

TÉCNICO EM MINERAÇÃO



MÓDULO III
LAVRA A CÉU ABERTO E SUBTERRÂNEA



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA

SOBRE A INSTITUIÇÃO

- Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente
- Missão
- Visão
- Valores

SOBRE O CURSO

- Perfil profissional de conclusão e suas habilidades
- Quesitos fundamentais para atuação
- Campo de atuação
- Sugestões para Especialização Técnica
- Sugestões para Cursos de Graduação

SOBRE O MATERIAL

- Divisão do Conteúdo
- Boxes

BASE TEÓRICA

INTRODUÇÃO

DEFINIÇÕES E PRINCIPAIS CONCEITOS DA LAVRA

- Lavra
- Minério e Estéril
- Jazida
- Cava
- Galeria e Câmara
- Bancadas
- Teor de Corte
- Recuperação

COMPARAÇÃO ENTRE LAVRA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

- Lavra a céu aberto
- Lavra subterrânea
- Critérios para escolha do método
- Câmara e Pilar (Room and Pillar)
- Corte e Preenchimento (Cut and Fill)
- Subníveis Abatidos (Sublevel Stopping)
- Abatimento por Subníveis (Sublevel Caving)
- Abatimento por Blocos (Block Caving)

MÉTODOS DE LAVRA SUBTERRÂNEA

- **Câmara e Pilar (Room and Pillar)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Corte e Preenchimento (Cut and Fill)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Subníveis Abatidos (Sublevel Stopping)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Abatimento por Subníveis (Sublevel Caving)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Abatimento por Blocos (Block Caving)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens

MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO

- **Bancadas Múltiplas (Open Pit)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Lavra em Tiras (Strip Mining)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Lavra por Contorno (Contour Mining)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Lavra por Aluvião (Placer Mining)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens
- **Lavra por Solução (Solution Mining)**
 - Características principais
 - Vantagens
 - Desvantagens

PLANEJAMENTO DAS OPERAÇÕES DE LAVRA

- Etapas do planejamento de lavra
- Curvas de produção e vida útil da mina
- Integração com o beneficiamento e o transporte

ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS: ESTABILIZAÇÃO E CONTROLE

- Tipos de escavações subterrâneas
- Técnicas de estabilização e suporte
 - Escoramentos
 - Reforços estruturais
 - Medidas complementares
- Monitoramento e inspeção

ESCAVAÇÕES A CÉU ABERTO: CORTE PIONEIRO E GEOMETRIA DAS BANCADAS

- Corte pioneiro
- Geometria das bancadas
 - Altura da bancada
 - Largura da bancada
 - Ângulo do talude
- Interação entre geometria e segurança

PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA LAVRA

- Equipamentos de perfuração
 - Tipos principais
 - Equipamentos de desmonte
 - Itens associados
- Equipamentos de carregamento
 - Tipos principais
- Equipamentos de transporte
 - Tipos principais
- Equipamentos auxiliares

MANUTENÇÃO, LUBRIFICAÇÃO E REPOSIÇÃO DE PEÇAS

- Manutenção preventiva e corretiva
 - Manutenção preventiva
 - Manutenção corretiva
- Lubrificação de equipamentos
 - Tipos de lubrificantes
 - Rotinas de lubrificação
- Reposição de peças
 - Tipos de peças críticas
 - Planejamento de reposição

USO DE VEÍCULOS NA MINERAÇÃO

- Veículos de transporte de carga
 - Principais tipos
- Veículos de apoio e manutenção
 - Principais tipos
- Cuidados operacionais e segurança

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO

SÍNTESE DIRETA

MOMENTO QUIZ

GABARITO DO QUIZ
REFERÊNCIAS

Módulo III

LAVRA A CÉU ABERTO E SUBTERRÂNEA

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM MINERAÇÃO pertence ao Eixo Tecnológico de RECURSOS NATURAIS.

Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM MINERAÇÃO relacionadas ao **perfil profissional de conclusão e suas habilidades**, **quesitos fundamentais para atuação**, **campo de atuação** e, também, algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por **Especializações Técnicas** e/ou **Cursos de Graduação**.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Realizar atividades de prospecção, avaliação técnica e econômica, planejamento, extração e produção referentes aos recursos naturais.
- Prestar assistência técnica e assessoria ao estudo e ao desenvolvimento de projetos e pesquisas tecnológicas, ou aos trabalhos de vistoria, perícia, arbitramento e consultoria.
- Elaborar orçamentos, laudos, pareceres, relatórios e projetos, inclusive de incorporação de novas tecnologias.
- Realizar levantamento topográfico, sensoriamento remoto e geoprocessamento, conforme sua formação profissional.
- Auxiliar na caracterização de minérios sob os aspectos físico-químico, mineralógico e granulométrico.
- Executar projetos de desmonte, transporte e carregamento de minérios.
- Monitorar a estabilidade de rochas em minas subterrâneas e a céu aberto.
- Auxiliar no mapeamento geológico e amostragem em superfície e subsolo.
- Supervisionar, coordenar e operar equipamentos de fragmentação, de separação mineral, separação sólido/líquido, hidrometalúrgicos e de secagem.
- Supervisionar, coordenar e operar equipamentos de extração mineral, sondagem, perfuração, amostragem e transporte.
- Orientar e coordenar a execução de serviços de manutenção de equipamentos.
- Prestar assistência técnica na compra, venda e utilização de equipamentos especializados.

Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados aos recursos minerais e à proteção ambiental.

- Atualização em relação às inovações tecnológicas.
- Cooperação de forma construtiva e colaborativa nos trabalhos em equipe e tomada de decisões.
- Adoção de senso investigativo, visão sistêmica das atividades e processos, capacidade de comunicação e argumentação, autonomia, proatividade, liderança, respeito às diversidades nos grupos de trabalho, resiliência frente aos problemas, organização, responsabilidade, visão crítica, humanística, ética e consciência em relação ao impacto de sua atuação profissional na sociedade e no ambiente.

Campo de atuação

- Empresas públicas e privadas que atuam no desenvolvimento de soluções tecnológicas para exploração de recursos minerais.
- Instituições de assistência técnica, pesquisa, análise e experimentação.
- Empresas de consultoria.
- Empresas de mineração e de petróleo.
- Empresas de equipamentos de mineração.
- Centros de pesquisa em mineração.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em Mineralogia e Petrografia.
- Especialização Técnica em Caracterização Mineralógica.
- Especialização Técnica em Beneficiamento de Rochas Ornamentais.
- Especialização Técnica em Gestão Operacional de Produção com Enfoque na Mineração.
- Especialização Técnica em Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.
- Especialização Técnica em Pesquisa Mineral.
- Especialização Técnica em Topografia de Mineração.
- Especialização Técnica em Tratamento de Minérios.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura.
- Curso Superior de Tecnologia em Estradas.
- Curso Superior de Tecnologia em Beneficiamento de Minérios.
- Curso Superior de Tecnologia em Exploração de Recursos Minerais.
- Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.
- Curso Superior de Tecnologia em Mineração.
- Curso Superior de Tecnologia em Petróleo e Gás.
- Curso Superior de Tecnologia em Produção Joalheira.
- Curso Superior de Tecnologia em Rochas Ornamentais.
- Bacharelado em Agrimensura.
- Bacharelado em Engenharia de Minas.
- Bacharelado em Engenharia Geológica.
- Bacharelado em Geologia.
- Licenciatura em Química.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, afim de proporcionar subsídios suficientes a todos, no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.

3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

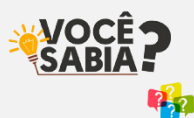
- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

- **VOCÊ SABIA?**



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

- **PAUSA PARA REFLETIR...**



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

- **SE LIGA NA CHARADA!**



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

Base Teórica

INTRODUÇÃO

A lavra mineral representa a etapa em que os depósitos identificados e avaliados nas fases de prospecção e pesquisa passam a ser explorados economicamente. É, portanto, o momento em que o recurso geológico se transforma em bem mineral aproveitável, por meio da extração física do material da crosta terrestre. Essa atividade deve ser planejada com precisão técnica, observando aspectos econômicos, operacionais, ambientais e de segurança.

