

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA E VALORIZAÇÃO EM
ROCHAS ORNAMENTAIS**

RICARDO GALLART DE MENEZES

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Edson Frias Mello

TECNOLOGIAS DE LAVRA EM MACIÇOS ROCHOSOS

RIO DE JANEIRO, AGOSTO DE 2005

RICARDO GALLART DE MENEZES

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Edson Farias Mello

TECNOLOGIAS DE LAVRA EM MACIÇOS ROCHOSOS

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais do Departamento de Geologia da UFRJ como requisito parcial para aprovação.

RIO DE JANEIRO, AGOSTO DE 2005

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	5
2. METODOLOGIAS DE LAVRA	6
2.1. Lavra por Bancada	9
2.1.1. Bancadas Baixas	10
2.1.2. Bancadas Altas	12
2.2. Lavra por Painéis Verticais	13
2.3. Lavra por Desabamentos (Capeados)	14
2.4. Lavra Seletiva	16
2.5. Lavra Subterrânea	17
3. TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO (CORTE)	18
3.1. Tecnologias de Corte Contínuo	20
3.1.1. Fio Helicoidal	20
3.1.2. <i>Flame Jet</i> (Chama Térmica)	22
3.1.3. Fio Diamantado	25
3.2. Tecnologias Cíclicas (Em Costura)	31
3.2.1. Perfuração Contínua	32
3.2.2. Perfuração Descontínua com uso de Explosivos	35
3.2.3. Perfuração Descontínua com abertura por Cunhas Mecânicas	39
3.2.4. Perfuração Descontínua com abertura através de Argamassa Expansiva	41
4. CONCLUSÕES	44
5. BIBLIOGRAFIA	45

RESUMO

O presente trabalho reúne informações referentes às tecnologias de lavra usuais em maciços rochosos no Brasil, especificamente as técnicas responsáveis pelo desenvolvimento da geometria para exploração das jazidas, os métodos de lavra, e as tecnologias de extração, que permitem o corte e o arranque de volumes primários e secundários de rochas e o esquadreamento de blocos.

Os métodos de lavra no Brasil, em sua quase totalidade, são desenvolvidos a céu aberto, sendo conhecido um único caso em subsuperfície.

Os desmontes de rocha a céu aberto podem se dar mediante lavras em bancadas (altas e baixas), por desmoronamentos (capeados), de forma seletiva, e por painéis verticais. No processo de lavras subterrâneas o método é por galerias e pilares, aproveitando-se de planos estruturais da rocha.

No tocante as tecnologias de extração, elas envolvem perfurações, atrito, aplicação de agentes expansivos e chamas, usualmente utilizados de forma combinada. Do ponto de vista operacional, são divididos em duas categorias, as técnicas de corte contínuo e as técnicas cíclicas (cortes em costura).

As técnicas de corte contínuo são embasadas fundamentalmente em uma única operação de corte, dispensando o uso de técnicas combinadas complementares, alternadas ou não, para finalização do talho. Seus métodos de corte se baseiam no uso do fio helicoidal, do fio diamantado e do *flame jet* (maçarico).

As técnicas cíclicas, por sua vez, envolvem principalmente perfurações, que podem ser contínuas e descontínuas, estas últimas consorciadas a explosivos, a cunhas mecânicas e a agentes expansivos, como argamassas.

Atualmente, a maioria das lavras no Brasil ainda utiliza técnicas tradicionais, como o *flame jet* e perfurações com cunhas e explosivos, devido principalmente a seus baixos custos, versatilidade e fácil manejo operacional, a despeito dos seus vários inconvenientes.

Entretanto, fatores como a menor produtividade e qualidade inferior das faces de corte, ou, como no caso dos explosivos e maçarico, problemas também relacionados a integridade físico-mecânica das rochas acarretando grande quantidade de rejeitos, com reflexos negativos para o meio físico, têm motivado uma progressiva tendência de sua substituição por métodos com melhor relação custo X benefício, que refletem maior taxa de recuperação e qualificação dos produtos, além de impacto mínimo à paisagem e a segurança do trabalho, como o fio diamantado e as argamassas, por exemplo. Esta última, especificamente, vem se tornando uma opção mais viável com emprego crescente nas operações de corte, justificada pela facilidade de operação, produtividade e baixo custo, além de ser uma técnica limpa, sem agressões ao meio ambiente e inofensiva para seus manuseadores.

Palavras-chave: rocha ornamental, métodos de lavra, tecnologias de corte, fio diamantado, fio helicoidal, *flame jet*, perfuração contínua, argamassa expansiva

1. INTRODUÇÃO

Na cadeia produtiva das rochas ornamentais são consideradas como suas etapas essenciais, a lavra e o beneficiamento, representando este último um importante estágio do ponto de vista econômico, não apenas por agregar valor aos produtos pétreos, mas também por proporcionar a verticalização das empresas produtoras e estímulo à expansão do parque fabril de apoio, notadamente em investimentos na diversificação e aperfeiçoamento tecnológico de seus produtos e qualificação da mão de obra. O beneficiamento compreende basicamente a serragem de blocos de rocha bruta e, eventualmente, placas rústicas, para a produção de chapas, o acabamento de suas superfícies e a formatação de peças, padronizadas ou não.

A fase de lavra, escopo do trabalho, é o pilar da cadeia produtiva das rochas ornamentais, compreendendo as metodologias empregadas no desenvolvimento físico das jazidas e as técnicas de liberação de blocos de rocha, tanto para o isolamento de volumes primários e secundários como no seu esquadreamento.

Descrição das características inerentes às metodologias de lavra e tecnologias de extração (corte), comumente utilizadas na exploração de maciços rochosos no Brasil, bem como considerações econômico-operacionais frente às características diversas das jazidas, fundamentam a presente monografia, cujas informações advêm de aulas pertinentes à disciplina I-03, Exploração e Produção (EXPLOP), do Módulo I, Aperfeiçoamento Tecnológico, apoiada por observações extraídas de visitas técnicas a centros de operação de lavra, bem como da análise bibliográfica relativa a temática.

A escolha das melhores tecnologias é basicamente função dos aspectos morfológicos e geológicos do maciço rochoso, precisamente para este último suas propriedades extrínsecas e intrínsecas. Porém, tal avaliação, nas práticas comerciais, também sempre está concatenada com o volume de recursos financeiros disponível para o empreendimento mineiro e no preço de revenda e características do produto final. Neste sentido, a harmonização de custos pode, em última instância, determinar quais opções técnicas mais viáveis para o desenvolvimento da lavra.

Nas operações de corte, o emprego combinado de tecnologias mais avançadas e de preço relativamente elevado e a mais rudimentar e barata, é rotineira, e geralmente tem como finalidade o equacionamento de custos. Não raro, entretanto, exigências de mercado também têm sua influência na atividade operacional, levando a uma reorientação dos trabalhos com adoção de tecnologias específicas, de resposta imediata, que visam atender soluções emergenciais por parte de clientes.

2. METODOLOGIAS DE LAVRA

No Brasil, a quase totalidade das lavras de rochas ornamentais realizadas em maciços rochosos é a céu aberto, sendo conhecido apenas um caso onde a extração de volumes de rocha é efetuada em subsuperfície. No caso das lavras a céu aberto, dependendo da localização das frentes de retirada de material em relação a topografia do maciço, elas podem ser classificadas em pedreiras em flancos de encosta, em fossa e em poço, as duas últimas genericamente também chamadas de pedreiras em cava.



Fig. 1: Pedreira em flanco de encosta. Granito "Giallo Califórnia", MG (Fonte: Pinheiro, 2003)

As pedreiras em flancos de encosta (**figura 1**) se desenvolvem em vertentes de maciços de rocha pouco ou fortemente inclinados, e apresentam como aspectos positivos em relação aos outros tipos a maior facilidade de aumento da área explotável e a possibilidade de progressivo rebaixamento da lavra. O escoamento da produção de blocos se faz ao nível do terreno de base ou através de rampas descendentes.

Nas pedreiras em fossa (**figura 2**) as frentes de lavra situam-se imediatamente abaixo do nível de base do terreno, com escoamento dos blocos mediante utilização de rampas ascendentes. Tem como inconveniente a interferência do lençol freático que pode limitar o aprofundamento da cava.

