

AVANÇO RÁPIDO DE GALERIAS

Rapid excavation of galleries

por

C. DINIS DA GAMA*

RESUMO - No presente trabalho é feita uma sistematização dos aspectos mais salientes que condicionam o avanço rápido de escavações mineiras. Analisados os factores determinantes desta tecnologia, enquadram-se os mesmos dentro das tendências actuais da engenharia de minas.

SYNOPSIS - In this paper a systematic description of the main aspects controlling rapid excavation is presented. The dominant factors of that technology are analyzed and linked to the present trends of mining engineering.

1 - INTRODUÇÃO

A necessidade de executar escavação rápida nas explorações mineiras subterrâneas é cada vez mais premente.

Durante muitos anos pensou-se que a exploração a céu aberto dominaria por completo o panorama da indústria mineira, em virtude das maiores produtividades e menores custos unitários que proporciona. Assim é que nos Estados Unidos da América a produção extraída a céu aberto representava, em 1970, cerca de 80% do total, expresso em toneladas. À escala mundial, cita-se um estudo feito pela revista *Mining Annual Review*, que revelou ter sido em 1968, de 30 a 35% a percentagem da produção de explorações subterrâneas em relação à produção total da indústria mineira.

Não obstante esta menor importância, as minas subterrâneas apresentavam tendência para ganhar terreno em relação às explorações subterrâneas, devido à introdução de novas técnicas que as habilitavam a concorrer economi-

* Prof. Ext., Univ. de Luanda

camente com estas. Essas tendências para preferir novamente as explorações subterrâneas, em especial nos países mais desenvolvidos, devem-se a causas várias:

- atinge-se a profundidade limite de exploração económica em muitas minas importantes a céu aberto;
- a opinião pública é cada vez mais adversa à deterioração da superfície que provocam muitas explorações a céu aberto;
- os fabricantes de equipamento mineiro, que durante muitos anos se dedicaram quase exclusivamente à inovação para a exploração superficial (visto ser um mercado muito maior) passaram a produzir maquinaria para a exploração subterrânea que permite reduzir os custos de produção. Simultaneamente, a tendência para a automatização e automação (sem e com "feedback") conduz a melhores produtividades e a custos competitivos;
- a indústria de construção tem contribuído para o aperfeiçoamento dos métodos e técnicas da exploração subterrânea, visto que nessa indústria é cada vez maior a necessidade de trabalhar no sub-solo, dada a falta de espaço à superfície para os mais diversos fins.

A construção de túneis como meios de comunicação, de canais, de parques subterrâneos, de armazéns, etc., está constantemente a aumentar de importância. Nos Estados Unidos da América prevê-se para a próxima década a construção de 20000 km de túneis, e esta estimativa é conservadora. Os investimentos previstos para este ramo de actividade ultrapassarão até os dispêndios com a exploração mineira subterrânea, segundo uma previsão feita para o período 1970-1990.

Nestas condições, a indústria foi levada a desenvolver equipamento capaz de realizar os trabalhos subterrâneos de avanço com maiores produtividades e menores custos, havendo já numerosos exemplos de perfuração de galerias e de poços com custos por metro inferiores aos que se obtinham a partir dos métodos clássicos. Dentro da própria tecnologia mineira, os processos de avanço rápido justificam-se cada vez mais em face da necessidade de realizar os trabalhos de preparação e traçagem dos jazigos com pouca antecedência em relação às operações de desmonte, a fim de reduzir ao mínimo as imobilizações de capital que aqueles trabalhos normalmente exigem.

Em particular, os bons resultados obtidos com a utilização de máquinas para abertura de galerias, de poços, de chaminés, etc., incluindo os sistemas

de transporte e revestimento associados, têm contribuído para essa tendência actual do emprego das técnicas de avanço rápido.

2 – FACTORES QUE CONDICIONAM O AVANÇO RÁPIDO

O emprego das técnicas de avanço rápido de galerias impõe logicamente uma revisão dos métodos clássicos de trabalho. A obtenção de muitos maiores avanços por unidade de tempo, para além da aplicação de sistemas apropriados para arranque, carregamento e transporte, técnicas adequadas de sustimento das escavações e a um planeamento exaustivo dos trabalhos.

Assim, o facto de as velocidades de avanço de galerias horizontais passarem de 1 a 2 m por dia (valor médio) para valores dez vezes superiores, exige certamente a introdução de novas atitudes de trabalho. Bellport cita o exemplo de um “record” mundial conseguido pelo U. S. Bureau of Reclamation perfurando num dia 121 metros de galeria e 2055 metros por mês, à custa de profunda alteração nos processos e técnicas de trabalho. Tal circunstância, aliada à redução nos custos unitários de abertura de galerias, conduz a novas perspectivas acerca da maneira de encarar estas operações.

Vejamos seguidamente quais as principais necessidades de aplicação de conhecimentos de vários domínios à tecnologia do avanço rápido de galerias.

2.1 – *Estudo geológico e geofísico dos terrenos*

Com o aumento das velocidades de avanço, torna-se mais premente fazer o reconhecimento geológico das formações atravessadas e a atravessar. Interessa nomeadamente:

- utilizar métodos que realizem a prospecção dos terrenos situados no sentido da progressão dos trabalhos e que sejam capazes de os caracterizar a distâncias da ordem dos 100 m, além da frente;
- aplicar métodos geofísicos que definam quantitativamente em tipo e localização as diferentes formações geológicas a atravessar, referenciando-as por parâmetros que forneçam indicações acerca da respectiva perfurabilidade, resistência ao disparo, estabilidade ao constituírem tectos de escavações, etc..

