



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

**PMI-3101 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA APLICADA À  
INDÚSTRIA MINERAL**

**AULA 4 – INTRODUÇÃO À LAVRA SUBTERRÂNEA**

**Wilson Siguemasa Iramina**

**São Paulo, 03 de abril de 2017**

**Etapas da vida de uma mina**

**"achar"**

**ativar**

**desativar**

abertura

desenvolvimento

produção

### Projeto clássico de mina:

- seleção do método
- escolha da taxa ótima (provável) de lavra
- desenho inicial (layout) e projeto conceitual (conceptual mine design)

### Céu aberto

- começa com desenhos da cava, até a cava final
- definida a cava, planeja-se a infraestrutura: vias de transporte, pilhas, bota-foras, lagoas de rejeito, vias de utilidades, ...
- layout da cava pode ser modificado se for a subsolo

### Subsolo

- inicia-se com definição da pré-produção, locação e **requisitos de acesso e desenvolvimento**
- definição dos níveis principais, vias de transporte, acessos principais e outras entradas
- o projeto das entradas principais deve considerar: necessidades de transporte de minério, estéril e "backfill", circuitos primários de ventilação, acesso de pessoas, estações de refúgio e rotas de fuga, manuseio de materiais, etc.
- definida conceitualmente a mina em subsolo, se planeja a infraestrutura em superfície, com acessos, bota-foras, paióis, instalações de manutenção, lagoa de rejeitos, etc.

## Diferenças entre abertura e desenvolvimento

### Diferença de objetivos

**Abertura** - deseja-se atingir o corpo de minério, planejando-se os primeiros pontos deste contato visando a futura lavra e suas peculiaridades.

**Desenvolvimento** - tem-se a preparação do corpo para a produção sistemática, e portanto sua subdivisão em níveis, subníveis, painéis e blocos, de acordo com o método de lavra escolhido.

## TRABALHOS DE ABERTURA

Executados principalmente via :

**galerias** de acesso horizontais = adit, drift, drives, crosscuts

**poços** - vertical = poço simplesmente (shaft)

- inclinado = poço inclinado: mais longos, maior manutenção, usava mais antes

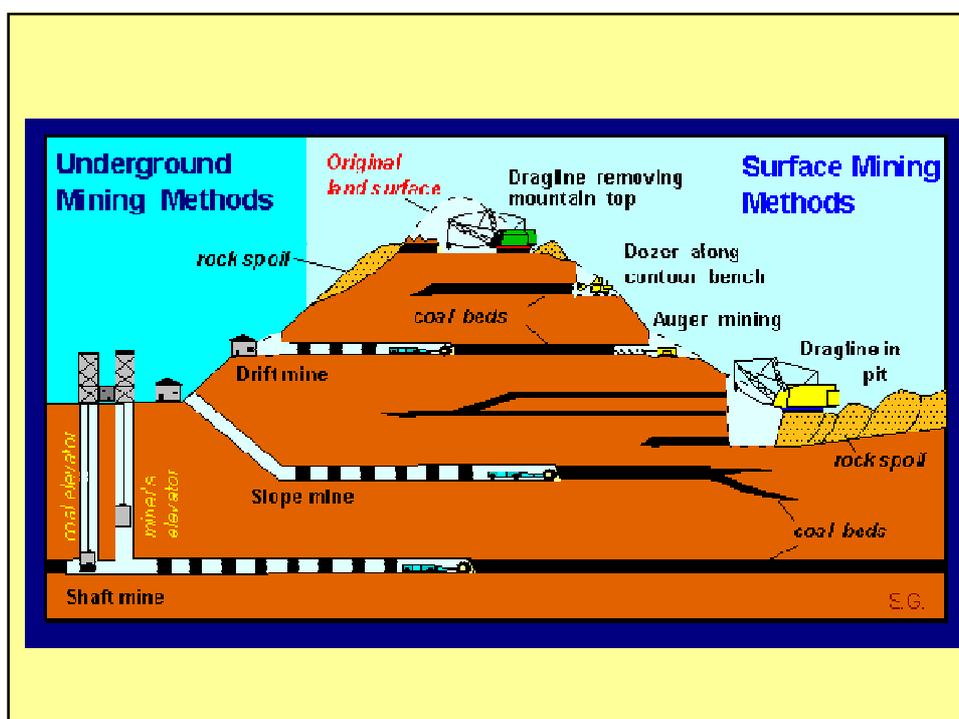
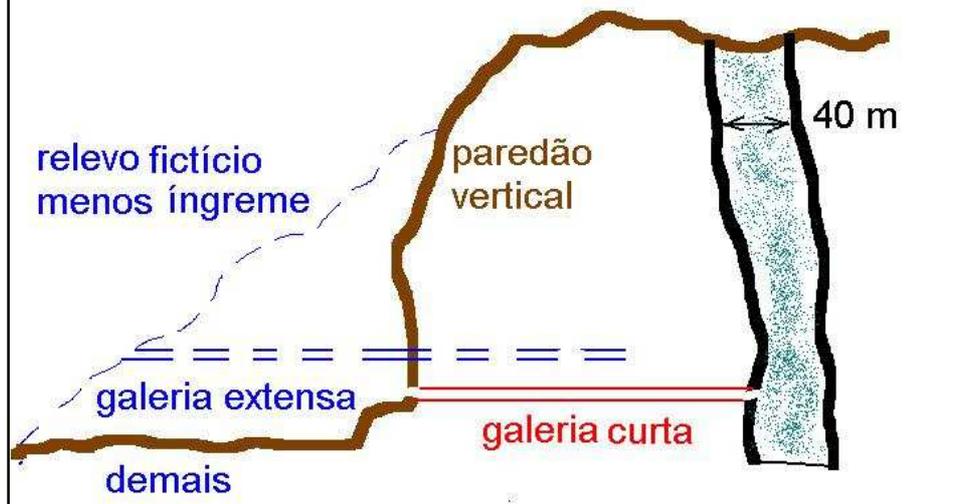
**rampas** = ramp, decline