Na pedreira em poço (**figura 3**) as frentes de desmonte de rochas ficam igualmente abaixo do nível de base do terreno, porém integralmente balizadas por paredes verticais. Inexistem rampas de acesso, sendo todo o escoamento de blocos assim como o descenso e ascenso de equipamentos e máquinas realizado através

de guindastes. O deslocamento de pessoal é feito através de escadas. A exemplo da pedreira em fossa, o lençol freático também pode limitar o aprofundamento da cava.



Fig. 2: Pedreira em fossa. Granito "Branco Ceará", CE (Fonte: Pinheiro, 2003)

De acordo com a literatura, os processos de desmonte de rochas a partir de maciços rochosos podem se dar através de sistemas de bancadas, painéis verticais, por desmoronamentos (capeados), seletivamente e por galerias subterrâneas. Obviamente, a seleção do método de lavra mais adequado, como frizado anteriormente, deve está suportada por estudos detalhados sobre a topografia e geologia, ou sejam, as características físicas do afloramento, notadamente sua disposição espacial e volume de material passível de exploração, grau e estilo das fraturas presentes, tipos petrográficos existentes e suas relações mútuas, estruturas internas das rochas, texturas e presença e intensidade de feições depreciativas, como "mulas" (xenólitos e restitos) e "barbantes" (veios).



Fig. 3: Pedreira de mármore em poço (Fonte: Pinheiro, 2003)

2.1. Lavra por bancada

Na lavra por bancada, como o próprio nome sugere, a extração de volumes de rocha se dá através de um único ou mais pavimentos, sub-paralelos, horizontais ou com baixa inclinação, suportados por faces verticais uniformes, os quais constituem as frentes de lavra, que evoluem lateralmente em forma de “L”.

Alencar, Caranassios e Carvalho (1996) e Ciccu e Vidal (1998), salientam que tal metodologia é comumente empregada quando a pedreira assume contornos físicos regulares, com altura das bancadas uniformes, sendo característica de estágios avançados da lavra. Normalmente a liberação de volumes de rocha desenvolve-se a partir das partes superiores do maciço rochosos em direção às

inferiores, objetivando o rebaixamento das frentes de extração, procedimento este que permite melhor manejo da lavra, com aproveitamento mais racional e eficiente da jazida, elevando a taxa de recuperação e minimizando custos operacionais.

Ainda, segundo aqueles autores, o método por bancadas trás como vantagem a possibilidade de operação articulada de várias frentes de lavra, as “praças”, permitindo a flexibilização das atividades, como por exemplo, no atendimento de solicitações emergenciais de incremento do nível de produção ou contrabalançar inesperadas deficiências qualitativas.

Chiodi (1995) pondera que as lavras em cava permitem seu aprofundamento máximo em até quatro bancadas com altura individual de 5,0 m a 6,0 m quando utilizado explosivo para seu desmonte. Ainda, segundo o autor, podem evoluir em sub-superfície a partir do piso inferior mediante aberturas de galerias, se o material explorado assim justificar.

A altura (espessura) das bancadas é função direta das características da jazida, e, neste sentido, podem ser subdivididas em bancadas baixas e bancadas altas.

2.1.1. Bancadas baixas

As bancadas baixas, uma metodologia com baixa seletividade de material, tem como característica sua altura (espessura) correspondente a uma das dimensões comerciais, ou seja, variável em geral entre 1,8 m e 3,0 m, obtendo-se blocos diretamente do maciço rochoso com dimensões próximas àquelas usuais nos teares convencionais. É uma metodologia dirigida especificamente a maciços homogêneos, isento de fraturas, sem veios ou “mulas”, e nenhuma variação

faciológica significativa. Esta técnica é aplicada ainda quando tais maciços apresentam grande incidência de fraturas subhorizontais (fraturas de alívio de tensões/ “acebolamento”) pouco espaçadas (**figura 4**), que passam naturalmente a determinar a altura das bancadas, que varia em função da sua presença. É indesejável que o espaçamento entre tais estruturas seja inferior a menor dimensão de um bloco comercial (altura).



Fig. 4: Lavra por bancada baixa, com degraus controlados por planos de fraturas subhorizontais. Granito “Verde Eucalipto”, ES (Fonte: Pinheiro, 2003)

Alencar, Caranassios e Carvalho (1996) acentuam como aspecto positivo do método de bancadas baixas sua flexibilidade no tocante a reorientação das frentes de lavra frente a inesperados e indesejáveis fatores estruturais e sua elevada produtividade, sem a necessidade da utilização de tecnologias avançadas e mais caras. Neste sentido, destacam ainda como fator relevante a inexistência de etapas consideradas por eles como “delicadas”, como o tombamento de painéis.

No tocante ao meio-ambiente, a vantagem do método é o seu reduzido impacto visual, em virtude da pouca área exposta, permitindo ainda a recuperação

segmentos degradados simultaneamente aos trabalhos de lavra (Chiodi, 1995; Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996).

2.1.2. Bancadas altas

As bancadas altas (**figura 5**) permitem maior seletividade de material e conseqüentemente potencial de elevação da sua taxa de recuperação, e envolvem operações mais complexas do que o método das bancadas baixas. São empregadas especificamente para maciços rochosos heterogêneos do ponto de vista qualitativo e estrutural, com suas faces verticais (atura) variando em geral entre 6,0 m e 12,0 m. A extração da rocha se processa a partir do isolamento de grandes volumes primários em forma de paralelepípedos, os “quadrotes”, dos quais, por sua vez, são obtidos através de cortes secundários sub-volumes, correspondendo aos painéis verticais (filão/prancha). Do esquadrejamento destes últimos são produzidos os blocos comerciais.

Normalmente a espessura (altura) dos painéis verticais é sempre um número múltiplo de uma das dimensões do quadrote, ou seja, da sua largura ou do seu comprimento (Pinheiro, 2003)

Chiodi (1995) assinala que o método por bancadas altas pode se dar em um único degrau ou em degraus múltiplos curtos ou largos, os quais norteados pela configuração morfológica do relevo.

Comparativamente às bancadas baixas, o método trás desvantagens do ponto de vista do meio-físico pelo seu maior impacto visual e dificuldades de recuperação de áreas degradadas, em função da sua grande superfície exposta.



Fig. 5: Lavra em bancada alta em mármore, ES (Fonte: Pinheiro, 2003)

2.2. Lavra por painéis verticais

De acordo com a literatura, tal método (**figura 6**) tem aplicação nas fases iniciais de desenvolvimento de uma jazida, sendo direcionado, a exemplo do método por bancadas altas, a maciços com grande variedade qualitativa e estrutural. É empregado ainda em casos de jazidas com baixo volume de reservas, seja pela restrita dimensão da estrutura rochosa, seja por condicionamentos específicos, estruturais, por exemplo, sem, entretanto, existir impedimento quanto ao aprofundamento frente de extração.

A obtenção dos volumes de rocha se processa pela delimitação, como o próprio nome indica, de grandes painéis rochosos verticais, cuja espessura das placas é coincidente com uma das dimensões de bloco comercial, sendo a altura dos

painéis determinada pelo perfil do afloramento, esta estimada a partir da cota do plano horizontal da praça da lavra (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996; Ciccu e Vidal, 1998; Coelho e Vidal, 2003).



Fig. 6: Lavra por painéis verticais. (Fonte: Alencar, Caranassios e Carvalho, 1997)

Dependendo das condições do afloramento, tal metodologia, com a progressão da lavra, pode evoluir para um sistema de lavra por bancadas.

É um método que pode proporcionar boa seletividade de material, com potencial, entretanto, de gerar grande quantidade de rejeitos e dificuldades de ações para recuperação de segmentos degradados, em função das extensas superfícies frontais escavadas (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996).

2.3. Lavra por desabamentos (Capeados)

A metodologia por desabamento (**figura 7**) proporciona o desmonte de grandes volumes de rocha em maciços com vertentes bastante inclinadas,

geralmente a partir de 60°, aproveitando-se da existência de fraturas de alívio de tensões sub-paralelas à sua superfície, conjugada a presença de juntas sub-verticais, que balizam lateralmente as massas rochosas, limitação esta que também pode ser decorrente da própria restrição física do afloramento.