- empregar métodos apropriados para a determinação das condições hidro-lógicas dos terrenos situados à frente das escavações ;
- caracterizar antecipadamente os acidentes geológicos (falhas, dobras, diaclases e outras descontinuidades) que poderão afectar o desenrolar dos trabalhos ;
- utilizar novas técnicas tais como a perfuração com jactos de água, que atingem grandes velocidades de penetração em rochas brandas (270 m/h) e permitem recuperação contínua de testemunhos.

2.2 – Mecânica das Rochas

O apoio que a mecânica das rochas pode oferecer às técnicas de avanço rápido é de grande importância. Justifica-se em muitos casos que se realizem ensaios preliminares à escala laboratorial simulando o desenrolar dos trabalhos e que *in situ* se proceda sistematicamente à determinação das propriedades das rochas que ficam a constituir a periferia das escavações.

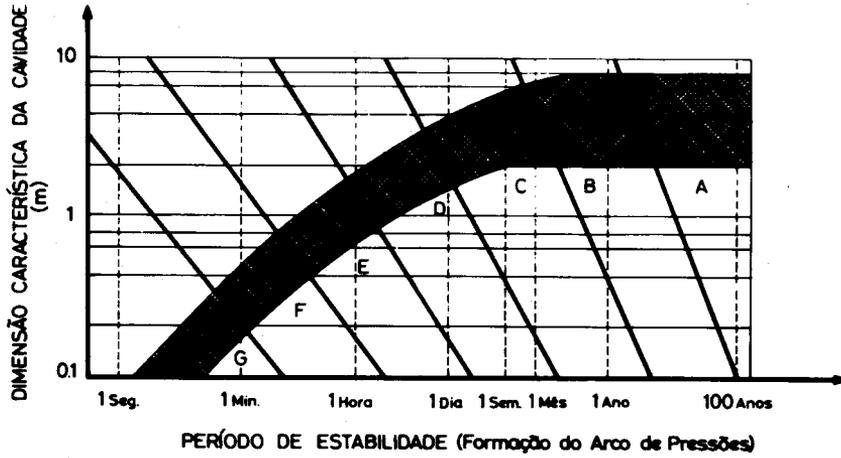
Todos os ensaios destinados a desenvolver novas técnicas de cortar e desintegrar rocha, assim como a comprovar experimentalmente as modificações introduzidas nos equipamentos, devem constituir um campo de aplicação indispensável da geomecânica.

Outro aspecto fundamental consiste em sistematizar as rochas em classificações com aplicação directa nos trabalhos de engenharia. Esta atitude é da maior importância para o projecto dos trabalhos de escavação rápida, pois facilita a missão de adaptar a tecnologia à natureza das rochas atravessadas. Como exemplo, apresenta-se na Fig. 1 a classificação de Deere, muito útil no que respeita à previsão das necessidades de suporte dos trabalhos subterrâneos.

2.3 – Arranque das rochas

Os processos destinados a promover o arranque das rochas depende das propriedades mecânicas destas e será examinada no capítulo seguinte, com referência ao arranque mecânico sem explosivos.

No entanto, menciona-se desde já que existe uma acentuada tendência em preferir (quando tal é possível) as técnicas que dispensam o uso de explosivos, uma vez que assim se eliminam as demoradas operações de per-



TIPO DE ROCHA	QUALIDADE DA ROCHA	TENSÃO MÁXIMA DE RESISTÊNCIA λ COM PRESSÃO UNIAIXIAL (kg/cm ²)	DESIGNAÇÃO QUALITATIVA DA ROCHA	PERÍODO PROVÁVEL DE FORMAÇÃO DO ARCO DE PRESSÃO	NECESSIDADE DE SUPORTE
A	Sólida, com alta resistência e juntas muito espaçadas	1100 a 2200	>90%	Dezenas de anos	Nenhuma
B	Maciça, de resistência média	550 a 1100	>75%	Meses a anos	Nenhuma a muito ligeira
C	Foliada ou estratificada, resistência elevada e moderadamente compartimentada	1100 a 2200	>60%	Semanas a meses	Ligeira
D	Em blocos, resistência média, muito compartimentada	550 a 1100	>50%	Dias a semanas	Ligeira a moderada
E	Em blocos e camadas, resistência baixa, muito estratificada e compartimentada	280 a 550	>40%	Horas a dias	Grande
F	Muito dividida em blocos e camadas, resistência baixa	280 a 420	>25%	Minutos a horas	Grande
G	Com empolamento, resistência muito baixa, altamente fracturada	<280	<25%	Segundos a minutos	Muito grande, revestimento total

Fig. 1

furação dos tiros, bem como as zonas mais ou menos fracturadas que os explosivos causam em torno da galeria, com todas as consequências nocivas à eficiência dos sustimentos. Contudo, em trabalhos sobre rochas resistentes e compactas, ainda não existe substituto eficaz para o processo de arranque com explosivos.

Mesmo assim, experiências feitas em minas de ouro sul-africanas revelaram que já se consegue extrair mecanicamente os filões auríferos encaixados em rochas duras. Embora essa operação seja mais dispendiosa que o arranque com explosivos, torna-se mais económica em virtude de reduzir consideravelmente a tonelagem de estéril que é preciso extrair da mina.