**planos inclinados** = slope, incline

## Galerias de acesso horizontal

Exigem condições topográficas

Cerro de Pasco mina de cobre, sul do Peru, nos Andes

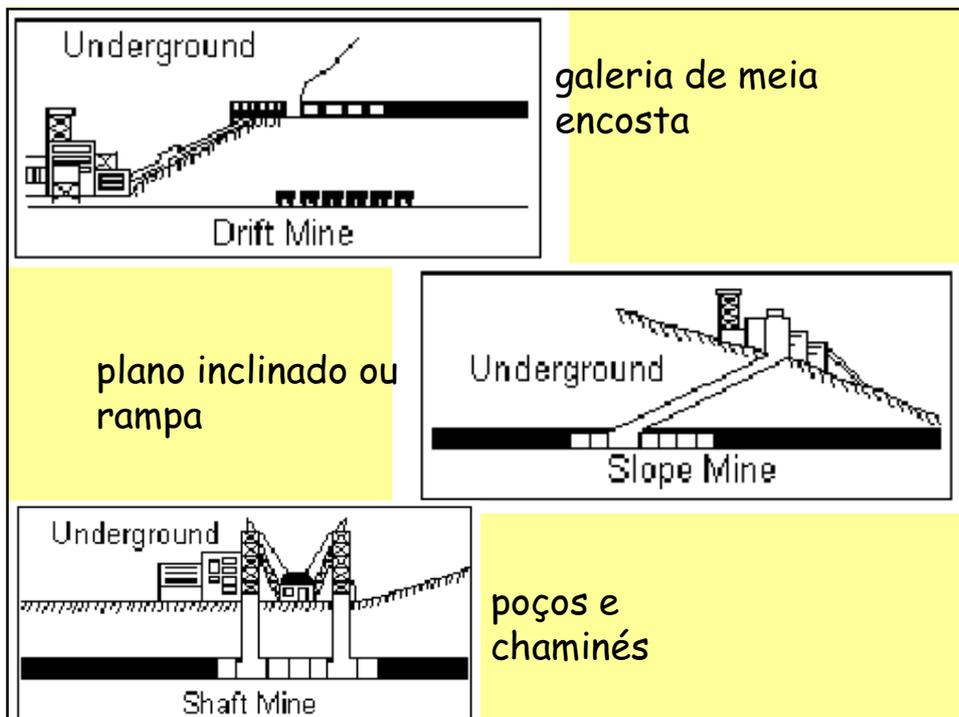


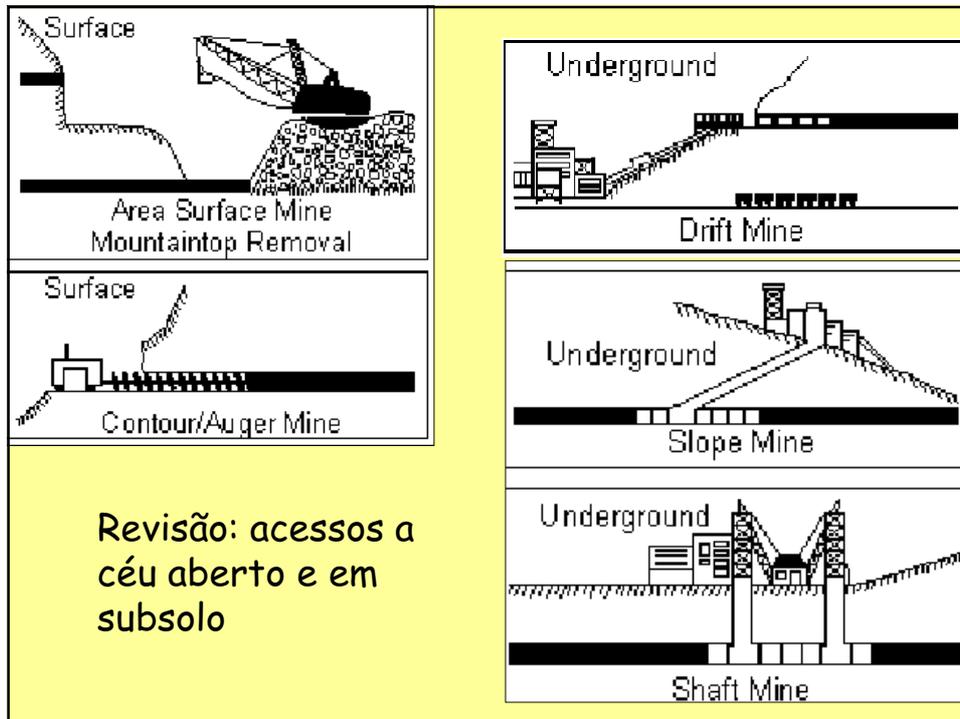
**Desenvolvimento**

Todos os trabalhos executados após a abertura e antes da produção.

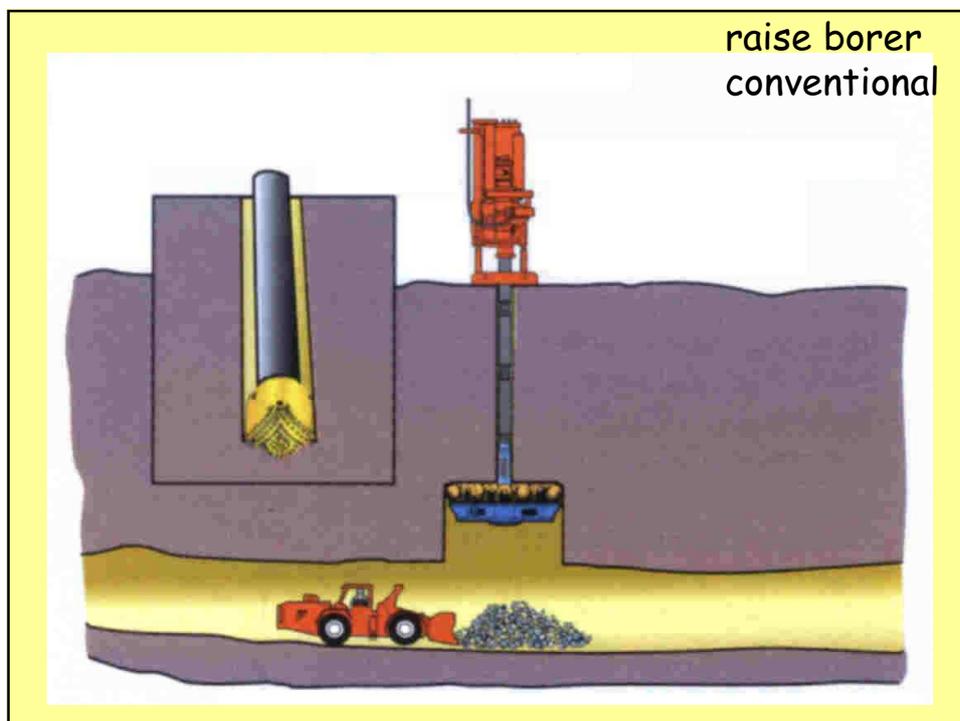
Preparam o corpo de minério para a produção sistemática e são função do método de lavra.

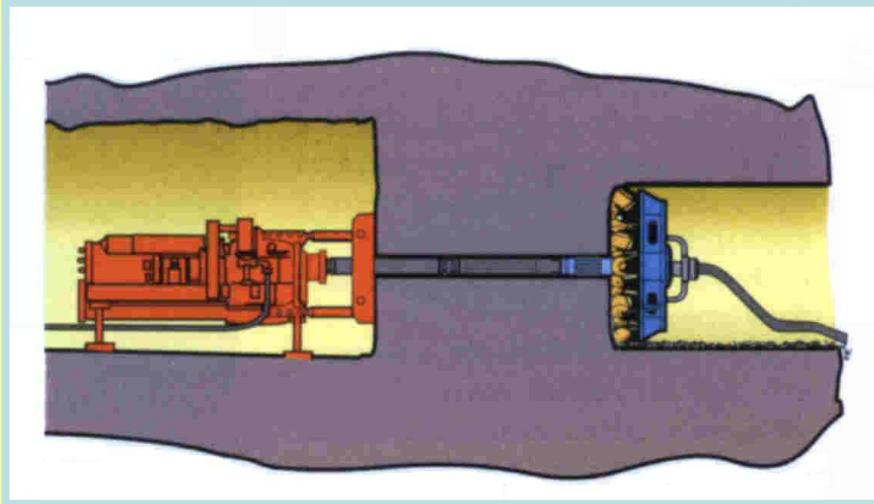
Cada método tem seus típicos trabalhos de desenvolvimento de painéis e blocos, com suas vias principais de transporte e sistema de ventilação.



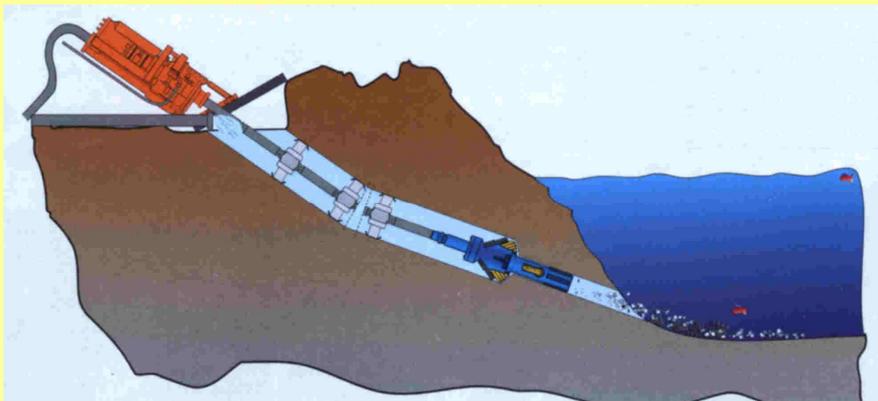


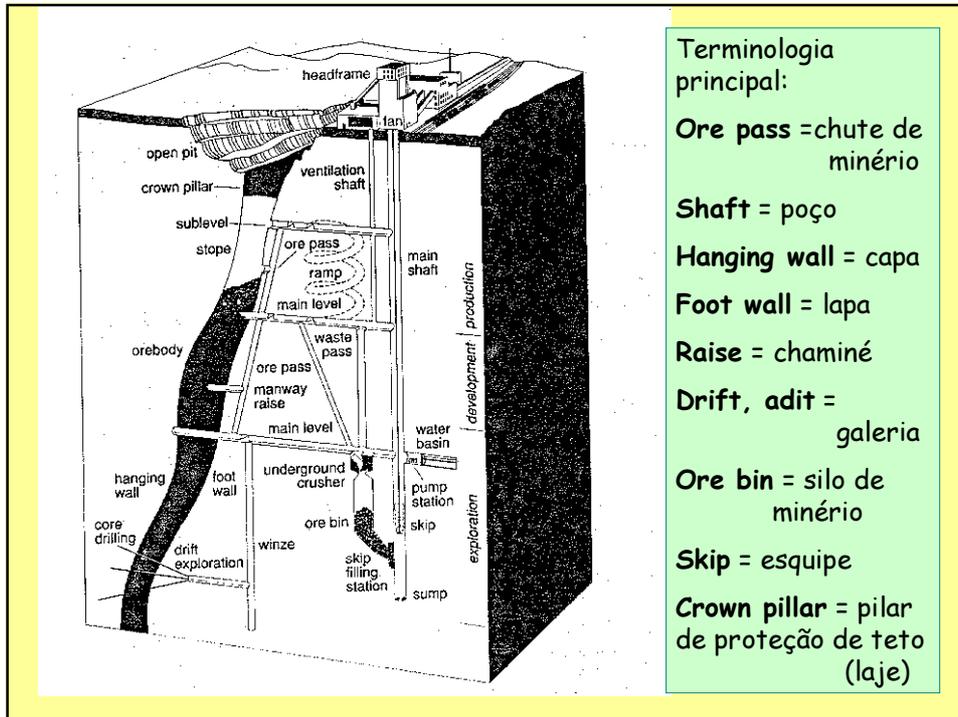
Revisão: acessos a céu aberto e em subsolo





horizontal boring





Terminologia principal:

Ore pass = chute de minério

Shaft = poço

Hanging wall = capa

Foot wall = lapa

Raise = chaminé

Drift, adit = galeria

Ore bin = silo de minério

Skip = esquipe

Crown pillar = pilar de proteção de teto (laje)

### OPERAÇÕES UNITÁRIAS EM SUBSOLO:

Ventilar - ventilation

Inspecionar teto e paredes - batimento de choco - scaling

Perfurar - drilling

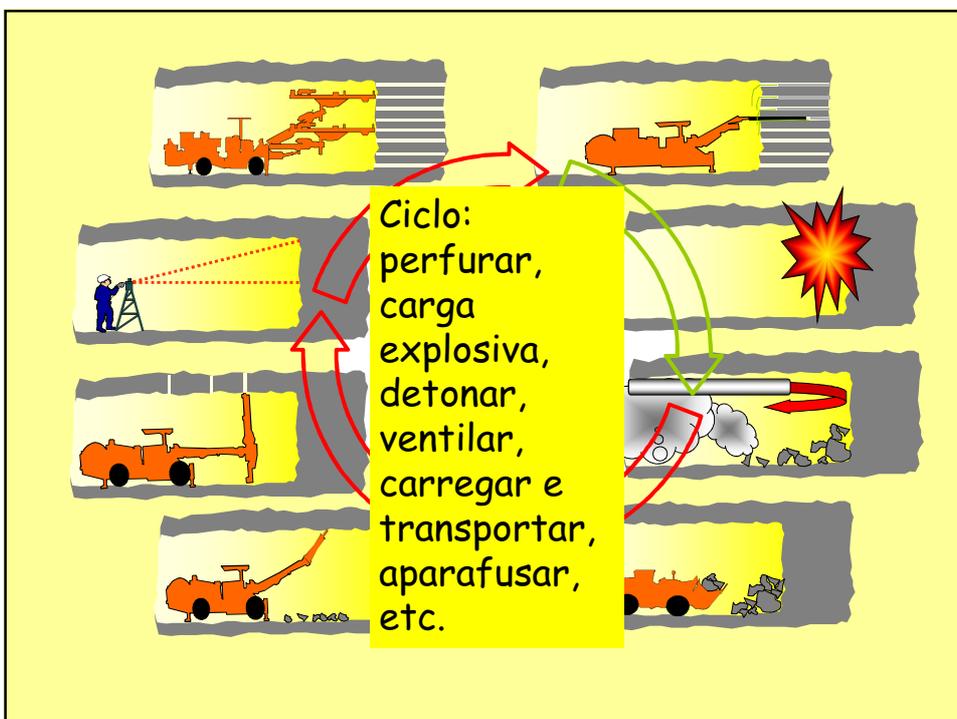
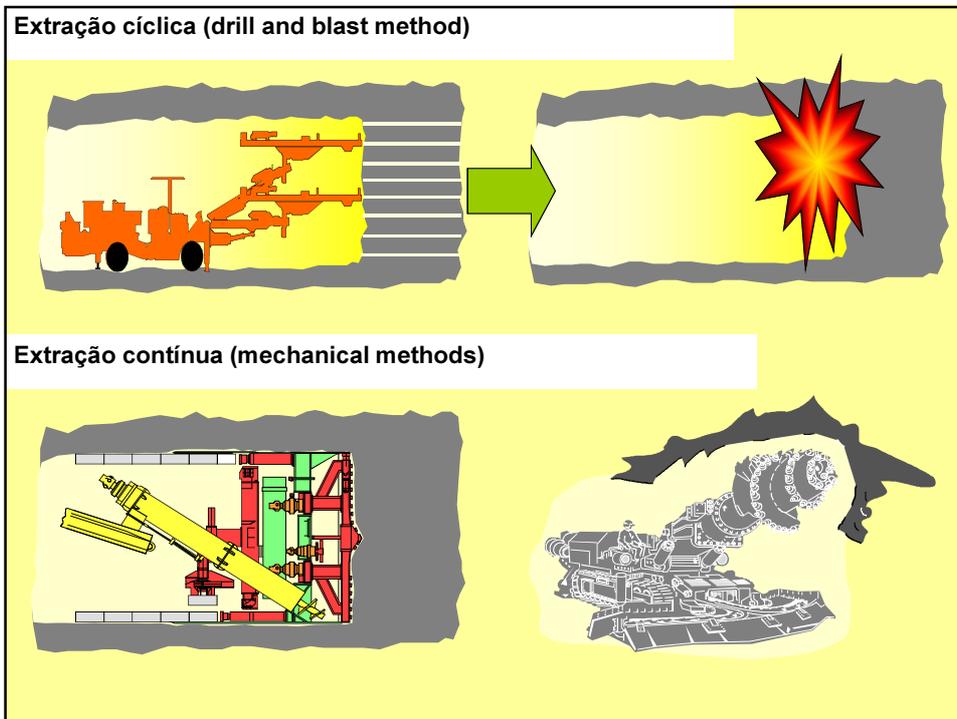
Colocar carga explosiva - charging

Detonar - blasting

Carregar

Transportar

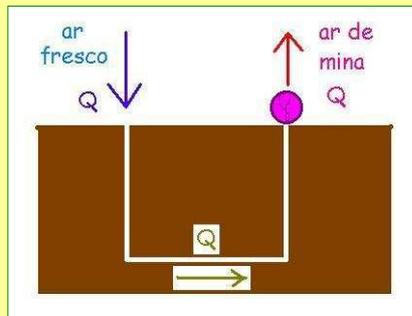
Auxiliares: ar comprimido, iluminação, água (fornecimento e bombeamento), eletricidade, etc



Ventilação:

Geral diluidora - mina toda, cada realce e face

Local exaustora

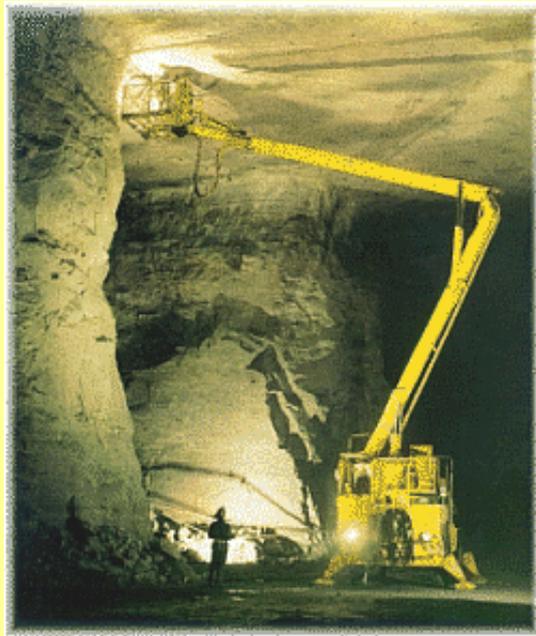


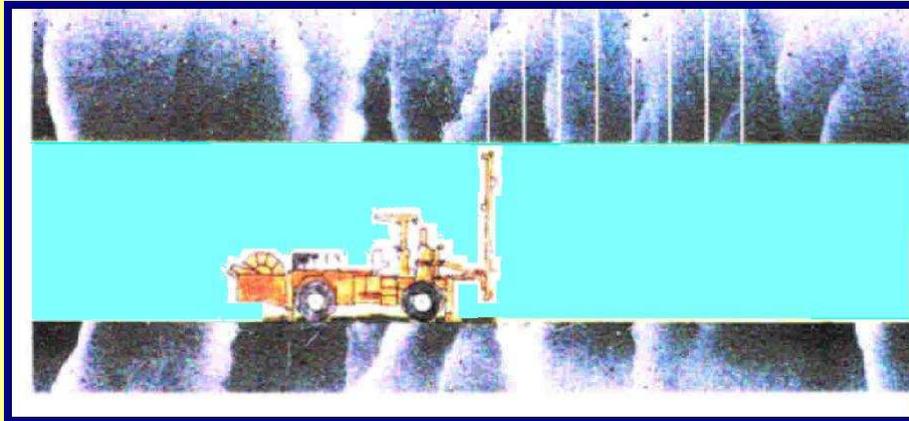
Segurança estrutural:

Batimento de choccos do teto - scaling

Piso, paredes, pilares

Rockburst





Colocação de parafusos de rocha (rock bolting)