Fig. 7: Lavra por desabamento. Granito “Giallo Speranza”, ES.
(Fonte: Mineração Rocha Branca)

O método aproveita-se da gravidade para a extração de volumes primários de rocha, a qual se dá mediante “escorregamento”, com a lavra evoluindo da base ao topo do afloramento. A técnica usual para liberação das massas rochosas é através da colocação de explosivos de baixa velocidade (pólvora negra) em furos realizados ao longo da sua parte inferior (em leque), dentro dos planos de fraturas sub-paralelas à superfície do terreno. Quando liberados, os blocos de rocha deslizam sobre a encosta e são aparados por “colchões” de amortecimento, formados por

detrítos constituídos por solos e fragmentos de rocha a título de evitar danos ao material, como fissuras ou trincamentos.

Este método de lavra tem o inconveniente do seu grande impacto visual no meio-físico, além de gerar expressiva quantidade de rejeitos. Segundo a literatura, suas condições de segurança de trabalho são consideradas como críticas.

O método por desabamento pode com o desaparecimento das descontinuidades estruturais superficiais evoluir para um sistema de lavra por bancadas.

2.4. Lavra seletiva

A lavra seletiva constitui uma metodologia aplicada a afloramentos caracterizados pela incidência de sistemas de juntas verticais/subverticais, preferencialmente ortogonais, cujos planos constituem faces naturais de fraqueza para separação e obtenção imediata de volumes primários de rochas. A geometria das frentes de lavra estará condicionada às atitudes das juntas, ou seja, a direção e mergulho de seus planos, bem como a sua freqüência.

Alencar, Caranassios e Carvalho (1996) acentuam que a produtividade por tal metodologia é pequena com baixa taxa de recuperação, exigindo, para sua viabilização, a utilização de equipamentos versáteis (alta potência e produtivos) compatíveis com os meios de movimentação e transporte de carga. É fundamental ainda uma boa definição dos seus espaços operacionais, como rampas de acesso, áreas de manobra, áreas para deposição de rejeitos, etc. Segundo Coelho e Vidal (2003), o método requer a existência de grandes áreas para o “bota-fora”, em função da sua reduzida produtividade e baixa recuperação.

2.5. Lavra subterrânea

Técnica há muito utilizada na Itália, na região de Carrara, para obtenção de mármore de alta qualificação (Ciccu e Vidal, 1998), que no Brasil é de uso recente, especificamente na lavra de quartzitos no município de Oliveira dos Brejinhos, na Bahia (**figura 8**).

A metodologia é indicada principalmente para maciços rochosos que impliquem no decapeamento de grande volume de material estéril, seja pela inviabilidade econômica para a sua remoção, em função dos elevados custos, seja pelo potencial de riscos de acidentes para as operações nas frentes de trabalho.

A evolução da lavra se processa através da criação de amplos salões, sustentados por pilares formados em geral por materiais de qualidade inferior, aprofundando-se as frentes de extração para o interior do maciço conforme o plano de arranque dos blocos primários em relação à estruturação e a seletividade do material.



Fig. 8: Entrada da mina subterrânea. Quartzito “Azul Imperial”, BA. (Fonte: Rochas de Qualidade, 2000)

O desenvolvimento da lavra exige rigoroso e constante monitoramento no que tange a estabilidade dos tetos dos salões e dos pilares de sustentação, bem como de itens de segurança de trabalho, principalmente a ventilação interna e a temperatura (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996).

No caso da jazida baiana, a opção pela lavra subterrânea foi motivada pela situação crítica de trabalho então existente em algumas frentes de extração. Segundo Pereira, Roberto e Amaral (1997), o potencial de risco de desmoronamento era grande, em virtude do sistema de fraturas no capeamento estéril do maciço, que poderia resultar em deslocamento de massas de rochas e sua queda diretamente sobre a praça de lavra.

De acordo com Seer *et al.* (2002), nesta lavra subterrânea os volumes primários são retirados perpendicularmente ao acamadamento da rocha, sendo o fraturamento limitante para obtenção de blocos regulares e isentos de fissuras.

A técnica tem custos operacionais mais elevados do que as lavras a céu aberto, justificando-se seu desenvolvimento com base principalmente na grande valorização comercial de suas variedades, como é o caso nacional, um quartzito a dumortierita, com nome fantasia “Azul Imperial”.

Com respeito ao meio físico, este método de lavra tem impacto visual mínimo na paisagem.

3. TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO (CORTE)

As tecnologias de extração compreendem os procedimentos de liberação de grandes volumes de rocha a partir de afloramentos (cortes primários e secundários) e do esquadrejamento de blocos, em geral através de técnicas combinadas, que

envolvem perfurações, aplicação de agentes expansivos e mecânicos, atrito e uso de chamas. Naturalmente, a seleção da(s) técnica(s) mais adequada(s) deve(m) levar em conta as características o material rochoso objeto de corte, como composição mineralógica, textura e estrutura da rocha, além do método de lavra empregado, da disponibilidade de recursos financeiros e dos seus reflexos no meio ambiente. A definição do bloco de partição primário (quadrote), quando possível, é norteadada pela existência de planos naturais de fraqueza das rochas, procedimento este que trás facilidades operacionais e minimização de custos. Neste sentido, planos configurados por foliações, laminações ou fraturas são os mais fáceis para as operações de corte. Constituem os chamados planos de “corrida” ou “alongante” das rochas. As faces longitudinais principalmente associadas à base dos blocos, por sua vez, são comumente definidas como planos do “segundo” ou de “levante”, enquanto os planos pertinentes às faces transversais aos de corrida, relacionados à menor dimensão do bloco e considerados de maior dificuldade de corte, os planos de “trincante”.

É importante registrar, que o tamanho de um bloco obtido a partir do esquadreamento de volumes primários ou secundários, será determinado pelas características dos equipamentos aos quais se destinam, comumente os teares multilâminas, onde são desdobrados em placas com cerca de 2 cm a 3 cm de espessura. Normalmente, os teares convencionais utilizados no Brasil são dimensionados para blocos em média com cerca de 3,0 m de comprimento, 1,80 m de altura e 2,40 m de largura, sendo, neste sentido, blocos com dimensões próximas referidos como “comerciais”. Obviamente, estas dimensões podem variar bastante, chegando até mesmo incompatibiliza-los para uso em teares (blocos antieconômicos). Nestes casos, contudo, podem ser aproveitados, como por

exemplo, para a obtenção de espessores (placas com espessuras acima de 3 cm) mediante uso de talha-blocos. Mesmo para uso em teares os tamanhos dos blocos podem ser menores, fazendo-se necessário, entretanto, o corte simultâneo de dois blocos de mesma qualificação e dimensões semelhantes (enteras), ou mesmo com larguras diferentes, com o objetivo de aproveitamento de material ou ocasionalmente atendimento emergencial a clientes.

Alencar, Caranassios e Carvalho (1996), observam que a evolução tecnológica tem concebido teares com capacidade volumétrica muito acima, chegando alguns modelos capazes de serrar blocos com dimensões de 4,5 m de comprimento, largura de até 4,5 m e altura de 2,3 m.

As metodologias de corte, do ponto de vista operacional, podem ser divididas em duas grandes categorias, as tecnologias de corte contínuo e as tecnologias cíclicas, estas também chamadas de cortes em costura.

3.1. Tecnologias de corte contínuo

Compreendem as técnicas essencialmente fundamentadas em uma única operação de corte, sem envolvimento de técnicas combinadas complementares, alternadas ou não, para execução do talho.

Alencar, Caranassios e Carvalho (1996) referem-se a estas tecnologias como aquelas sem uso predominante de perfurações ou explosivos em suas operações.

As técnicas usuais de corte contínuo são o fio helicoidal, o flame jet, e o fio diamantado.

3.1.1. Fio helicoidal

Antiga técnica de cortes primários, empregada principalmente em rochas “macias”, como os mármore. É considerada hoje, entretanto, obsoleta nos países desenvolvidos substituída pela técnica do fio diamantado, porém ainda com uso expressivo no Brasil em lavras de mármore.