As formas de lavra são divididas, de maneira geral, em dois grandes grupos: lavra a céu aberto e lavra subterrânea. A escolha entre um ou outro método depende principalmente da geometria e profundidade do depósito, das características do terreno, do teor do minério, da tecnologia disponível e dos custos operacionais envolvidos.

A lavra a céu aberto é realizada em superfície, por meio da remoção sucessiva de camadas do solo e da rocha para expor o minério. É amplamente utilizada devido à sua simplicidade operacional e baixo custo por tonelada, especialmente quando os corpos minerais estão próximos da superfície.

Já a lavra subterrânea ocorre em profundidade, por meio da escavação de galerias, túneis e câmaras que dão acesso ao corpo mineral. Embora apresente maiores custos e complexidade técnica, é a solução viável quando o depósito se encontra em níveis profundos ou sob áreas com restrições superficiais, como florestas, áreas urbanas ou corpos d'água.

Ambos os tipos de lavra demandam planejamento rigoroso, domínio técnico das operações, conhecimento geológico detalhado e um olhar atento à segurança dos trabalhadores e à conservação ambiental. A mineração moderna busca integrar essas práticas de forma eficiente, segura e responsável, adotando tecnologias cada vez mais avançadas e métodos sustentáveis de extração.

DEFINIÇÕES E PRINCIPAIS CONCEITOS DA LAVRA

Antes de se aprofundar nos métodos de lavra, é fundamental compreender os conceitos que formam a base técnica da mineração. Esses termos descrevem os elementos operacionais e geológicos envolvidos na extração mineral e são essenciais para o entendimento de como se estrutura um empreendimento minerário.

Lavra

A lavra corresponde ao conjunto de operações destinadas à extração ordenada de substâncias minerais da crosta terrestre, com o objetivo de aproveitamento econômico. Essa atividade abrange desde a retirada do estéril, que cobre o minério, até o transporte do material útil para processamento. É uma fase crítica da mineração, pois exige controle técnico, viabilidade econômica e respeito às normas ambientais e de segurança.

Minério e Estéril

Considera-se minério toda concentração natural de um ou mais minerais que possuam valor econômico e cujas condições técnicas e econômicas tornem viável sua exploração. A viabilidade está relacionada ao teor do mineral, à profundidade do corpo mineral e aos custos de lavra e beneficiamento. Por outro lado, denomina-se estéril o material que deve ser removido para expor o minério, mas que não apresenta valor comercial imediato, embora, em alguns casos, possa ter uso secundário em obras civis ou paisagismo.

Jazida

A jazida mineral é a configuração geológica que contém o depósito com características apropriadas para exploração econômica. Ela difere de uma simples ocorrência mineral por apresentar volume suficiente, continuidade espacial e qualidade técnica que sustentem um projeto de lavra. Jazidas podem ser superficiais, quando estão próximas à superfície do terreno, ou subterrâneas, quando se localizam em profundidades que tornam inviável a retirada do material pela superfície.

Cava

A cava é a estrutura escavada durante a lavra a céu aberto. Ela se forma pela retirada sucessiva de material do solo e das rochas, revelando a estrutura interna do depósito mineral. Sua geometria é planejada de modo a permitir segurança operacional, otimização da extração e controle da estabilidade do terreno. Rampas, degraus e taludes fazem parte da estrutura funcional da cava.

Galeria e Câmara

No contexto da lavra subterrânea, a galeria é um túnel horizontal ou levemente inclinado escavado no maciço rochoso para dar acesso ao corpo de minério. É por meio dela que circulam os trabalhadores, os equipamentos e o minério extraído. Já a câmara é o espaço escavado ao redor ou dentro do corpo mineral, onde a lavra propriamente dita ocorre. A depender do método empregado, a câmara pode ser sustentada por pilares de rocha, escoramentos artificiais ou mesmo ser projetada para colapsar de forma controlada, como nos métodos por abatimento.