### Iluminação em subsolo

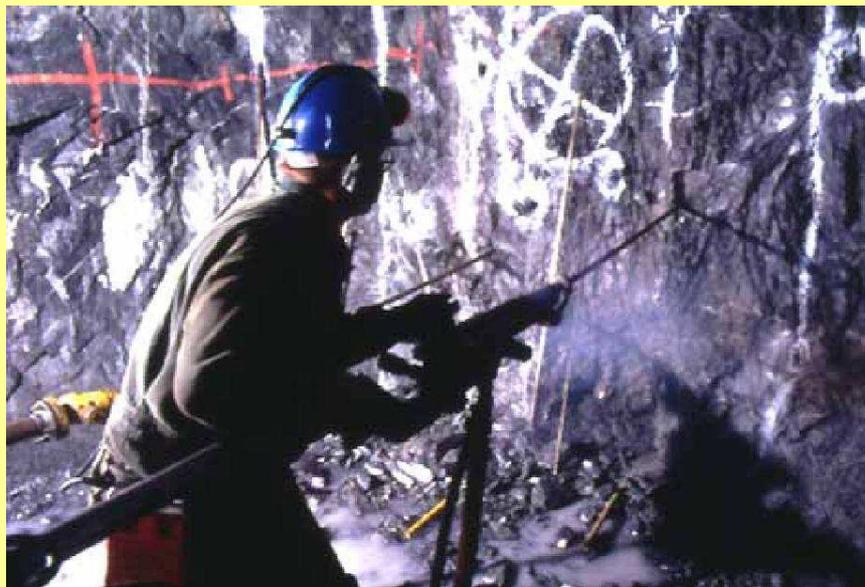
Obrigatório uso de capacete com lanterna individual - lei

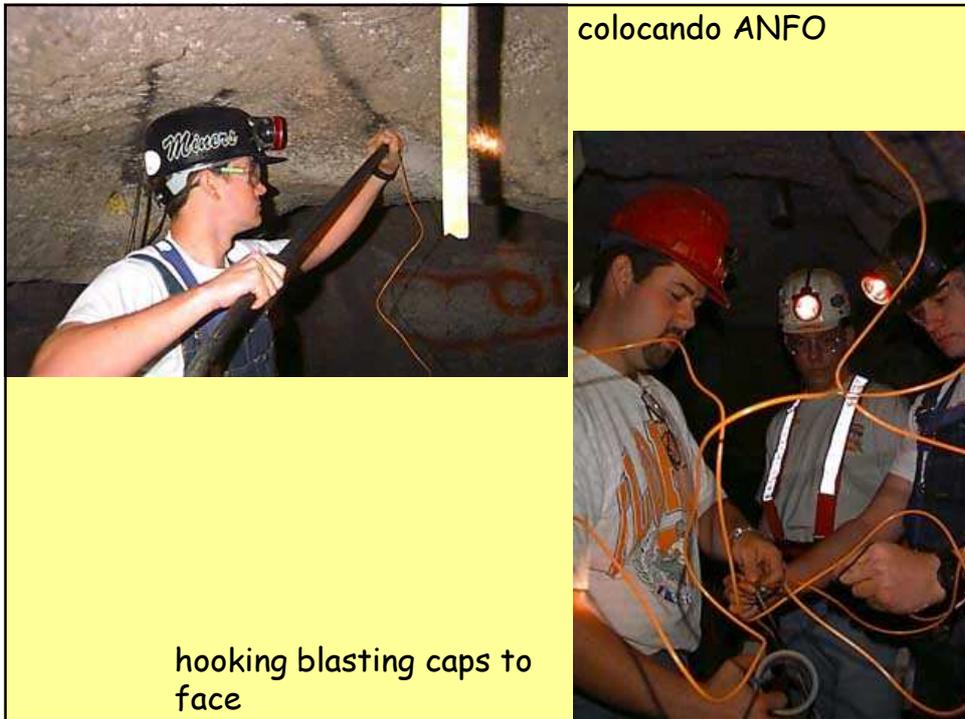
Sempre recomendável iluminação de rede



Perfuração manual do teto

Perfuração manual da frente da galeria







S-class drilling jumbo da Tamrock

Carregamento do minério desmontado:

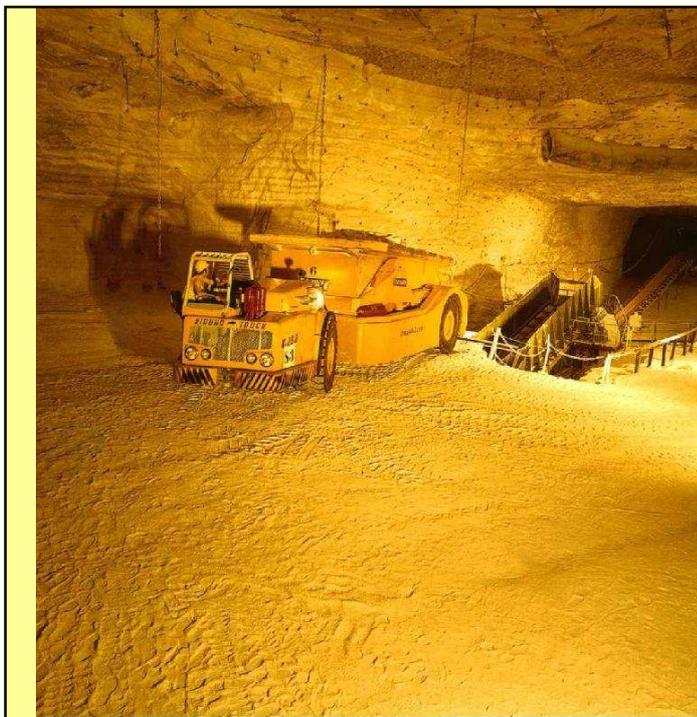
Escavadoras, LHDs, rastelos, etc

Caminhões, LHDs, correias, etc

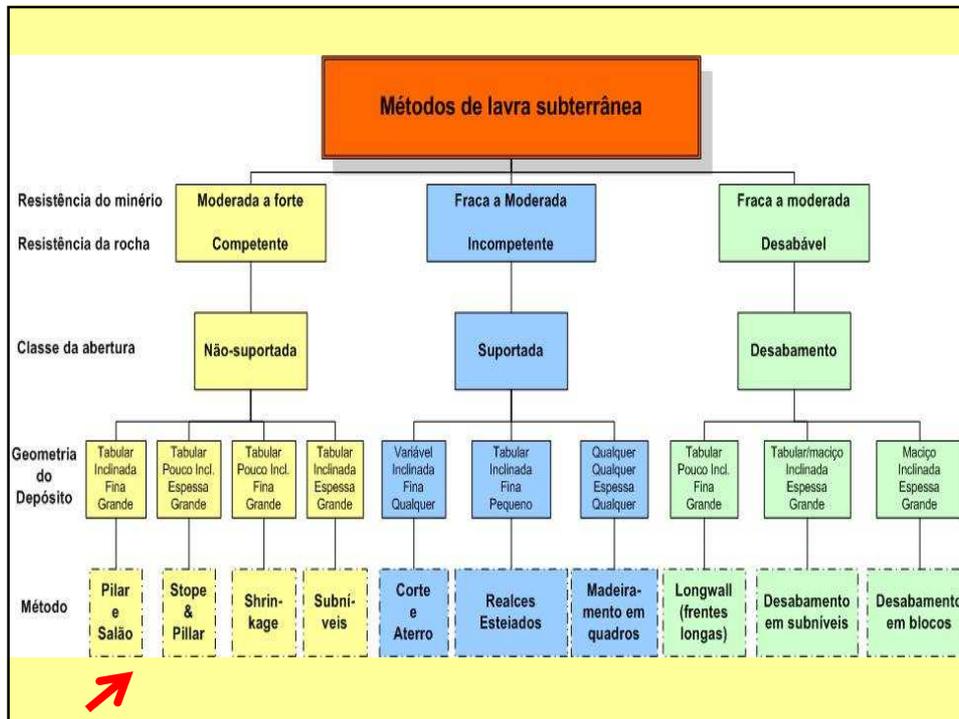
Cortadores contínuos com correias de arraste



Lavra por pilar e salão em sal na Alemanha



Descarregamento no britador em subsolo.



### Pilar e salão (room and pillar, stope and pillar)

A lavra pelo método de pilar e salão (também conhecido como pilar e câmara) consiste na remoção de camadas ou corpos tabulares de minério em aberturas para as quais o teto é estável, sustentado por pilares e eventualmente podem ser realizados trabalhos de melhoria do teto, como parafusamento.

É um dos métodos mais frequentemente utilizados e para produções médias a grandes tem se tomado um dos mais eficientes. A produção pode ser obtida de duas maneiras distintas: por mineradores contínuos ou em operações cíclicas, com equipamento convencional.

### Pilar e salão (câmara e pilares)

É método subterrâneo mais antigo que se conhece.