O fio helicoidal consiste em um fio com 3,0 mm a 5,0 mm de diâmetro, formado pelo entrelaçamento de três filamentos de aço em forma de hélice. A ação de corte é baseada no atrito do fio tracionado sobre a superfície da rocha, mediante movimento de translação, em conjunto com uma lama abrasiva, formada por 30% de areia quartzosa, com granulometria entre 0,5 mm e 1,0 mm, e 70% de água. Todo o processo é executado em circuito fechado, acionado por motores elétricos ou a diesel e com a utilização de um complexo sistema de roldanas. O tensionamento do fio helicoidal é feito através da movimentação de pesados vagonetes, assentados sobre trilhos, e no qual fica instalada uma roldana fechando o circuito do fio.

A água tem a função de via de transporte do material abrasivo, como também de refrigeração do fio na área de corte. Entretanto, um resfriamento mais adequado do fio, requer sua exposição prolongada ao contato com o ar, exigindo-se para tanto o uso de um complexo sistema de roldanas e fios longos, da ordem de 800 m a 1600 m, conforme as necessidades (corte/área).

O emprego da técnica em “granitos” tem aplicação limitada, devido ao alto custo do seu abrasivo, o carborundo (carbeto de silício), aliado a redução da sua já baixa velocidade de corte, agravado ainda pelas dificuldades de controle operacional do mecanismo e o elevado custo da mão de obra (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996).

Pereira, Roberto e Amaral (1997) relatam que tal técnica é ainda bastante empregada no corte de volumes primários de mármore nas lavras nordestinas, mas

que, entretanto, vem sendo paulatinamente substituída pela técnica do fio diamantado, sobretudo nas jazidas de mármore localizadas na Bahia.

Segundo os autores, sua maior velocidade de corte e versatilidade, aliado a melhor qualidade das faces de corte, com baixa geração de rejeitos, e facilidade no manejo operacional, explicam a tendência que se observa atualmente de abandono da técnica do fio helicoidal em favor da do fio diamantado.

O **quadro 1** exibe dados sobre a produtividade do método e incidência média de gastos, de acordo com os levantamentos realizados nas lavras nordestinas por Pereira, Roberto e Amaral (1997).

Quadro 1: Produtividade e custo médio / fio helicoidal
(conforme Pereira, Roberto e Amaral, 1997)

PRODUTIVIDADE	
Vida útil do fio	15 a 20 m/m ²
Consumo/areia	3 kg/min ou 80 kg/m ²
Consumo/água	6 a 8 litros/min
Velocidade periférica	10 a 15 m/s
Velocidade de corte	1 a 2 m ² /s
CUSTO MÉDIO	
Mão de obra	43 %
Água	1 %
Areia	5 %
Energia	2 %
Diversos	39 %

3.1.2. Flame jet (chama térmica)

Técnica empregada para isolamento de volumes primários de rochas mediante uso de maçaricos. O processo de abertura do talho é baseado na

desagregação e pulverização mineral em função dos seus diferentes coeficientes de dilatação térmica. Método particularmente efetivo em rochas silicosas e homogêneas, como os granitos, e desaconselhado para rochas ricas em biotita, devido a propriedade deste mineral de promover um aspecto viscoso à sílica liberada, que veda os poros da rocha, evitando o escape das substâncias latentes (Pinheiro, informação verbal).

O equipamento (**figura 9**) consiste em uma "lança" com um maçarico acoplado à sua extremidade, por onde sai uma chama com alta pressão e temperaturas acima 1300°C . Seu alimentador consiste em uma câmara de combustão com o combustível (querosene ou diesel) e o carburante (ar ou oxigênio), pressurizados, exigindo normalmente para o seu manejo apenas um homem.



Fig. 9: Corte de rocha mediante uso do *flame jet*. (Fonte: Alencar, Caranassios e Carvalho, 1997)

Técnica considerada versátil e de custo relativamente baixo, porém com agravante de poder gerar trincas de até 30 cm nas áreas de corte e potencializar elevada perda de material.

Pereira, Roberto e Amaral (1997) salientam que a profundidade ideal de trabalho com o método é de 6 m, podendo chegar, dependendo do material, até 10 m. Segundo eles, as inconveniências da técnica são alta poluição, elevado nível de ruído (140 decibéis), o calor excessivo nas imediações do corte, alta produção de pó e perdas em função da grande espessura do corte, em geral alcançando 10 cm.

De acordo com os dados levantados por estes autores, o *flame jet* é utilizado nas lavras do nordeste preferencialmente no corte de faces transversais de monoblocos “graníticos”.

No **quadro 2** abaixo constam dados técnicos sobre o método e sua média de custos, na lavra de mármore e granitos, conforme Pereira, Roberto e Amaral (1997).

Quadro 2: Dados técnicos e custo médio / *flame jet*
(conforme Pereira, Roberto e Amaral, 1997)

DADOS TÉCNICOS	
Consumo de ar comprimido	80 litros/s
Consumo/óleo diesel	38 a 45 litros/h
Pressão de trabalho de ar	85 psi
produtividade	0,6 m ² /homem/h
Velocidade média de corte	1,2 m ² /h
CUSTO MÉDIO	
Mão de obra	18 %
Ar comprimido	8 %
Óleo diesel	25 %
Diversos	49 %

3.1.3. Fio diamantado

Método inovador, de tecnologia avançada, para o qual se tem previsão, em futuro próximo, do seu uso sistemático no Brasil em substituição às demais técnicas de corte, notadamente a do fio helicoidal, tanto no isolamento de volumes primários de rocha como no esquadreamento de blocos, seja para mármore ou “granitos”.

A estrutura e o princípio de funcionamento do fio diamantado, em síntese, é similar a do fio helicoidal, o qual serviu de inspiração para o seu desenvolvimento, com a finalidade da sua própria substituição pela nova técnica, visando à superação de vários inconvenientes do antigo método (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996).

Pereira, Roberto e Amaral (1997), salientam os bons resultados do emprego da técnica em lavras de granitos na Bahia, tanto na produtividade e qualidade dos produtos como na versatilidade no seu manejo.

De um modo geral, a literatura aponta como vantagens do método a alta qualificação dos produtos finais, notadamente o excelente acabamento das superfícies de corte; a espessura de corte mínimo (10 mm) frente às demais tecnologias; suas elevadas velocidades de corte com ganhos de produtividade; melhor relação custo X benefício; versatilidade operacional e uma tecnologia rápida e limpa, com baixo nível de ruídos, vibrações e poeira.

O fio diamantado consiste de um cabo de aço galvanizado, com cerca de 5 mm de diâmetro, revestido com plástico, borracha ou molas metálicas, o qual constitui o suporte para anéis diamantados, que funcionam como abrasivos para o corte das rochas.

Os anéis (ou pérolas) diamantados são pequenos cilindros de aço em geral com 10 mm de comprimento e 7 mm de diâmetro externo, que se eleva entre 10 mm

e 11,5 mm (conforme o fabricante) quando revestidos pela pasta diamantada. De acordo com a natureza desta última, eles podem ser de dois tipos, eletrodepositados e sinterizados (**figura 10**).

O revestimento do anel eletrodepositado tem aspecto rugoso e é formado pela adesão de camadas de grânulos de diamante mediante processos eletrolíticos. Alencar, Caranassios e Carvalho (1996) assinalam que cada anel deste tipo possui de 0,30 a 0,40 quilates de diamantes sintéticos. No anel sinterizado, por sua vez, o revestimento consiste numa massa homogênea, formada por poeira diamantada e metálica, fixados à superfície do anel sob alta pressão e temperatura, mediante uso de sinterizadores.



Fig. 10: Aspecto da pérola sinterizada (esquerda) e da eletrodepositada (Fonte: Diamant Boart, 2005)

O tipo dos anéis e sua frequência ao longo do cabo, bem como o revestimento deste, serão determinados em função das características do material de corte. No caso das rochas silicatadas (“graníticas”) é sugerido o uso de fios emborrachados (vulcanizados) em relação aos plastificados, devido a sua maior flexibilidade, com risco menor de desgaste irregular dos anéis (fenômeno da ovalização), especialmente nas curvaturas do fio, e resistência superior a inesperadas elevações da temperatura gerada pelo atrito e da ação da lama abrasiva (*Diamant Board*, 2005). Já aqueles envolvidos por molas metálicas, seu uso é desaconselhável para rochas ricas em quartzo, em função do efeito abrasivo nas

mesmas por resíduos deste mineral, liberados durante a operação de corte, podendo levar à ruptura do cabo e o lançamento a esmo dos anéis (Pinheiro, informação verbal). A **figura 11** ilustra a diferença entre os fios diamantados com revestimento emborrachado e com molas.