Em contrapartida, as técnicas do arranque com explosivos têm-se aperfeiçoado constantemente. O pré-corte (“pre-splitting”), com a definição dos contornos das galerias por fiadas de tiros levemente carregados tem a vantagem de evitar a sobre-fracturação das zonas vizinhas, de reduzir os trabalhos de saneamento dos tectos e de manter a forma geométrica da galeria, permitindo normalizar os quadros de suporte, ou o sistema de revestimento, a instalar.

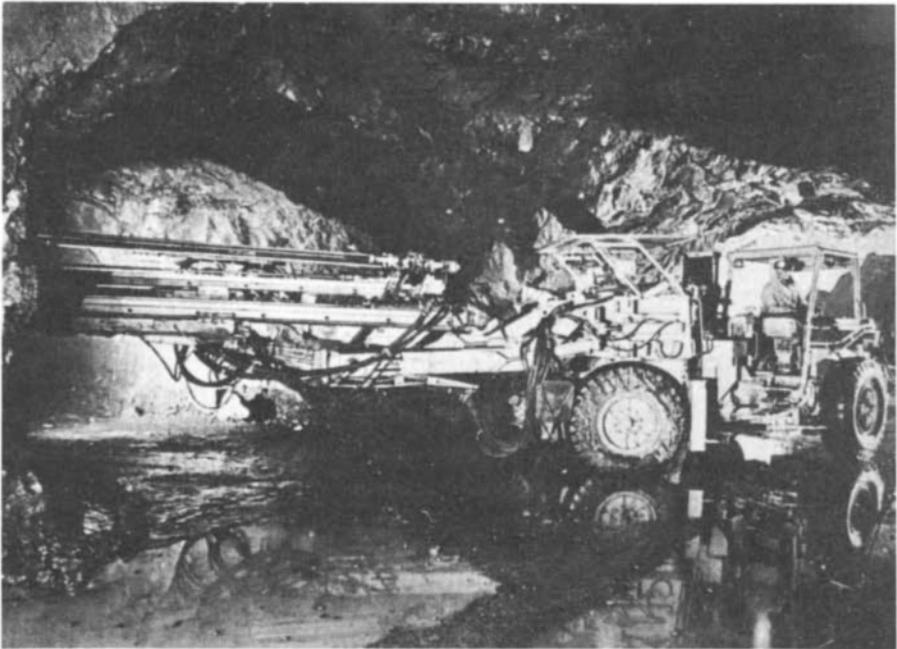


Fig. 2

Na Suécia empregam-se em terrenos brandos certas técnicas de injeção de caldas de cimento para consolidar os terrenos e depois faz-se o arranque com pré-corte, obtendo-se grandes vantagens no sustimento.

Outro processo que está a ser desenvolvido nesse país é o de encher os tiros de contorno da galeria com caldas de cimento e provocar o disparo antes da mesma fazer presa completa. Consegue-se assim que a expansão gasosa resultante da explosão provoque a penetração do cimento no terreno circundante e contribua para a sua consolidação.

Processo análogo, utilizando asfalto em vez de cimento, apresenta vantagens quanto à impermeabilidade da galeria.



Fig. 3

Também é muito recomendável o recurso a pegas de fogo que permitam grandes avanços por disparo. Entradas cilíndricas do tipo “burn-cut”, com furos de comprimentos superiores a 3 m, são frequentes. O mesmo sucede com a vulgarização do processo “long hole drilling”.

O emprego de jumbos está muito generalizado nestes casos, assim como o de sistemas com vários martelos perfuradores comandados por um controle central (Fig. 2).

Na mesma linha de mecanização, estão os processos de carregamento pneumático de explosivos ANFO e “slurries”, de que se refere um exemplo da Fig. 3.