Bancadas

As bancadas são os degraus horizontais característicos das minas a céu aberto. Elas são projetadas com base em parâmetros como altura, largura e inclinação dos taludes, buscando garantir a estabilidade geomecânica e permitir o acesso seguro aos diferentes níveis da cava. A altura da bancada está relacionada à capacidade dos equipamentos de escavação, enquanto a largura deve permitir a operação segura de caminhões e máquinas pesadas. Além disso, a inclinação do conjunto de taludes influencia diretamente no fator de segurança da cava e é definida com base em estudos geotécnicos específicos. A drenagem e o escoamento das águas pluviais também são considerados no planejamento das bancadas, evitando erosões e instabilidade.

Teor de Corte

O teor de corte é definido como o valor mínimo de concentração do mineral útil que justifica sua extração econômica. Abaixo desse valor, o material é considerado estéril, pois os custos de lavra e beneficiamento superariam o valor comercial obtido. A definição do teor de corte leva em conta fatores como o preço de mercado do minério, os custos operacionais do projeto, o rendimento dos processos de beneficiamento e a disponibilidade de tecnologia adequada. Em determinadas situações, pode-se adotar teores marginais, que são economicamente viáveis apenas sob certas condições, como em momentos de alta no mercado ou com incentivos logísticos.

Recuperação

O conceito de recuperação em mineração pode se referir tanto ao aspecto metalúrgico quanto ao ambiental. A recuperação metalúrgica é a proporção do minério extraído que é efetivamente recuperada no processo de beneficiamento, expressa em porcentagem. Já a recuperação ambiental refere-se ao conjunto de medidas adotadas após a lavra para restaurar a paisagem, estabilizar o solo, reconstituir a vegetação e minimizar os impactos ambientais gerados pela atividade extrativa. Ambas as formas de recuperação são fundamentais para a sustentabilidade e eficiência do empreendimento minerário.

Com os conceitos bem compreendidos, é possível avançar com segurança para a análise das técnicas e métodos aplicados na lavra, compreendendo como cada escolha está vinculada à geologia, à economia e à viabilidade operacional.



VOCÊ SABIA?

O maior caminhão de mineração do mundo

O BelAZ 75710, fabricado na Bielorrússia, possui capacidade de carga de 450 toneladas e comprimento superior a um ônibus articulado. Ele é usado em lavras de grandes volumes, como em minas de carvão e ferro.

COMPARAÇÃO ENTRE LAVRA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

A definição do método de lavra é uma decisão estratégica no projeto de uma mina, pois impacta diretamente os custos, a produtividade, a segurança das operações e os efeitos ambientais. Os dois métodos mais amplamente utilizados na mineração — lavra superficial (ou a céu aberto) e lavra subterrânea — diferem em diversos aspectos técnicos e econômicos. A escolha entre eles deve considerar características do depósito mineral, condições do terreno, profundidade da jazida e viabilidade geral do projeto.

Lavra a céu aberto

A lavra a céu aberto é utilizada quando o corpo de minério se encontra próximo à superfície e a remoção do material estéril é economicamente viável. Esse método consiste na escavação progressiva de camadas superficiais do terreno até que o minério seja exposto e retirado.

Entre as principais vantagens desse método estão:

- Menor custo por tonelada extraída, devido à simplicidade das operações e à facilidade de acesso;
- Operações mecanizadas de grande escala, com o uso de equipamentos de alta produtividade;
- Monitoramento visual direto da lavra, o que favorece o controle da qualidade e da segurança.

Contudo, a lavra a céu aberto também apresenta limitações:

- Impacto ambiental mais evidente, com alteração significativa da paisagem, remoção de vegetação e geração de grandes volumes de estéril;
- Limitação de profundidade, uma vez que cavas muito profundas tornam-se economicamente inviáveis devido ao aumento do volume de estéril e à complexidade da estabilidade geotécnica.

Lavra subterrânea

A lavra subterrânea é indicada para depósitos localizados em grandes profundidades ou em áreas onde o acesso superficial está restrito por razões ambientais, urbanas ou geográficas. Nesse método, a extração do minério ocorre através de galerias, poços e câmaras escavadas no subsolo.