Fig. 11: Aspecto do fio diamantado com molas (esquerda) e emborrachado (Fonte: Diamant Boart, 2005)

A freqüência de anéis para as rochas silicatadas deve situar entre 39 a 42 pérolas por metro, espaçados uniformemente, devendo-se privilegiar os tipos sinterizados, mais adequados às rochas duras e/ou rochas abrasivas. As pérolas eletrodepositadas, por sua vez, são indicadas para rochas mais “macias”, como os mármore, com uma freqüência entre 29 e 35 anéis por metro.

O uso do fio diamantado requer previamente a execução de furos coplanares, ortogonais e interceptados entre si, com diâmetro em torno de 30 mm, de forma a promover sua introdução e o “enlaçamento” dos planos de corte desejados. Normalmente para estas perfurações é utilizada a perfuratriz do tipo *down-the-hole* ou “fundo-furo”. A furação, assim como os cortes dos planos, devem ser realizados em meio úmido, para sua refrigeração.

É importante atentar, ao promover os cortes primários, que o plano horizontal nunca deve ser o último a ser executado, sob risco de queda da massa rochosa sobre o fio de corte, prendendo-o e impossibilitando sua operação (Pinheiro, informação verbal).

O acionamento do fio diamantado requer o uso de máquinas elétricas ou a diesel fixadas sobre plataformas, por sua vez assentadas sobre trilhos, cujo

deslocamento se dá através de um sistema cremalheira-pinhão ou patins soldados à plataforma. Como na técnica do fio helicoidal, a exigência é necessária para controle da tensão do fio diamantado, que deve ser mantido dentro de valores específicos e é alterado com a progressão do corte, havendo a necessidade do avanço da máquina sobre os trilhos em sentido oposto ao maciço. Este controle é automático e atua de forma contínua, mantendo a tensão nos padrões exigidos, ou seja, 1500 N a 3000 N (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996).

Nas máquinas eletromecânicas a potência deve variar entre 25 e 60 hp, e nas movidas a diesel, entre 75 a 100 hp. No caso de uso de anéis sinterizados são necessárias máquinas com no mínimo 40 hp de potência, sendo exigido para o resfriamento do fio um consumo de água entre 20 l/min a 50 l/min. Os anéis eletrodepositados, por sua vez, requerem máquinas com não mais do que 25 hp e menor consumo de água para resfriamento do fio, entre 10 l/min e 20 l/min.

O efetivo trabalho de corte do fio se dá através da sua movimentação por um volante, com diâmetro variável entre 500 e 1000 mm, posicionado vertical e lateralmente à máquina, conjugado a um sistema de polias (diâmetro em torno de 350 mm) e hastes, disposto de acordo com o plano a ser cortado. Em função da sua grande versatilidade e flexibilidade no manejo do sistema de hastes e polias, pode executar os mais diferentes tipos de corte (Pinheiro, 2003).

Na operação de corte são acionados vários dispositivos de controle, tais como o variador de velocidade linear do fio, para graduação etapas iniciais e finais do corte, o controlador de tensão do fio diamantado, que atua automaticamente de forma contínua e em tempo real, ajustando-o com o avanço da máquina sobre os trilhos com a progressão do corte, e, por fim, dispositivos de segurança, que permitem o desligamento automático da máquina, em casos, por exemplo, de

eventuais rompimentos do fio de corte ou superaquecimento do motor (Pinheiro, 2003).

Segundo Pinheiro (2003), as velocidades médias de corte superficial para mármore ficam compreendidas entre 6 m²/h e 8 m²/h, enquanto para as rochas “graníticas” entre 1 m²/h e 3 m²/h. No tocante as velocidades periféricas (velocidade linear do fio de corte em sistema fechado), segundo o autor ela é variável entre 40 m/s e 60 m/s nos mármore, e 16 m/s e 40 m/s nas rochas silicatadas.

As **figuras 12, 13 e 14** ilustram diferentes tipos de corte através do fio diamantado.



Fig. 12: Corte simples de um plano vertical com fio diamantado (Fonte: Pinheiro, 2003)



Fig. 13: Corte horizontal através de fio diamantado com sistema de hastes e polias horizontalizadas (Fonte: Pinheiro, 2003)



Fig. 14: Cortes verticais em “L” com fio diamantado conjugado com sistema de hastes e polias verticalizadas (Fonte: Pinheiro, 2003)

A título comparativo são apresentados, nos **quadros 3, 4 e 5**, dados relativos a tecnologia do fio diamantado para mármore e “granitos”, segundo as fontes DIMM e DIGITA, da Universidade de Cagliari, constantes em Ciccu e Vidal (1998), bem como de observações de Pereira, Roberto e Amaral (1997) a partir de estudos em lavras de mármore e “granitos” no nordeste do Brasil.

Quadro 3: Parâmetros pertinentes a tecnologia do fio diamantado em mármore (Fonte: DIMM/Universidade de Cagliari)

Velocidade periférica do fio	20 m/s a 40 m/s
Potência requerida	15 KW a 60 KW
Comprimento do fio	40 m a 80 m
Velocidade de corte	3 m ² /h a 16 m ² /h
Diâmetro do fio	10 mm

Quadro 4: Parâmetros relativos a tecnologia do fio diamantado em “granitos” (Fonte: DIGITA/Universidade de Cagliari)

Velocidade de corte	1,5 m ² /h a 6 m ² /h
Largura de corte	1 cm a 1,2 cm
Desvio superficial	1 cm a 4 cm
Consumo de água	3 m ³ /h
Nível de ruído	70 dB

Quadro 5: Dados técnicos e incidência do custo médio / fio diamantado (conforme Pereira, Roberto e Amaral, 1997)

PRODUTIVIDADE		
Vida útil do fio	“granito”	mármore
	1 m/4 m ²	1 m/30 m ²
Consumo/energia	“granito”	mármore
	50 Kwh/m ²	6 Kwh/m ²
Consumo/água	30 a 50 litros/min	
Velocidade de corte	“granito”	mármore
	2,5 m ² /h	15 m ² /h
Velocidade periférica	25 a 35 m/s	
CUSTO MÉDIO		
Mão de obra	“granito”	mármore
	7 %	4 %
Óleo diesel	“granito”	mármore
	8 %	7 %
Fio diamantado	“granito”	mármore
	86 %	82 %
Outros	“granito”	mármore
	3 %	3 %

3.2. Tecnologias cíclicas (em costura)

Compreendem as metodologias caracterizadas por cortes realizados através de procedimento operacional sucessivo e repetitivo, composto ou não com outras

écnicas para a sua complementação. Ao contrário das técnicas de corte contínuo, as perfurações são preponderantes em suas atividades operacionais.

As técnicas cíclicas consistem a perfuração contínua e as perfurações descontínuas com explosivos, com cunhas ou com agentes expansivos.

3.2.1. Perfuração contínua

A perfuração contínua baseia-se no corte de superfícies de rochas mediante furação, sem nenhuma técnica adicional para execução do talho. O processo é realizado em duas etapas, consistindo a primeira na execução de uma série de furos colineares, coincidentes com o plano de corte desejado, com espaçamento de valor próximo ao do diâmetro dos furos. Na segunda etapa são promovidos furos intercalados aos primeiros, porém com diâmetro ligeiramente maior, obtendo-se, desta forma, a ruptura completa da face e o destacamento do bloco do maciço rochoso.