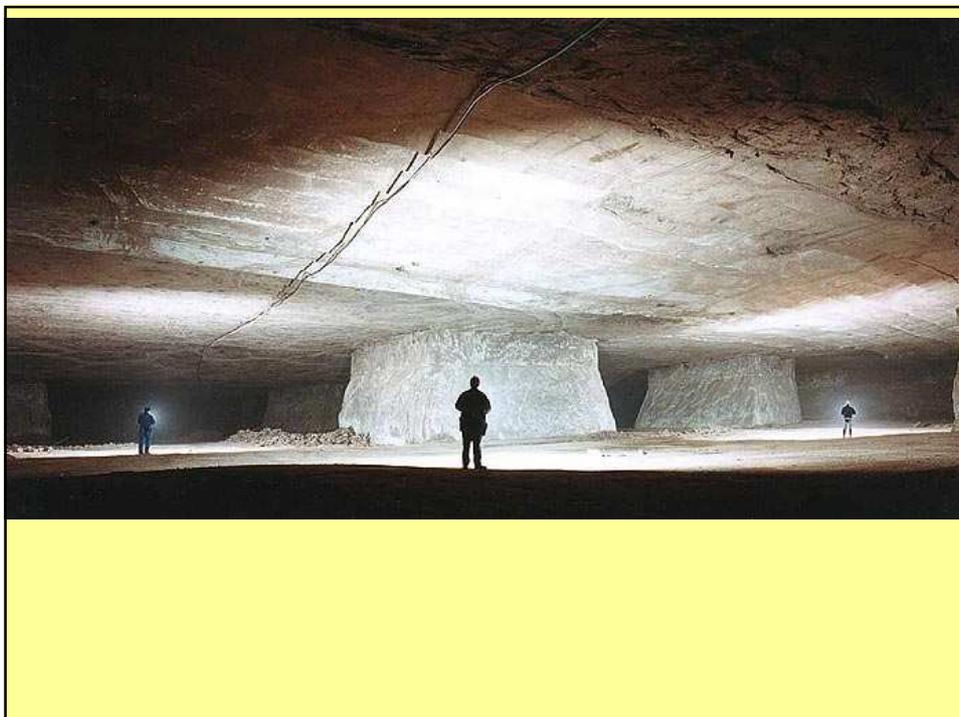
O minério é extraído como um realce aberto onde parte do minério é deixado para servir de sustentação das paredes.

Pilar e salão convencional: lavra da face plena ou lavra em diversas camadas.





Foto de um pilar fraturado em Taquari Vassouras

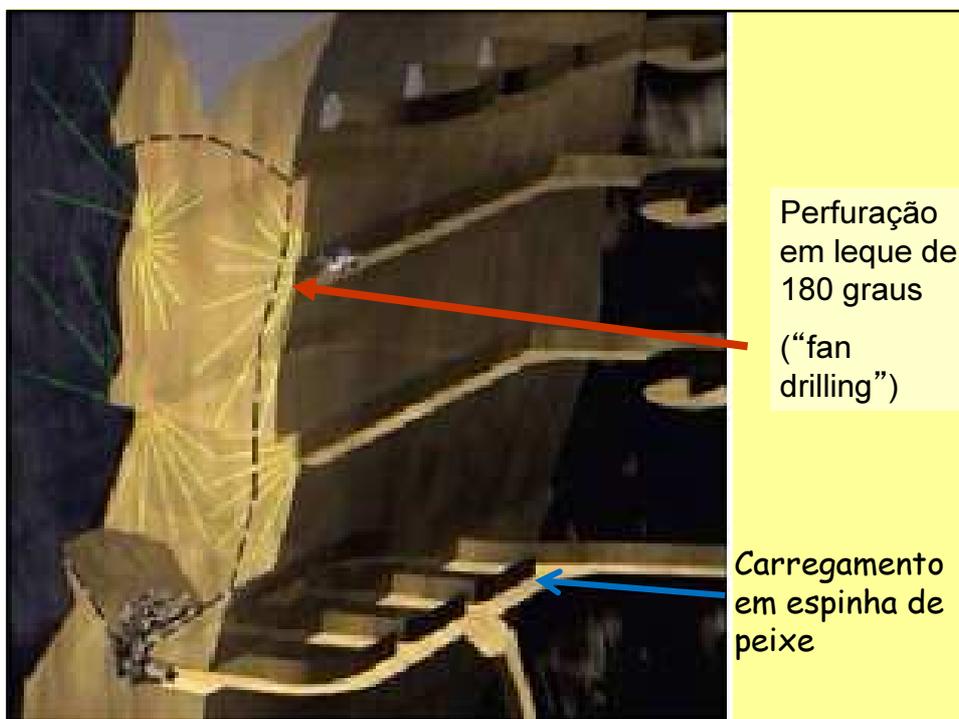
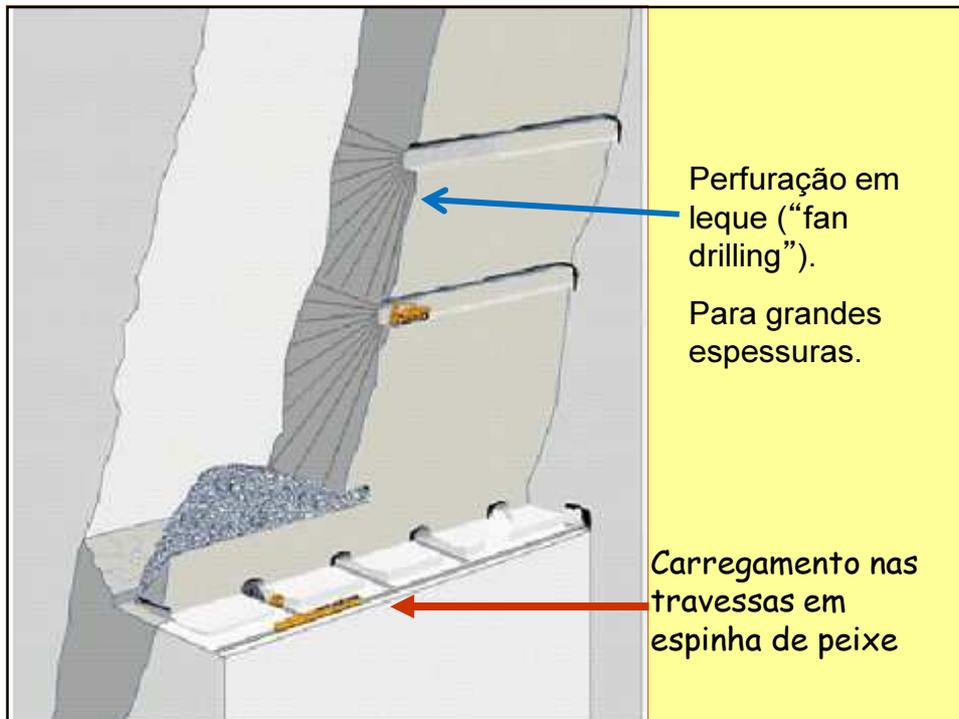




2 perfuratrizes de teto

### **SUBNÍVEIS E SUBNÍVEIS COM PERFURAÇÕES LONGAS**

O desmonte de minério a partir de subníveis, dividindo os painéis e blocos em unidades menores e de mais fácil acesso, foi muito utilizado em filões e camadas de forte mergulho. Porém, somente após o desenvolvimento de equipamentos de perfuração com capacidade para abertura de furos longos e bem orientados, esse método de lavra em realces abertos tomou-se eficiente e competitivo.