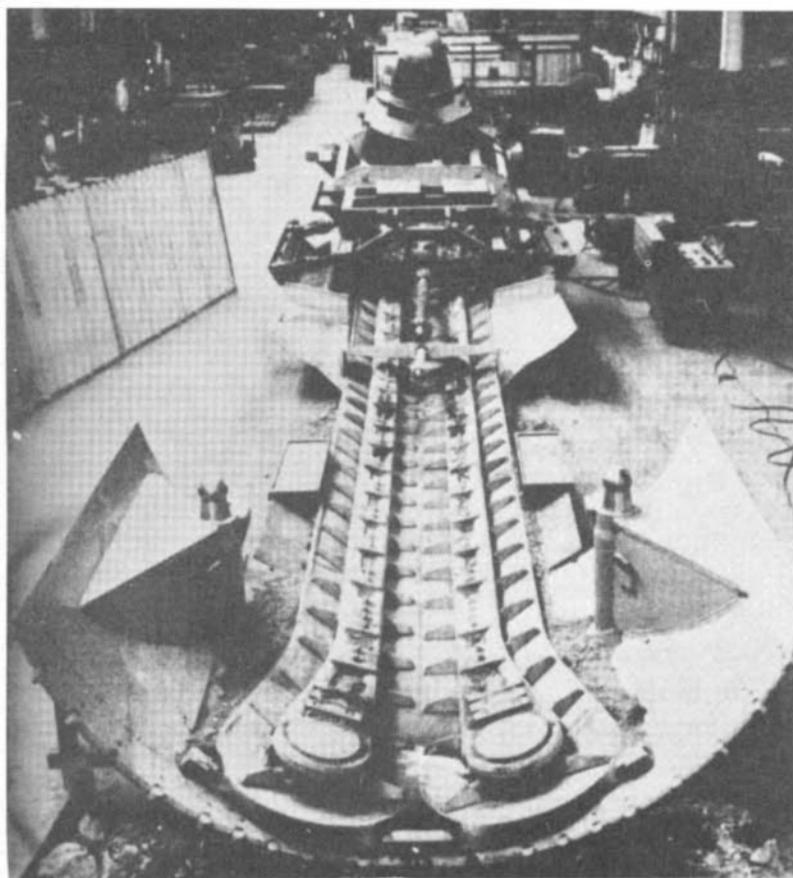


Fig. 4

2.4 – Carregamento e transporte dos produtos arrancados

A movimentação das rochas desmontadas nos trabalhos de avanço rápido das galerias deve processar-se a um ritmo compatível com o débito de material arrancado. Em certos casos, como na abertura de grandes túneis, há que remover mais de 3000 toneladas diárias da frente, notando-se geralmente a tendência em preferir sistemas contínuos.

O tamanho e a capacidade das máquinas de carregamento têm pois de adaptar-se às condições do avanço rápido, assim como ao desenrolar contínuo das operações. Veja-se, por exemplo, a Fig. 4, onde se mostra uma máquina de carregamento frontal contínuo, capaz de remover o escombro de uma frente de ataque, em conjugação com um sistema contínuo de transporte.

Existem também processos descontínuos ou cíclicos de carregamento rápido. São os que fazem uso de veículos providos de pneumáticos ou de lagartas (há tendência para o desaparecimento de vias férreas), dispostos de sistemas carregadores e de pequenos transportadores blindados orientáveis, que descarregam sobre os veículos de transporte (Fig. 5).



Fig. 5

Os sistemas de transporte apresentam tendência para serem automóveis (“shuttle-cars”) e de capacidades cada vez maiores, que chegam a atingir 35 toneladas, como no caso da mina de Kiruna.

De facto, com o avanço rápido, torna-se difícil assentar vias férreas a um ritmo conveniente, assim como proceder à montagem dos sistemas contínuos de transporte (correias, transportadores blindados e canais oscilantes) excepto através da sobreposição de troços independentes.

Por outro lado, começam a desenvolver-se novos processos de transporte das rochas desmontadas, como o transporte hidráulico de polpas, ao qual parece reservada grande expansão no futuro.

2.5 – *Sustimento e revestimento*

Seria ideal que o sustimento e revestimento das galerias fosse executado a uma velocidade igual à do respectivo avanço. Além disso, é sempre conveniente reduzir ao mínimo os tempos que decorrem entre a abertura de novo troço da galeria e a montagem do sustimento.

Como se observou na Fig. 1, os tempos de manutenção da estabilidade dos terrenos que circundam as galerias são tanto menores quanto menos resistentes forem as rochas, exigindo simultaneamente tipos de suporte mais reforçados e contínuos. Sendo assim, é natural que as características do terreno sejam determinantes do sistema de suporte a empregar, e com tanto maior relevo quanto mais imprevisíveis forem aquelas características.

O avanço rápido requer muitas vezes o emprego de suportes pré-construídos ou de processos de gunitagem e de “shotcreting”*, ou mesmo de agentes químicos (polimerizações das paredes).

Muitas vezes é preciso realizar apenas o suporte de blocos do tecto, sendo boa a estabilidade da galeria, pelo que se recorre a processos de revestimento suspenso (“roof-bolts” ou parafusos de entivação).

As tendências actuais são para o emprego de sistemas de suporte rápido, com “shotcrete” de presa veloz, incluindo agregantes químicos.

* Há uma diferença entre gunitagem e “shotcreting”. O primeiro método consiste na aplicação de argamassas fluidas através de mangueiras, às paredes e tectos das galerias para os uniformizar e revestir os quadros.

O “shotcrete” é aplicado pneumáticamente, com um agregado muito fino, pulverizado a velocidade alta (150 m/s) e lançado sobre as paredes. Pode aplicar-se o “shotcrete” isoladamente, ou por cima de redes de aço fixadas por parafusos de entivação, ou até sobre arcos metálicos de suporte.

A impermeabilização dos hasteais e das frentes é também conseguida dessa forma.

Em casos de necessidade de emprego de sistemas rígidos, há que os normalizar e aplicar elementos pré-construídos. Também é utilizada a técnica de montagem imediata de sistemas de suporte provisório, que mais tarde são substituídos por outros de carácter definitivo.

A redução ou eliminação da zona de rocha fracturada em torno da galeria contribui para a racionalização e eficiência dos processos de suporte no avanço rápido de galerias, pelo que deve constituir uma preocupação do projectista.

2.6 – *Segurança e meio ambiente*

Sendo necessário assegurar o conforto no trabalho humano junto das frentes das galerias em avanço rápido, justifica-se a instalação de meios poderosos e adaptáveis de ventilação, incluindo os de refrigeração dos locais de trabalho, quando as condições do ambiente assim o exigirem.