Nas lavras nordestinas usualmente o diâmetro da furação inicial é realizado com cerca de 2,5 polegadas (63,5 mm), espaçados entre si de 50 mm. Na furação subsequente é trocada a coroa (bit) para uma de diâmetro de 3,0 polegadas (76 mm), promovendo-se, desta feita, a liberação da face do bloco. A profundidade média dos furos verticais alcança em geral 3,5 m (Pereira, Roberto e Amaral, 1997)

O método é essencialmente dirigido ao corte de rochas silicatadas, podendo ser utilizado tanto no isolamento de volumes primários como no esquadreamento de painéis. É empregado basicamente para perfurações verticais, mediante uso de perfuratrizes do tipo *slot drill* (**figura 15**). Esta perfuratriz é dotada de movimentos rotativo e percussivo, bem como de rotação reversa, o que permite facilmente a

retirada ou introdução de hastes para aprofundamento dos furos. Aspectos que lhe conferem excelência de uso é o seu assentamento em trilhos, permitindo sua mobilidade e controle da regularidade da linha de furos.

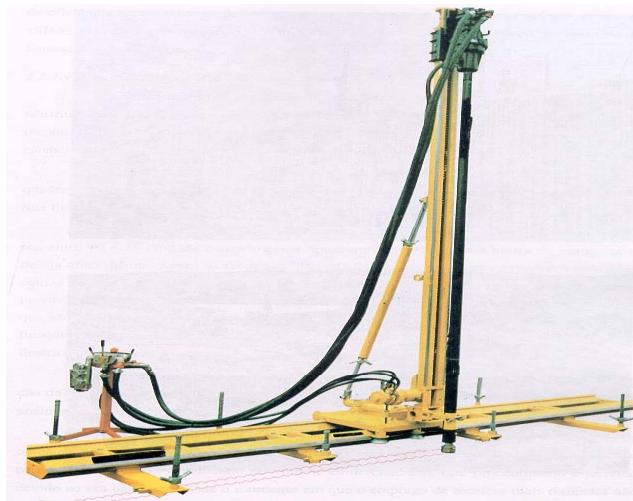


Fig. 15: Equipamento para perfuração contínua
(Fonte: Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996)

Em função da sua restrição a furos verticais, a técnica, na prática, requer o uso de uma metodologia complementar que permita a liberação da face basal. Os dados de Pereira, Roberto e Amaral (1997) revelam que nas lavras nordestinas a técnica da perfuração contínua tem sido empregada combinada à tecnologia de furos espaçados (raizados), realizados, em geral, por perfuratrizes ou marteletes de avanço hidráulico e/ou pneumático, associada ao uso de explosivos de baixa (pólvora) ou alta velocidade (cordel detonante). A técnica do fio diamantado é menos usual, porém seria uma melhor alternativa para os cortes horizontais.

Segundo Alencar, Caranassios e Carvalho (1996), a vantagem da perfuração contínua é sua eficiência operacional, com bom acabamento das faces cortadas (**figura 16**) e preservação das características originais das rochas, constituindo uma

opção real ao *flame jet* para cortes verticais. A **figura 17** ilustra estágios de uma operação de corte através de perfuração contínua no plano horizontal.

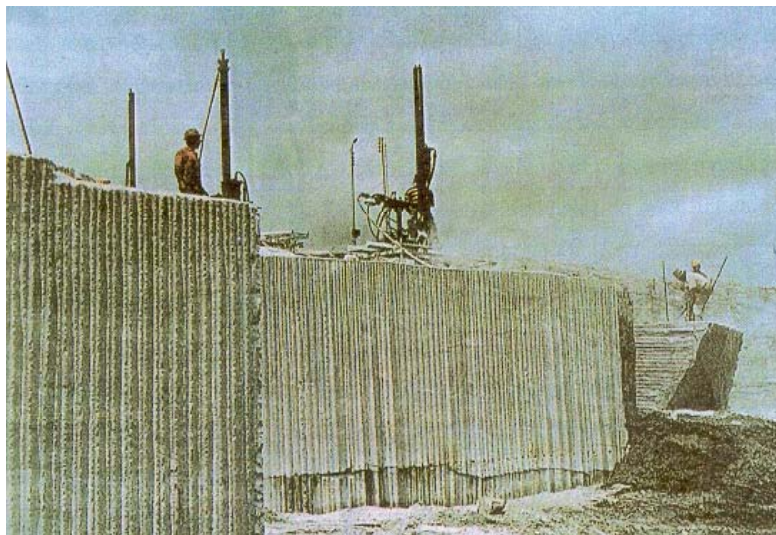


Fig. 16: Face de corte através de perfuração contínua (Fonte: Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996)



Fig. 17: Características de estágios de corte no plano horizontal através de perfuração contínua (Fonte: Pinheiro, 2003)

Para Pereira, Roberto e Amaral (1997) o método é particularmente eficaz para o corte de rochas “movimentadas” (migmatitos, etc.) frente às técnicas do *flame jet* e das perfurações com explosivos, pois minimiza danos potencialmente existentes quando empregados estes últimos métodos, como fissuras e trincamentos, que comprometem sobremaneira a taxa de recuperação da lavra. Fazem ressalva, entretanto, ao seu maior custo operacional. Segundo observações dos autores, a produtividade através do *slot drill* em uma lavra de rochas migmatíticas foi de 2 m² de corte por hora.

3.2.2. Perfuração descontínua com uso de explosivos

A técnica consiste basicamente na perfuração de furos co-planares, paralelos, com eixos dirigidos segundo a face de corte desejada, os quais preenchidos com explosivos, obtendo-se, desta feita, com sua detonação, a liberação dos blocos de rocha. Os furos podem ser realizados através de marteletes pneumáticos manuais ou alternativamente por “talha blocos” acionados mecanicamente (**figura 18**), que permitem a operação simultânea de até quatro marteletes acoplados a uma estrutura sobre trilhos, proporcionando maior controle da regularidade da linha de furos, aumento da produtividade e redução de custo com mão de obra. São destinados basicamente para a furação vertical.

Os dados apresentados por Pereira, Roberto e Amaral (1997) revelam que nas lavras do nordeste a furação vertical é realizada, sobretudo, por perfuratrizes do tipo *slot drill*, e os furos horizontais por perfuratrizes de avanço pneumático e/ou hidráulico ou por martelete manuais de avanço pneumático.

Em função da sua versatilidade, fácil manejo operacional e baixo custo a perfuração descontínua com explosivos é bastante utilizada no desmonte de volumes primários e secundários de rochas silicáticas. No nordeste, onde a técnica é comum, seu emprego é preferencialmente dirigido ao corte de faces de levante (basal) de monoblocos de “granitos”, conforme pode ser constatado pelos dados de Pereira, Roberto e Amaral (1997).



Fig. 18: Operação de perfuração descontínua com uso de “talha bloco” acoplado com quatro marteletes (Fonte: Pinheiro, 2003)

Os tipos de explosivos usuais nas operações de corte são a pólvora negra e o cordel detonante. Segundo Pinheiro (2003), a pólvora negra, um explosivo formado por uma mistura de salitre, carvão e enxofre, é a mais adequada, relativamente ao cordel detonante, para desmonte de “granitos” em função da sua baixa velocidade

(< 2000m/s) e ação cisalhante e propelente, com menor potencialização de formação de microfraturas nas áreas de corte.

É o explosivo mais apropriado para o corte de fragmentos grandes e uniformes de rochas, conforme Herrmann (1972).

O tamponamento de furos preenchidos com pólvora se faz através de substâncias inertes, como areias ou argilas, e sua detonação é feita mediante uso de estopim com ou sem espoletas.

O cordel detonante baseia-se no uso da substância tetranitrato de pentacritritol (nitropenta), um explosivo de alta velocidade (6800 m/s a 7200 m/s) com potencial de gerar fortes ondas de choque, o qual possui diferentes gramaturas, baseado na carga de nitropenta por metro linear. O mais utilizado é o NP-10, com proporção de 10g de explosivo por metro linear.

O explosivo consiste em tubo de plástico, onde fica inserida a nitropenta revestida por várias camadas de raion (fibra têxtil).

O furo com cordel detonante normalmente é tamponado com água e a explosão realizada em geral mediante uso de espoleta elétrica (**figura 19**).

É comum sua utilização combinada à pólvora negra no corte de planos de rochas. Um aspecto negativo é o seu potencial de gerar fraturas secundárias comprometendo a integridade físico-mecânica das rochas (Pinheiro, 1999).

Segundo Pinheiro (informação verbal), o uso de explosivos têm efeitos menos danosos em rochas levemente intemperizadas e de menor tenacidade, ou seja, rochas com baixo conteúdo de quartzo, por absorverem com menor rapidez ondas de choque, minimizando a formação de fraturas ou fissuras.