**Perfuração do leque ("LONG HOLE DRILLING")  
Para baixo**



**Perfuração do leque ("LONG HOLE DRILLING")  
Para cima**



**Perfuração do leque ("LONG HOLE DRILLING")  
Inclinada.**



**Perfuração em leque  
Inclinada.**

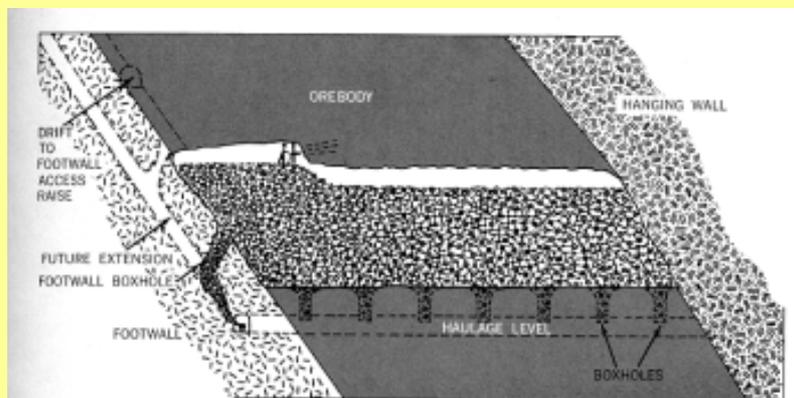


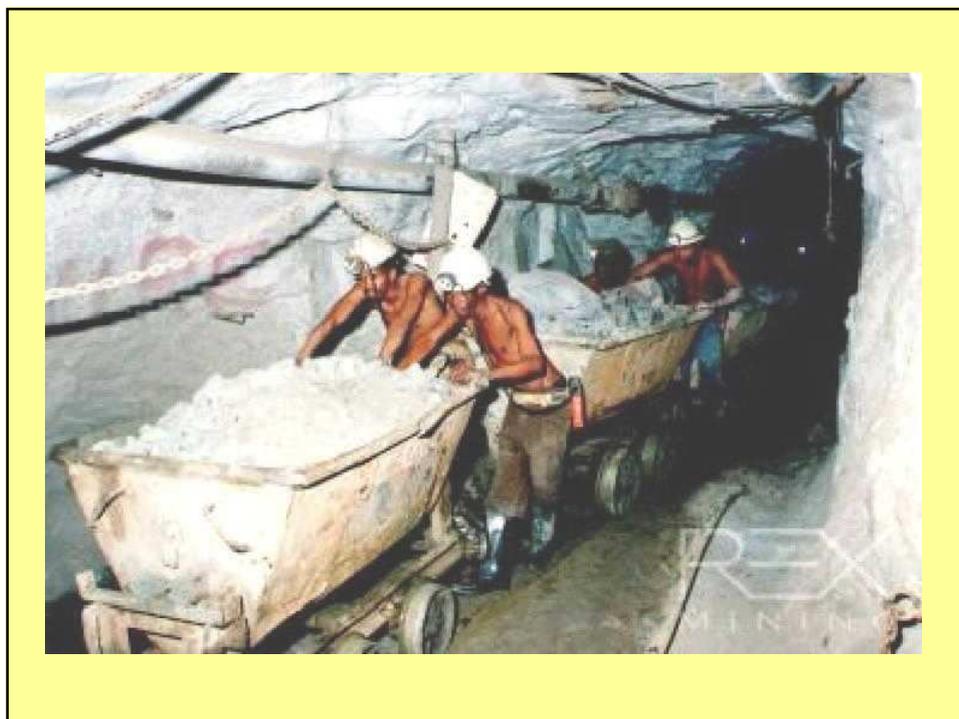
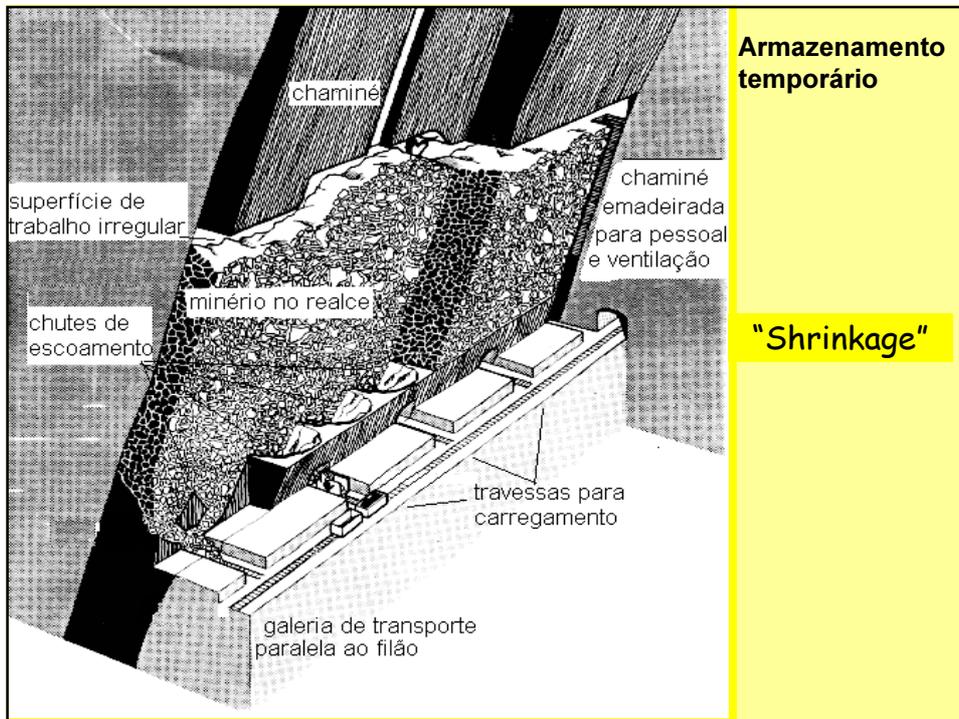
### Carregamento com LHD - "load, haul, dump"

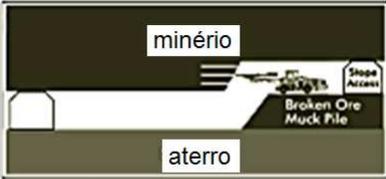


### Armazenamento temporário - Shrinkage

A designação "Armazenamento" decorre da prática de conservar-se, dentro do realce, durante o período de desmonte de todo minério de um bloco, um volume de minério desmontado igual ao volume "In situ", removendo-se apenas a porção correspondente ao empolamento que usualmente é da ordem de 40%. O minério desmontado serve como piso para perfuração e desmonte com explosivos e como suporte das encaixantes até que seja drenado do realce.







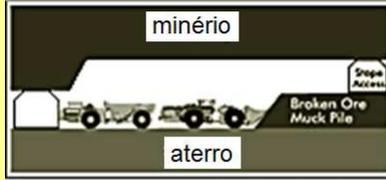
minério

aterro

perfuração e desmonte

## CORTE E ATERRO

O método por corte e aterro é, depois dos métodos em que se deixam os realces sem sustentação, a maneira mais intuitiva para lavra subterrânea de minérios. Trata-se de um procedimento simples, podendo ser adaptado à maioria das jazidas. Em sua versão mais simples, porções de minério são desmontadas do teto, na forma de bancadas invertidas, o minério é removido, o teto é saneado (retirada ou batida de chocos e se necessário aparafusamento) e, eventualmente, escorado e o espaço correspondente é preenchido por um material estéril.



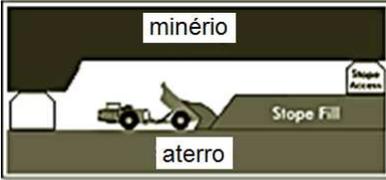
minério

aterro

carregamento do minério ("mucking out")

**Etapas:**

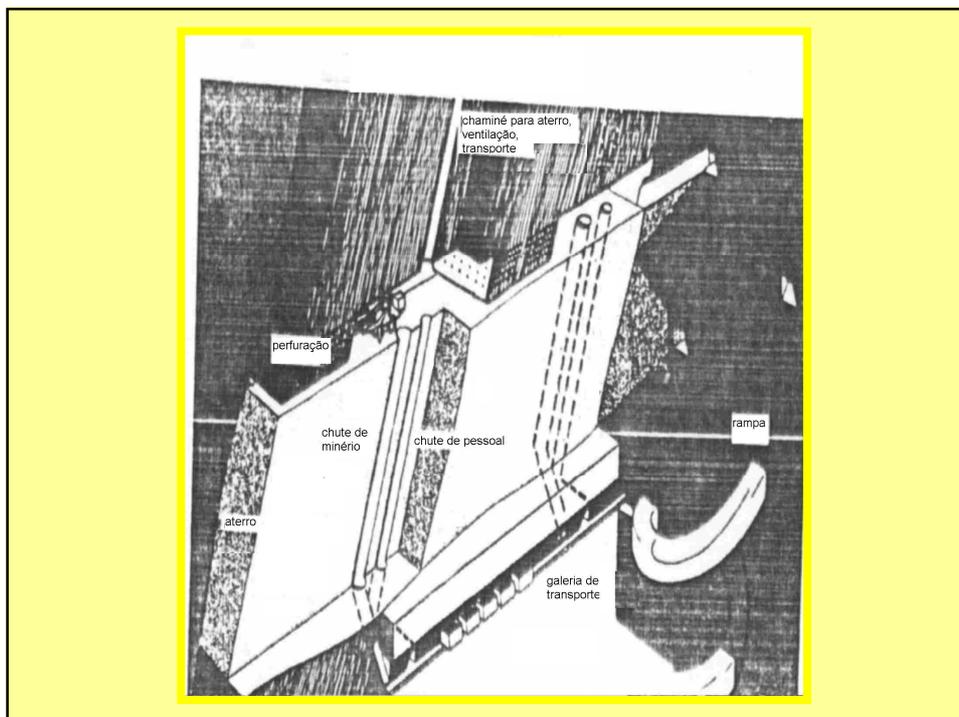
- Desmonte
- Carregamento do minério desmontado
- Colocação de aterro