A eliminação de poeiras e ruídos faz parte desses cuidados. Convirá pois em cada caso elaborar especificações sobre a qualidade das atmosferas subterrâneas e fazê-las cumprir a todo o custo. Com a mecanização e automatização das restantes operações, este aspecto deixa de ser tão premente, pois em certas máquinas de perfuração de túneis, apenas a cabine do operador é condicionada. Noutros casos, o equipamento não é tripulado, por ser de controle remoto.

Outro aspecto da segurança a manter consiste na medição das convergências e outras deformações das cavidades, com vistas à manutenção da respectiva secção e à garantia da estabilidade. Sensores e “transducers” dotados de sistemas de alarme devem ser instalados nos pontos mais perigosos.

2.7 – *Planeamento das operações*

Com a intervenção de tantas operações elementares nas actividades de avanço rápido de galerias, há que definir criteriosamente as implicações de cada uma e a sua localização no espaço e no tempo.

É muito frequente o emprego de técnicas de programação linear (PERT e CPM), para concretizar a função de cada etapa. Na Fig. 6 apresenta-se um

exemplo concreto da rede PERT utilizada para o avanço de uma galeria na mina de carvão russa de Lvov-Volynsk, onde se observa a complexidade que caracteriza a sequência de operações que a integram (Onika).

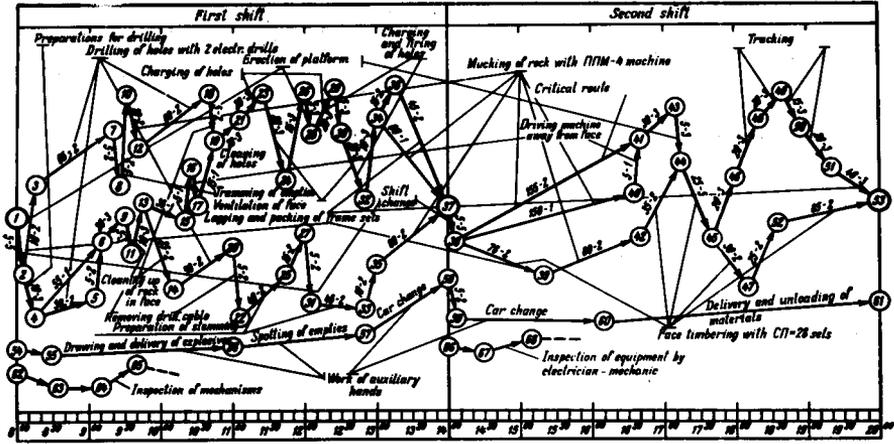


Fig. 6

3 – TÉCNICAS DE AVANÇO RÁPIDO DE GALERIAS

De acordo com a tecnologia actualmente disponível na indústria mineira, podem classificar-se os processos de avanço rápido de galerias da seguinte forma:

TÉCNICAS DE AVANÇO RÁPIDO DE GALERIAS	
QUANTO AO TIPO DE ROCHA	QUANTO À SEGURANÇA
Para rochas resistentes e homogéneas	Em boas condições de segurança e/ou pequena quantidade de água
Para rochas brandas e homogéneas	
Para rochas heterogéneas	

3.1 – Técnicas para avanço rápido de galerias abertas em rochas resistentes e homogêneas

Este é o caso típico de minas metálicas, onde há que abrir galerias ou travessas em rocha coerente. Desde que a escala das operações seja grande e o tempo de amortização previsto seja suficientemente longo, deve sempre encarar-se a hipótese de se utilizar máquinas perfuradoras de túneis. Os seus custos chegam a ultrapassar 30000 contos, podendo as já existentes trabalhar rochas com resistência máxima à compressão uniaxial da ordem de 350 kg/cm^2 (Garfield).

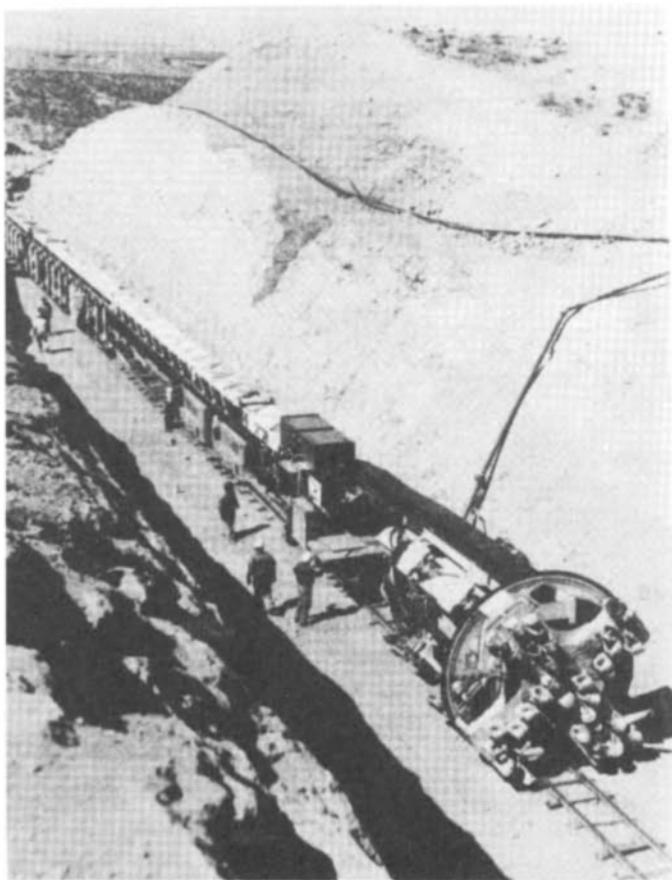


Fig. 7

Para rochas cuja resistência não ultrapasse 1750 kg/cm^2 , usam-se cortadoras-perfuradoras com discos dispendo de pastilhas de carboneto de tungstênio. Recentemente estas máquinas passaram a usar ferramentas de corte constituídas por ligas duras, instalando nas zonas de maior desgaste, botões de carboneto de tungstênio. Já há exemplos de trabalhos de avanço mecânico em rochas com resistências à compressão de 3500 kg/cm^2 , mas as velocidades de progressão ainda são baixas.