Ciccu e Vidal (1998) alertam a importância nos critérios de escolha do tipo de explosivo e no dimensionamento dos parâmetros definidores do plano de fogo, ou

sejam, o espaçamento entre os furos e a carga linear por furo. Segundo os autores, em geral, os furos são espaçados entre 5,0 cm a 40,0 cm e a carga de explosivos variável de 2 g/t a 10 g/t.

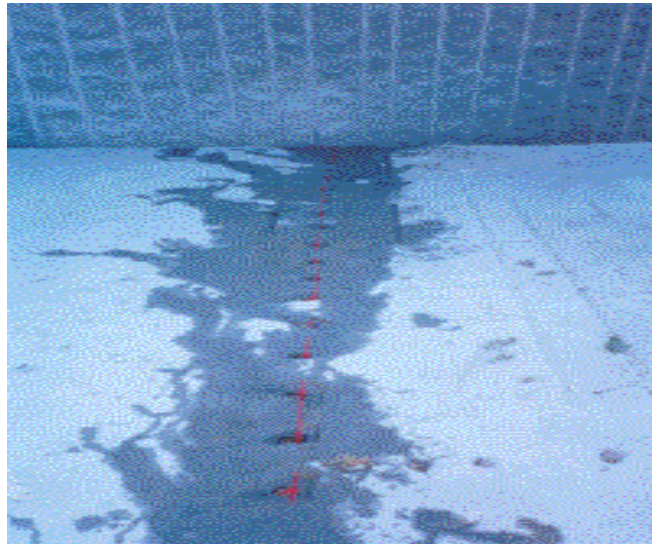


Fig. 19: Operação de corte através de cordel detonante tamponado com água (Fonte: Pinheiro, 2003)

Pereira, Roberto e Amaral (1997) acentuam que nas lavras do nordeste os furos com cordel detonante têm geralmente diâmetros da ordem de 30 mm, enquanto as furações com pólvora, diâmetro em torno de 50 mm. Ainda, segundo os autores, a carga de explosivos por furo, assim como o espaçamento dos mesmos, é definido em função das características do maciço rochoso, sendo a quantidade de explosivos variável de 4 g/t e 20 g/t, e o espaçamento, entre 15,0 cm e 40,0 cm.

No tocante aos furos, podem ser verticais e horizontais, e devem ter profundidade compatível com a extensão da face de corte. Para facilitar a ruptura destas faces quando acionados os explosivos, os furos devem ser “raizados”, técnica que consiste na abertura de ranhuras simétricas ao furo, em geral, com alguns

centímetros de comprimento e mesmo valor de profundidade, e direcionadas à direção do plano de corte.

A título comparativo, constam no **quadro 6** dados sobre velocidades médias de perfuração em função dos equipamentos utilizados e a incidência média de custos, conforme Pereira, Roberto e Amaral (1997).

Quadro 6: Velocidade média de perfuração por equipamento e incidência do custo médio (conforme Pereira, Roberto e Amaral, 1997)

Perfuratrizes manuais	12 m /h
Perfuratrizes com avanço pneumático/furos horizontais	10 m/h
Perfuratrizes do tipo <i>slot drill</i>	16 m/h a 30 m/h
Custos Médios	
Mão de obra	25 %
Explosivos e acessórios	4 %
Combustível e lubrificante	13 %
Material de perfuração	13 %
Peças de reposição	8 %
Depreciação	14 %
Despesas indiretas	10 %
Diversos	13 %

3.2.3. Perfuração descontínua com abertura por cunhas mecânicas

O processo inicia-se a partir da execução de uma série de furos verticais colineares, coincidentes com o plano de corte desejado, espaçados geralmente entre 10,0 cm e 15,0 cm e com profundidade igual a da altura da face de corte.

Na etapa seguinte, são introduzidas manualmente nos furos cunhas ladeadas por lingüetas metálicas, mediante golpes alternados com marretas, até adquirir tensão suficiente para causar fissura e a conseqüente quebra da rocha (**figura 20**).

Alencar, Caranassios e Carvalho (1997) relatam que é muito comum a intercalação de furos de menor profundidade objetivando uma distribuição uniforme das forças aplicadas contra as paredes, e que a técnica é comumente empregada para o corte de faces coincidentes com planos de fraqueza das rochas (estruturais).



Fig. 20: Corte em granito através de cunhas mecânicas (Fonte: Alencar, Caranassios e Carvalho, 1996)

De acordo com os dados de Pereira, Roberto e Amaral (1997), nas lavras nordestinas que utilizam o método, os furos são realizados tanto por marteletes manuais como por perfuratrizes do tipo *slot drill*, sendo comum o emprego da técnica de “raiação” nos mesmos. Em todos os casos o método é basicamente dirigido a rochas “graníticas”, seja para o desdobramento de painéis ou para seu esquadrejamento.

Segundo Pinheiro (2003), o tempo de corte por cunhas mecânicas pode variar de alguns minutos a várias horas, sendo dependente do tipo de rocha, da direção de ruptura, da altura do corte e do espaçamento dos furos. Ainda este autor, as desvantagens do método para cortes primários são processo operacional demorado,

em função dos excessivos tempos de percussão, custo elevado com perfurações e problemas com desvios nos cortes, comprometendo o acabamento das superfícies cortadas. Estas últimas irregularidades ocorreriam principalmente nas bordas inferiores dos monoblocos em função dos esforços atuarem a baixa profundidade.

3.2.4. Perfuração descontínua com abertura através de argamassa expansiva

Seu princípio de funcionamento é similar ao da abertura por cunhas, distinguindo-se deste método pela substituição das cunhas por uma massa auto-expansiva. Este material consiste em um pó com composição química especificada em função da temperatura ambiente, que misturada à água expande-se em até 100 %, com uma pressão sobre as paredes das rochas de até 800 Kg/cm².

A dosagem da argamassa na mistura com água em geral é na proporção 30 % em peso, correspondendo a 1,5 litros de água para 5 Kg de pó dissolvido (Pinheiro, 1999; Alanis, 2002). A preparação requer o uso de um recipiente com água, de acordo com a capacidade necessária para o preenchimento dos furos, no qual é colocada lentamente a massa expansível, sempre sob agitação, até a mistura adquirir um aspecto cremoso, homogêneo e fluido. A partir deste ponto é só adicioná-la imediatamente aos furos previamente preparados, num prazo variável entre 5 a 15 minutos. Alanis (2002) alerta quanto ao tipo de recipiente, que não deve ser de vidro e nem estreitos ou com diâmetro da boca menor do que o do seu fundo.

Os furos devem estar limpos, isento de água e impurezas, e seu preenchimento deve ser integral e mantidos abertos, salvo em dias de chuva, exigindo no caso sua proteção com capas impermeáveis. No caso de rochas muito porosas ou com temperatura elevada é recomendável o umedecimento dos furos

para que a reação de expansão ocorra normalmente (Pinheiro, 1999). O espaçamento entre os furos é determinado principalmente pelo seu diâmetro e as características do material a ser cortado (Alanis, 2002). A **figura 21** ilustra a característica de um corte executado através de argamassa.



Fig. 21: Corte em granito através de argamassa expansiva. Granito “Amarelo Veneciano”. Notar sua pequena espessura com perda mínima de material (Fonte: Rocha de Qualidade, 1999)

Segundo Pinheiro (1999) e Pinheiro (2003), o tempo de reação para corte é função dos seguintes fatores: temperatura ambiente, características mecânicas e geológicas das rochas (composição, textura e estrutura interna), direção do corte, espaçamento e diâmetro dos furos e quantidade e tipo de argamassa utilizada, esta, por sua vez, determinada pelo próprio diâmetro dos furos. Neste sentido, segundo ele, quanto menor o espaçamento dos furos e maior seu diâmetro mais rápido é o processo de corte, que obviamente deve também levar em conta o tipo de argamassa em função da temperatura ambiente.

Alanis (2002) cita a existência de pelo menos cinco tipos de argamassa, especificadas para uso em ambientes com temperaturas que variam de 5^oC ou menos até 50^oC.