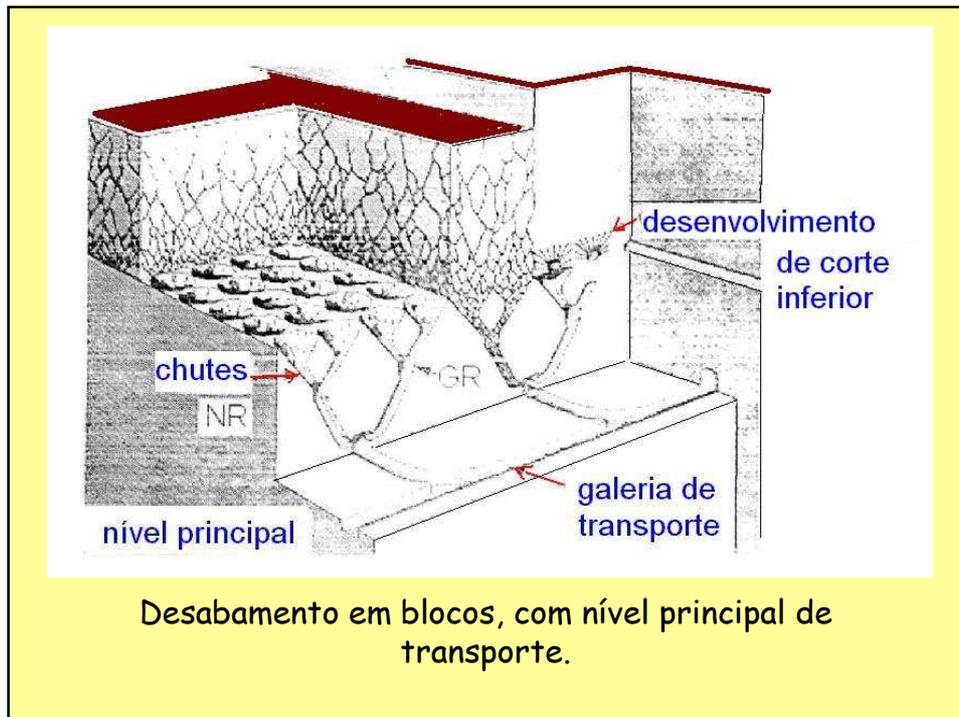
minério

aterro

preenchimento com aterro ("back filling")

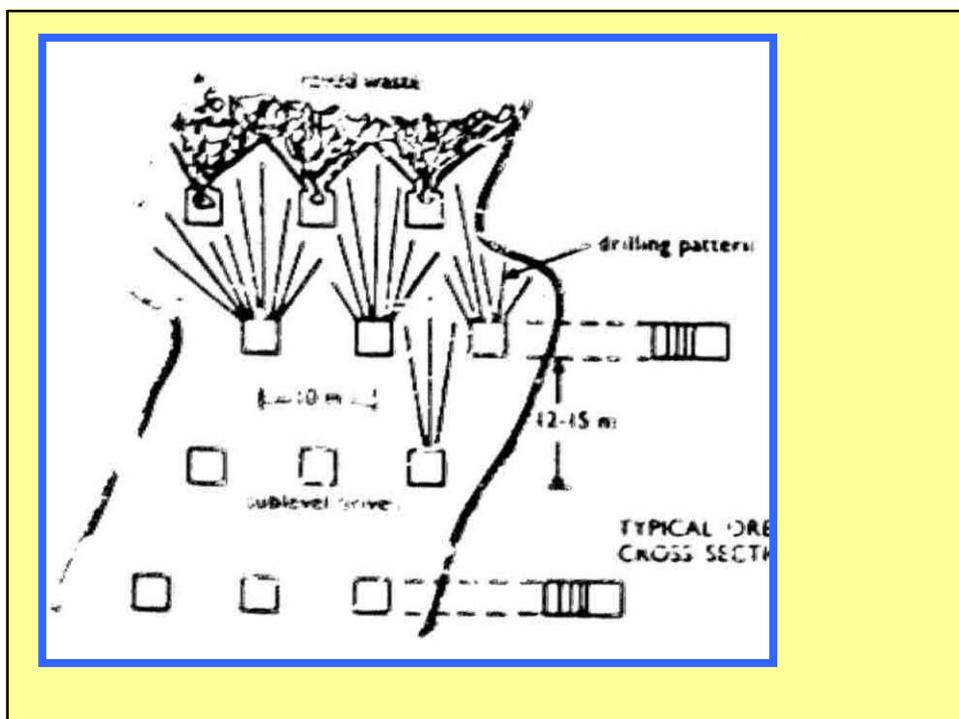
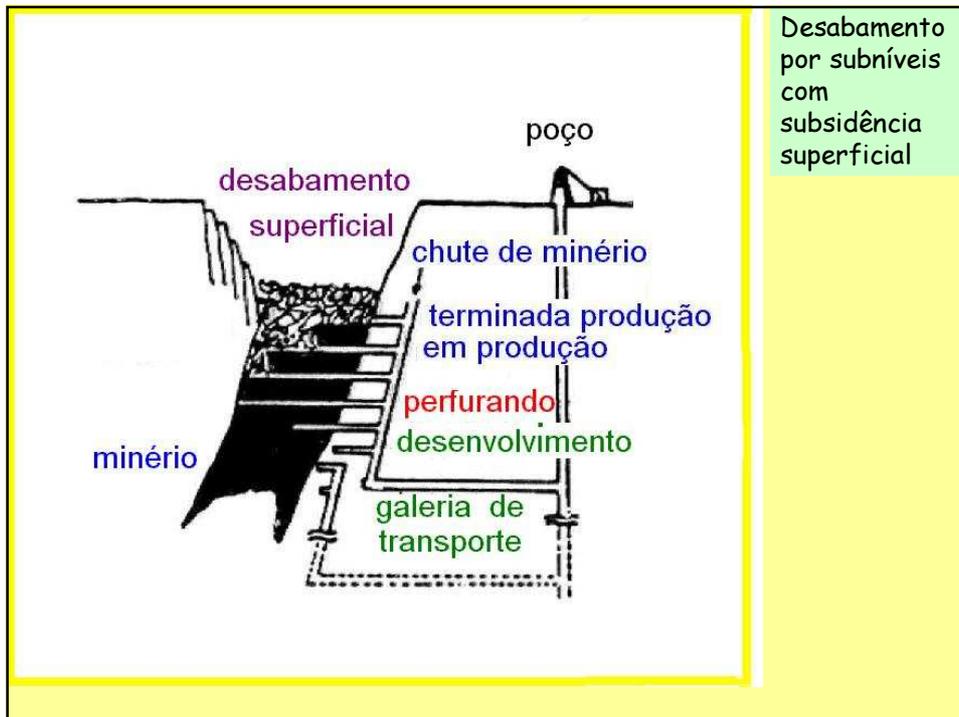


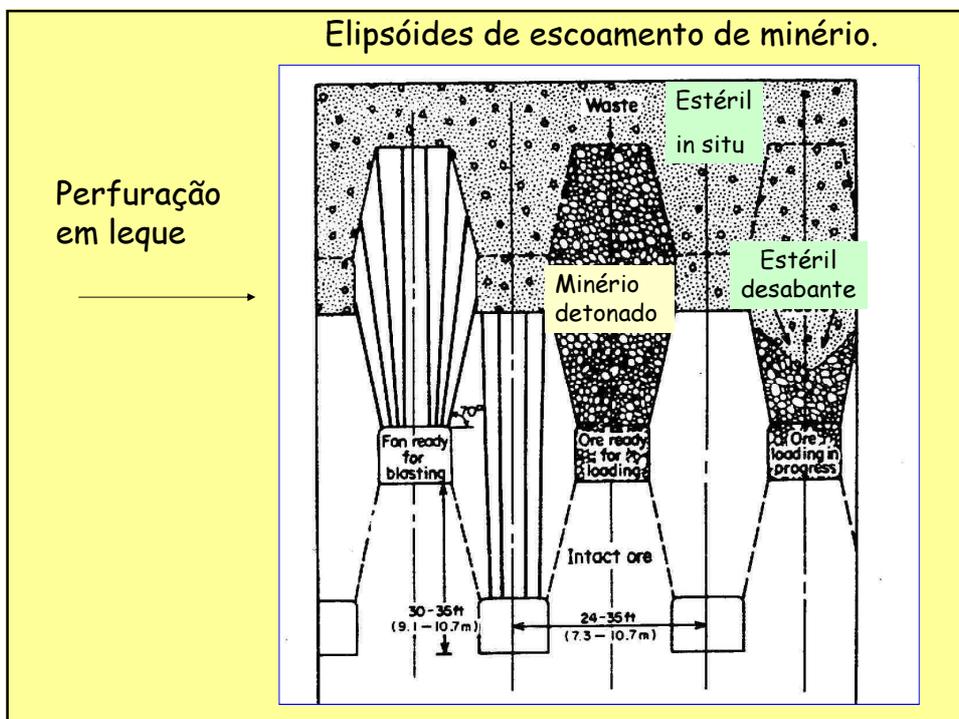
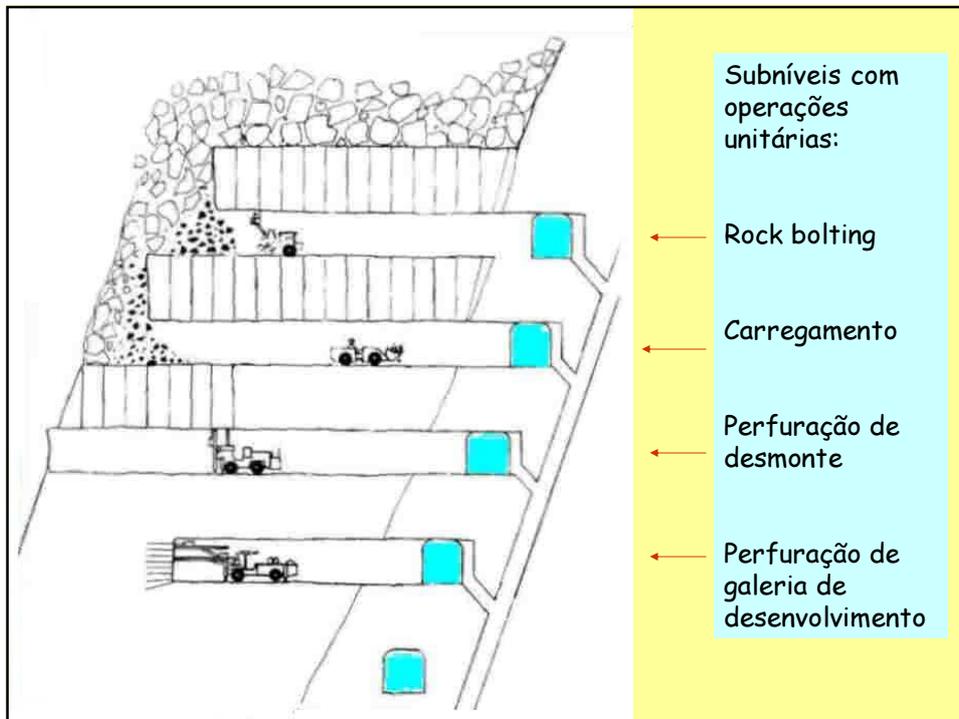