O emprego de rolos cónicos dotados de botões de carboneto de tungstênio parece ser a melhor solução, para este tipo de rochas.

Apresentam-se seguidamente dois exemplos de máquinas para avanço rápido de galerias em rocha dura, o primeiro devido a Eser (Fig. 7) e o segundo a Robbins (Fig. 8).

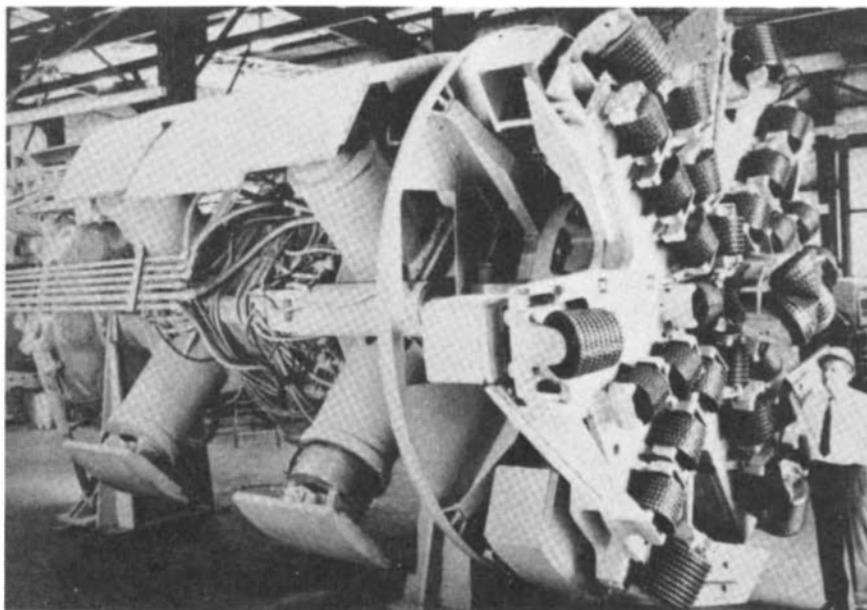


Fig. 8

Embora todo este desenvolvimento tecnológico esteja patente, a verdade é que para rochas duras e resistentes ainda não existem máquinas perfuradoras com eficiência e velocidade de avanço convenientes.

As energias específicas consumidas (energia total libertada a dividir pelo volume de rocha extraído) são ainda muito elevadas, facto que associado às dificuldades com a metalurgia dos cortantes, ainda não permitiu que as rochas duras deixassem de ser arrancadas com vantagem pelo método clássico que emprega perfuração e explosivos. Na realidade, esta técnica permite:

- Maiores velocidades de avanço em rochas duras. Por exemplo, no túnel Granduc, no Canadá, aberto em rocha granítica, atingiu-se num arranque com explosivos uma média de avanço de 34 metros por dia, tendo a secção cerca de 20 m².

- Possibilidade de abrir secções rectangulares ou trapezoidais, facto que não acontece com as máquinas perfuradoras que apenas permitem escavações de secção circular, nem sempre conveniente nos trabalhos de engenharia. O mesmo se passa no que diz respeito à facilidade de obter troços curvos e nos trabalhos de intersecção de galerias.

- Usando “pre-splitting”, perfuração com jumbos e carregamento mecanizado dos explosivos nos furos (incluindo os explosivos tipo ANFO e “slurry”) maior economia e rapidez que com a utilização de máquinas perfuradoras em rochas resistentes – tensão de rotura à compressão uniaxial maior que 350 kg/cm².

O método de avanço por arranque com explosivos, para se adaptar a elevadas velocidades de avanço, deve prever a realização de 3 a 4 pegas de

OPERAÇÕES	Tempo dispendido por ciclo (h-min)	Horas no turno						
		1	2	3	4	5	6	7
Saneamento da frente	0 - 6	■				■		
Carregamento	1 - 18	■	■			■	■	
Perfuração	1 - 24	■		■	■	■	■	■
Carregamento, disparo e ventilação	0 - 24				■			■
Instalação de suporte provisório	1 - 39	■	■			■	■	
Retirar suporte provisório	0 - 18	■				■		
Instalação de suporte definitivo	2 - 12		■	■		■	■	
Montagem de vias férreas	0 - 30			■				■
Abertura de drenos de esgoto	2 - 12		■	■		■	■	

Fig. 9

fogo por dia. É frequente estes trabalhos decorrerem ao longo de 24 horas por dia, estando divididos em 4 turnos de 6 horas cada.

As operações mais demoradas são a perfuração e o carregamento, em especial a primeira. O sustimento também contribui para o tempo do turno em percentagem importante, como pode ver-se no diagrama de trabalho que se apresenta na Fig. 9, devido a Onika, resultante no avanço de 12 a 14 metros por dia (secção inicial de 12.1 m² e final de 8.2 m²).

