, no Brasil, a produção de rejeitos na lavra de rochas ornamentais é considerável. Se avaliarmos a produção nacional do ano de 2002 (3.059 Mil ton ou 1.133 Mil metros cúbicos), perceberemos forte possibilidade de ter sido paralelamente produzido em torno de 2.644.444 m<sup>3</sup> (ou 7.140 Mil ton.) de rejeitos, ou seja, mais que o dobro da produção nacional da rocha. Todo esse rejeito foi gerado principalmente durante a etapa de extração mineral.

O volume de rejeito produzido é proporcional à qualidade e dimensão dos impactos ambientais gerados durante a lavra de rochas ornamentais. Se o Brasil movimentar 2,0 bilhões de dólares por ano para produzir mais de 1,133 milhão de metros cúbicos (ou 3.059 milhões de ton.) anuais, pode-se ter uma idéia da ordem de grandeza econômica que o País deixou de movimentar ao gerar aproximadamente 2,644 milhões de metros cúbicos de rejeito também em 1 ano. Logo, se a recuperação média aumentar, nós poderemos não só reduzir os impactos gerados, mas aumentar a movimentação de capital no Brasil na ordem de centenas de milhões de dólares.

As medidas principais encontradas para evitar grande produção de rejeitos são:

- Desde a fase de prospeção, se os objetivos forem direcionados para uma produção mais limpa. A localização geográfica da provável ocorrência rochosa deve se adaptar à qualidade de mercado da rocha; quanto mais difícil e distante o acesso e menor a infraestrutura, melhor preço de mercado deverá possuir a rocha pretendida;
- Quanto mais intensificada for a pesquisa detalhada em um volume restrito de um maciço, mais chance haverá de se planejar uma extração limpa de rochas ornamentais;
- A cubagem da reserva medida deverá ser limitada a um volume máximo relativamente pequeno (100.000 m<sup>3</sup>), para garantir a produção limpa de blocos; Programas específicos de computador podem ser utilizados também para reduzir rejeitos, digitalizando o

volume de uma jazida e preenchendo-o com certo número de blocos. A relação entre um volume e o outro será a recuperação teórica da lavra;

- Métodos empíricos durante a pesquisa, como a lavra piloto, são essenciais para avaliar a jazida sob o conceito de produção limpa;

- A adoção de métodos de lavra em maciços, na forma de bancadas (altas ou baixas), sem pranchas com volumes muito grandes, utilizando argamassas expansivas; a adoção de técnicas de cortes contínuos (sem explosivos), com fio diamantado, cortador a corrente e jato d' água, são redutores de rejeito.

Esses métodos reduzem os rejeitos durante a extração de blocos, mas é preciso avaliar detalhadamente o efeito compensador de cada método ou técnica de lavra; qual será o mais econômico e o mais limpo? Esses critérios variam de lugar para lugar? São algumas perguntas que exigem a realização de estudos mais direcionados, inclusive com adoção de métodos empíricos.

## BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS e Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil, ABIROCHAS/CETEM, 2002.

ANDRADE J.C.S., MARINHO M.M.O., KIPERSTOK A., *Uma Política Nacional de Meio Ambiente Focada na Produção Limpa: Elementos para Discussão*. Bahia Análise e Dados, SEI v.10, n° 4 p.326 – 332, Salvador Março 2001.

BOTELHO, Marco A. B.. *Análise de Maciços Cristalinos Empregando o Geo-Radar (GPR)*. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador-BA, 2001.

COSTA ROBERTO, F. A. Universidade Federal do Ceará –Departamento de Geologia. *Rochas Ornamentais do Ceará. Geologia, Pesquisa, Lavra, Beneficiamento e Mercado – Dissertação de Mestrado em Geologia*. Fortaleza, 1998.

FILHO, Cid Chiod. *Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais*. CNPq/CETEM. Rio de Janeiro, 1995.

HENNIES, W. T. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. *Curso de Rochas Ornamentais – Caracterização tecnológica de Rochas Ornamentais*. Vitória, 1995.

HOLANDA VIDAL, F. W., BESSA, M.F. & LIMA, M.A.B. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM (MCT). *Avaliação de Rochas Ornamentais do Ceará Através de Suas Características Tecnológicas*. Rio de Janeiro, 1999.

KALVELAGE M., LIMA A., TONI G.. *Estudo de Caso Sobre o Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais*. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador-BA, 2001.