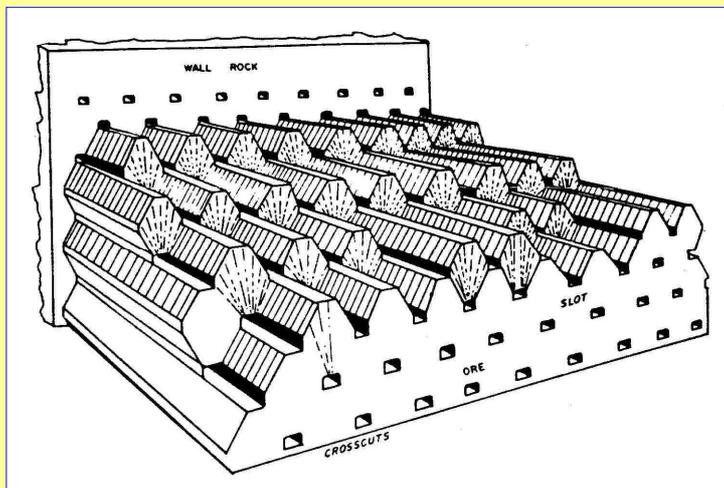


Desabamento em subníveis:

Uma detonação no minério para iniciar o processo de desabamento.







Desabamento por subníveis, com detonação parcial do minério e desabamento da capa, causando subsidência na superfície.

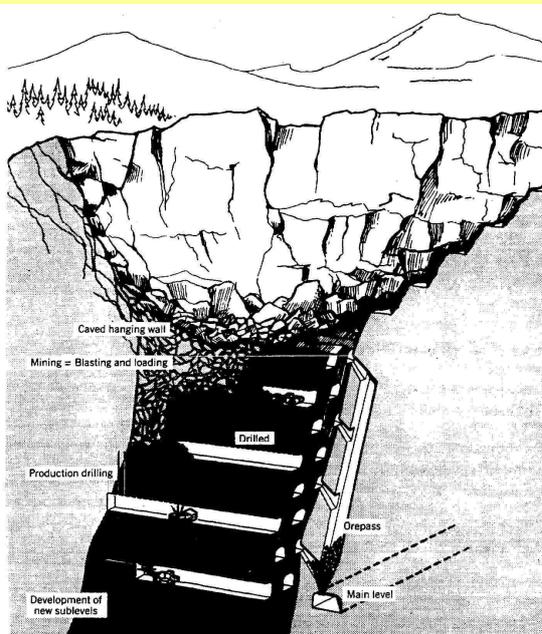
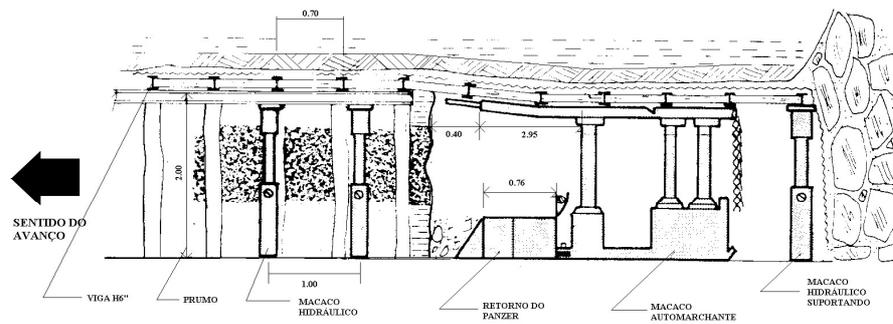


Figure 12.6. Sublevel cavity in a large, steeply dipping ore body. Different unit operations.

Subsidência superficial é causada por métodos por desabamento como frentes longas, por blocos, por subníveis, etc.

Figura ilustra subsidência causada pelo método de desabamento por subníveis.

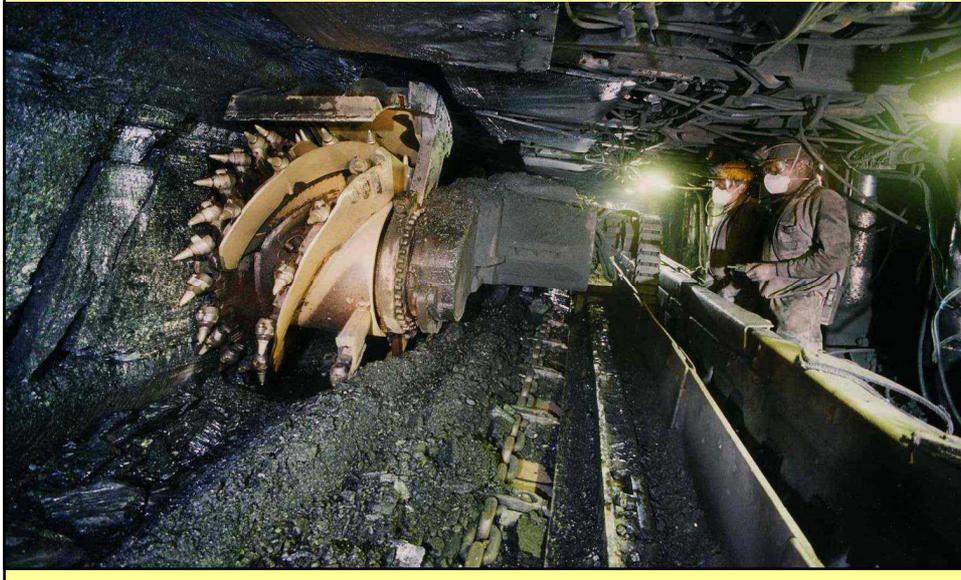
## FRENTES LONGAS (LONGWALL)



Minerador contínuo

Extração com máquina tipo fresa ("shearer")

Extração com máquina tipo fresa ("shearer")

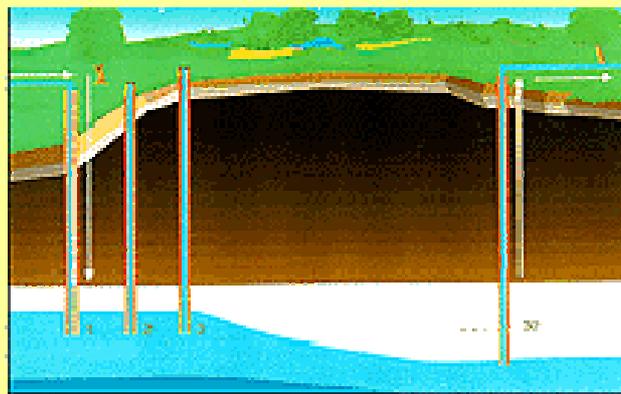


Tipos de máquinas: fresa ("shearer")

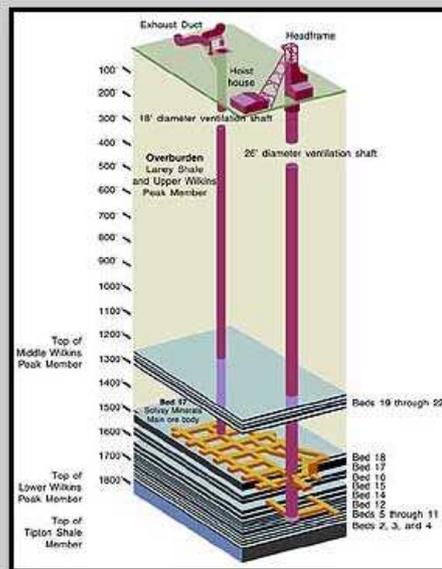




Métodos especiais: solution mining para sal



## Solution mining: trona no Wyoming



## PROVA P1

DATA: 17/04/17

HORÁRIO: 13:00 h

LOCAL: ANFITEATRO DO PMI