Note-se que cada turno de trabalho está dividido em duas partes iguais (ou ciclos), repetindo-se todas as operações duas vezes no mesmo turno, incluindo a pega de fogo. Havia assim 8 disparos por dia, segundo este diagrama de trabalho, com avanços individuais da ordem dos 2 metros.

Na Fig. 10 apresenta-se o diagrama de fogo correspondente às operações que são objecto da planificação referida na Fig. 9.

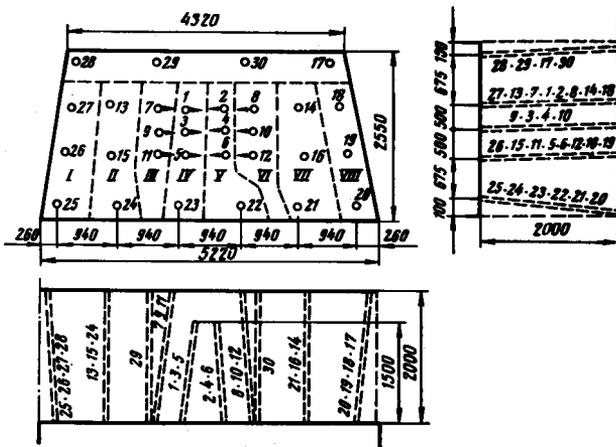


Fig. 10

3.2 – Técnicas para avanço rápido de galerias abertas em rochas brandas e homogêneas

Nas minas abertas em rochas sedimentares, especialmente nas minas de carvão, as técnicas para avanço rápido de galerias possuem maiores possibilidades de mecanização do que as rochas eruptivas e duras.

De facto, já há bastantes anos que se introduziram nos desmontes de carvão as roçadoras (de braços, de cogumelos e de quadros) as plainas mecânicas

(ou “rabots”) e outras máquinas desagregadoras (de tambores, tipo “Trepanner”, roçadora integral de potassas, etc.).

Utilizando princípios semelhantes, foram aplicados esses equipamentos à perfuração rápida de galerias em rocha branda. Poder-se-ão citar, dentro desse grupo de equipamentos, as máquinas tipo Marietta e Joy Twin Borer, que dispõem de dentes dispostos sobre arcos metálicos movidos por correntes. A última máquina possui dois braços rotativos e realiza 4 furos concêntricos parcialmente sobrepostos, aos quais se associam duas cadeias periféricas de corte, a fim de dar a forma à galeria (Fig. 11).



Fig. 11

Em regra, estas máquinas estão providas de braços para o carregamento das rochas desagregadas, de forma que promovem trabalho contínuo.

Existem outros tipos de máquinas para avanço rápido em rocha branda, tais como os trados mecânicos, que realizam a perfuração por meio de um grande parafuso, dotado de cortantes em liga de metal duro, embora se empreguem mais nos desmontes. Usam-se também em certas galerias para abrir furos centrais

não carregados (que podem ir até 50 cm de diâmetro) constituintes dos diagramas de fogo com entrada cilíndrica (“burn-cut”).

Resta referir o processo hidráulico de arranque, que hoje parece começar a ter grande procura, fazendo uso de jactos de água a alta pressão, que desagregam as rochas sendo os respectivos fragmentos transportados posteriormente sob a forma de polpas (bombagem).

3.3 – Técnicas para avanço rápido de galerias em rochas heterogêneas

É frequente os terrenos a atravessar serem constituídos por formações diferentes, ou incluírem acidentes geológicos, assim como veias de água.

Neste caso o avanço rápido é difícil, a menos que se garanta o apoio proporcionado pelo estudo geológico, mecânico e de controle dos terrenos, que já mencionámos anteriormente.

Nas minas de carvão, esta situação ocorre quando a camada a extrair é de possança inferior às dimensões da escavação, pelo que se arrancam duas rochas de características diferentes.

Na Fig. 12, devida a Onika, apresenta-se um exemplo de uma pega de fogo utilizada para a extracção de rochas heterogêneas.

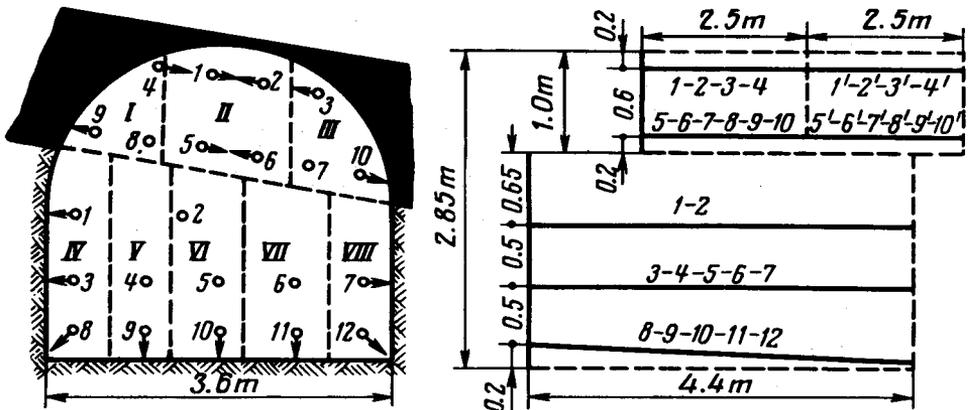


Fig. 12

O diagrama operatório desse mesmo trabalho de avanço está indicado na Fig. 13.