Pinheiro (1999) relata que nas lavras de granito vistoriadas no Espírito Santo o tempo de corte era variável entre oito horas até cinco dias, ressaltando, entretanto, que ele (tempo de corte) é ajustado a um determinado fluxo de retirada de blocos, conforme o cronograma de produção das empresas.

A resistência das rochas à tensão gerada pela expansão da argamassa, é variável, sendo determinada basicamente pelas suas características intrínsecas. O **quadro 7** exhibe os valores de tensão para algumas variedades de rochas mais comuns, conforme Alanis (2002). Através deles é possível constatar o quão é vigorosa a força exercida pela expansão da argamassa, sendo bem superior ao maior valor de tensão registrado.

Quadro 7: Valores médios de resistência à tração, conforme Alanis (2002)

granitos	150 Kg/cm ²	dolomitos	100 Kg/cm ²
vulcânicas pórfiras	190 Kg/cm ²	gnaiesses	180 Kg./cm ²
traquitos	95 Kg/cm ²	mármoreos	140 Kg/cm ²
arenitos	75 Kg/cm ²	calcários	120 Kg/cm ²

O método pode ser aplicado em situações diversas, seja no isolamento de painéis ou no esquadreamento de blocos, tanto para furo verticais como de levante (furos horizontais). Observações de Pinheiro (1999) em algumas lavras no Espírito Santo mostram que na furação horizontal é empregada argamassa encartuchada, previamente umedecida, compactada nos furos mediante uso de bastões.

Segundo este autor, o método trás amplas vantagens frente às técnicas tradicionais, como o maçarico (*flame jet*), os explosivos e as cunhas mecânicas, citando como suas qualidades, maior regularidade dos planos de corte, preservação

da integridade física-mecânica dos materiais, maior taxa de recuperação, baixo custo, flexibilidade operacional e maior produtividade. Destaca ainda aspectos positivos relacionados à segurança do trabalho e ao meio ambiente, visto ser um produto não tóxico, de manuseio seguro, silencioso e absolutamente inofensivo.

No Espírito Santo, Pinheiro (1999) já registrava o expressivo número de empresas que se voltavam ao uso da técnica da massa expansiva em suas operações de corte, como uma alternativa mais viável em relação aos explosivos e as cunhas de expansão.

4. CONCLUSÕES

A definição da metodologia de lavra constitui a primeira etapa no planejamento para desenvolvimento de uma jazida, que resultará num modelo geométrico-espacial adaptado às características do afloramento a ser explorado.

Neste sentido, a opção pela técnica mais viável para desmonte de rochas, bem como das suas tecnologias de corte, deve ser balizada, como anteriormente ratificado, a luz de parâmetros morfológicos e geológicos, exigindo, para tanto, conhecimentos acurados sobre as propriedades composicionais, texturais e estruturais das rochas, além dos aspectos relativos ao relevo configurado pelo maciço rochoso.

O empreendimento mineiro, neste caso, terá certamente maior êxito se precedido de uma detalhada cartografia geológica, com ênfase na análise estrutural e uso de ferramentas que possibilitem o rastreamento e a identificação de eventuais tensões residuais porventura mascaradas no interior do corpo rochoso. Os resultados, seguramente, serão determinantes quanto a melhor forma de exploração

do depósito, capitalizando, com isso, maiores ganhos produtivos e qualitativos, a custos mais baixos e menor impacto sobre o meio físico.

Sobre as tecnologias de corte, têm-se registrado uma tendência crescente no emprego de técnicas mais modernas e/ou mais apuradas, que refletem ganhos na relação custo X benefício, embasados na otimização operacional, na boa qualidade dos produtos, na maior taxa de recuperação com menor demanda de rejeitos e custos equacionados. Diante disso, as técnicas ligadas ao fio diamantado e às massas de expansão, bem como às perfurações contínuas, surgem como opções naturais, prognosticando-se para elas uso majoritário nas operações de corte nas lavras brasileiras em relação aos métodos que se valem do fio helicoidal, dos explosivos, do *flame jet* e das cunhas mecânicas, fato, aliás, uma realidade há muito tempo para as perfurações contínuas e que já vem acontecendo de forma progressiva com o fio diamantado.

Frente a um cenário com perspectivas de mercado cada vez mais competitivo e exigente, torna-se fundamental aos empreendedores adequarem-se a estes rumos, buscando a racionalização de suas operações mediante valorização de ferramentas mais eficazes ou tecnologicamente mais desenvolvidas, bem como da qualificação da mão de obra, sob pena de perda de competitividade ou mesmo inviabilização do empreendimento mineiro em função de crescentes exigências por parte de órgãos ambientais, estimulados por uma conscientização cada vez mais arraigada na sociedade no tocante a preservação do meio ambiente.

5. BIBLIOGRAFIA

ALANIS, A (2002). Utilização da argamassa expansiva para o corte de rochas ornamentais. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 3, 2002. *Anais...Recife*, CETEM/UFPE, 2002, 1 cd-rom.

ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. (1996). Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. **Série estudos econômicos sobre rochas ornamentais**, v. 3. 225 p. Instituto Euvaldo Lodi-FIEC/CIEL, Fortaleza.

BILLINGS, M.P. (1963). Geología estructural. Buenos Aires, EUDEBA, 2ª ed., 564 p.

CHIODI FILHO, C. (1995). Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. CNPq/CETEM, Série Estudos e Documentos, nº 28, 75 p.

CICCU, R. & VIDAL, F.W.H. (1998). Tecnologia avançada de lavra de rochas ornamentais. *In: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 1, 1998. *Anais...Olinda*, p. 40-61.

CIMEF METALÚRGICA S.A. Teares. *Folder* Ilustrativo, s.d., Cachoeiro de Itapemirim, ES.

COELHO, A.A. de M. & VIDAL, F.W.H. (2003). Métodos e tecnologias de lavra para a melhoria da qualidade e produtividade dos blocos de granito do Ceará. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 4, 2003. *Anais...Fortaleza*, CETEM/SBG, p. 180-188.

DIAMANT BOART. Cabos diamantados para indústria da pedra. Disponível em: <http://www.diamant-boart.com/pdf/cables_PO.pdf > Acesso em 09 jun. 2005.

HERRMANN, C. (1972). Manual de perfuração de rocha. São Paulo, Polígono, 2ª ed., 416 p.

MATTA, P.M. da (2003). Prospecção e pesquisa de rochas ornamentais – uma contribuição à produção limpa. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003. Anais... Fortaleza, CETEM/SBG, p. 21-32.

MELO, E.B. de (1998). Pesquisa mineral de rochas ornamentais. *In*: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1, 1998. *Anais...* Olinda, p. 76-93.

PEREIRA, E.B; ROBERTO, F.A. da C; AMARAL, M. (1997). Situação atual e diagnóstico do setor de rochas ornamentais do nordeste. **Estudos econômicos sobre rochas ornamentais**, v. 5, 149 p., Instituto Euvaldo Lodi-FIEC/IEL, Fortaleza.

PINHEIRO, J.R. (1999). O emprego da argamassa expansiva na extração de rochas ornamentais. **Rochas de Qualidade**, nº 145, p. 96-108.

PINHEIRO, J.R. (2003). A indústria extrativa de rochas ornamentais no Brasil. Apostila do módulo I, do curso de especialização em rochas ornamentais. 55 p., n/ed., CETEM/UFRJ/CETEMAG, Rio de Janeiro.

ROCHA BRANCA MINERAÇÃO E COMÉRCIO LTDA. *Folder* ilustrativo, s.d., Nova Venécia, ES.

ROCHA DE QUALIDADE (1999). nº 145. p. 97 , EMC, São Paulo, mar/abr, 1999.

ROCHAS DE QUALIDADE (2000). nº 152 (capa), EMC, São Paulo, mai/jun, 2000.

SEER, H.J. *et al.* (2002). Análise estrutural em durmotierita quartzitos da Serra São Francisco, BA: Implicações na modelagem em blocos. Congresso Brasileiro de Geologia, 41, 2002, João Pessoa. *Anais...*João Pessoa, SBG/Núcleo Nordeste, 1V., p. 201.

WOLF METALÚRGICA (2004). Talha bloco. Disponível em <http://www.wolf.com.br/talha_bloco.htm> Acesso 19 de agosto de 2005.