OPERAÇÕES	Tempo disponível por ciclo (min)	Horas no turno (6h)					
		8	9	10	11	12	13
		Ciclo I		Ciclo II		Ciclo III	
Perfuração no carvão	45	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Perfuração na rocha	30	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Carregamento, disparo e ventilação	30	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Carregamento do carvão e estéril	45	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Entivação	30	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Montagem de vias férreas	15	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Abertura de drenos de esgoto	15	[Barra]		[Barra]		[Barra]	
Instalação de tubagem para ventilação	15	[Barra]		[Barra]		[Barra]	

Fig. 13

Observa-se que o turno de trabalho tem 6 horas e está dividido em 3 partes, cada uma das quais com idêntica sucessão de operações. As operações fundamentais são a perfuração de furos no carvão e na rocha, o carregamento, disparo e ventilação, a limpeza da frente, a entivação, a montagem de vias férreas temporárias, a abertura de canais de esgoto e a suspensão de condutas de ventilação. Os respectivos tempos parciais estão indicados por cada ciclo de 2 horas.

Neste tipo de rochas, os sistemas de suporte são mais difíceis de executar e mais dispendiosos. Usa-se introduzir primeiro um suporte provisório que, depois da frente avançar o suficiente para deixar espaço de trabalho, é substituído por um sistema definitivo, estabelecido de acordo com a natureza

e heterogeneidade da rocha, com o tempo de utilização da galeria e com os materiais disponíveis para o efeito. Para terrenos brandos, apresenta-se um exemplo na Fig. 14, onde se instala uma entivação provisória e depois uma definitiva em blocos de cimento (Duyse).

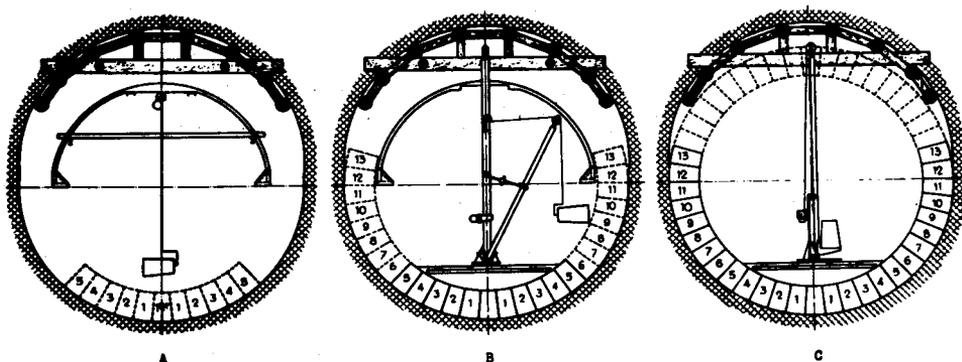


Fig. 14

Existem presentemente numerosos sistemas patenteados para o suporte de terrenos circundantes de galerias. Em regra, são instalados com a forma previamente adaptada à geometria da galeria e empregam redes metálicas entre suportes metálicos espaçados convenientemente. Tais redes metálicas servem depois para armar o betão que se aplica sobre as paredes da galeria.

4 - CONCLUSÕES

A problemática do avanço rápido de galerias é muito importante actualmente, pois é um dos factores de que a exploração subterrânea dispõe para retomar a importância que perdeu dentro da indústria mineira. A evolução futura desta indústria impõe que o recurso à exploração subterrânea seja novamente o principal tipo de actividade mineira e sendo assim, só com novas tecnologias se pode competir economicamente com as explorações a céu aberto.

Além disso, os factores que pressionam a economia mineira (carência de mão-de-obra especializada, necessidade constante de aumento de produ-

vidade e de diminuição dos custos de produção) implicam que se proceda a uma revolução tecnológica em muitos domínios. O avanço rápido de galerias é certamente um deles.

BIBLIOGRAFIA

- BARENDSON, P. (1970) – Boring by Undercutting Methods. Mining Magazine. Vol. 123, N0. 4.
- BELLPORT, B. P. (1971) – Five Case Histories of Tunnel Boring. Mining Engineering Vol. 23, No. 6.
- DEERE, D. U.; MILLER, R. P. (1966) – Classification and Index Properties for Intact Rock. AFWL-65-116, Air Force Special Weapons Center. Kirkland AFB. New Mexico.
- DUYSE, H. (1970) – Creusement et Soutènement de Galeries Circulaires en Terrains Tendres. Proceedings of the International Symposium on Large Permanent Underground Openings. Universitetsforlaget. Oslo.
- ESER, M. (1970) – Un Bel Avenir por les Tunnels. La Recherche, N.º 5, Oct. 1970.
- GARFIELD, L. A. (1971) – Rapid Excavation – A Perpectual Goal. Mining Engineering, Vol. 23, No. 6.
- ONIKA, D. (1972) – Excavation of Mine Openings. Mir Publishers. Moscow.
- ROBBINS, R. J. (1970) – Economic Factors in Tunnel Boring. Mining Magazine. Vol. 123, No. 4.
- WOODRUFF, S. D. (1966) – Methods of Working Coal and Metal Mines (Vol. III). Pergamon Press.