Entre suas vantagens estão:

- Menor impacto visual e paisagístico, pois a maior parte da atividade ocorre sob a superfície;
- Possibilidade de exploração seletiva, com redução de perdas e diluições;

- Preservação de áreas superficiais sensíveis, como reservas naturais ou zonas urbanas.

Por outro lado, os principais desafios da lavra subterrânea são:

- Maior custo operacional, devido à necessidade de infraestrutura complexa, como ventilação, bombeamento de água, escoramento e transporte vertical;
- Condições de segurança mais rigorosas, com riscos associados ao colapso de galerias, gases, temperaturas elevadas e confinamento;
- Menor produtividade em comparação com a lavra a céu aberto, especialmente em depósitos de grande volume.

CrITÉRIOS para escolha do método

A decisão entre lavra superficial ou subterrânea não é arbitrária. Ela envolve a análise conjunta de diversos fatores técnicos e econômicos, entre eles:

- Profundidade do corpo de minério: corpos rasos favorecem a lavra a céu aberto, enquanto corpos profundos indicam lavra subterrânea.
- Geometria do depósito: depósitos tabulares e extensos são mais apropriados para lavra a céu aberto; corpos subverticais e limitados favorecem métodos subterrâneos.
- Relação estéril/minério: uma relação elevada pode inviabilizar a lavra superficial.
- Impacto ambiental permitido: áreas ambientalmente sensíveis podem restringir a lavra a céu aberto.
- Valor do minério: minérios de alto valor específico (como ouro e diamante) tendem a justificar a lavra subterrânea, mesmo com custos maiores.

A comparação entre lavra superficial e subterrânea revela que não existe um método universalmente superior: a escolha ideal é sempre aquela que alinha viabilidade técnica, segurança operacional, rentabilidade econômica e responsabilidade socioambiental.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Por que a escavadeira terminou com o caminhão fora da estrada?

RESPOSTA:

Porque ele só queria sair com carga pesada.

MÉTODOS DE LAVRA SUBTERRÂNEA

A lavra subterrânea é recomendada para depósitos profundos ou localizados sob áreas de difícil acesso superficial. Requer planejamento complexo, maior investimento e cuidados rigorosos com segurança. A seguir, são apresentados os principais métodos utilizados na mineração subterrânea, com suas características, aplicações e limitações.

Câmara e Pilar (Room and Pillar)

Método aplicado em jazidas planas ou com pequena inclinação, como as de carvão e sal-gema.

Características principais

O minério é escavado em câmaras horizontais, enquanto pilares de minério são deixados estrategicamente no local para sustentar o teto. A geometria e espaçamento dos pilares são determinados por critérios geotécnicos, garantindo ventilação e estabilidade.

Vantagens

Destaca-se pela simplicidade, baixo custo inicial e boa ventilação natural. É eficiente em grandes áreas com profundidade rasa.

Desvantagens

Apresenta recuperação limitada do minério, já que parte dele permanece nos pilares. Com o tempo, esses pilares podem deformar e comprometer a estabilidade da lavra.

Corte e Preenchimento (Cut and Fill)

Indicado para depósitos de alto valor com forma irregular e encaixantes instáveis.

Características principais

O minério é lavrado em fatias horizontais sucessivas, e o espaço vazio é preenchido com material estéril ou pasta de rejeitos. Esse preenchimento permite suporte estrutural contínuo para o avanço da lavra.

Vantagens

Permite alta seletividade, ótimo controle de diluição e elevada recuperação do minério. É seguro e adaptável a geometrias complexas.

Desvantagens

Possui custo elevado, menor produtividade e requer transporte adicional de materiais para preenchimento, além de intensa supervisão técnica.

Subníveis Abatidos (Sublevel Stopping)

Aplicado em corpos subverticais com rocha encaixante competente.

Características principais

Consiste na criação de subníveis ao longo do corpo mineral. A extração ocorre por perfuração e desmonte, com o minério caindo por gravidade para ser recolhido em galerias inferiores.

Vantagens

Apresenta elevada produtividade, eficiência no transporte e bom aproveitamento do minério em corpos com geometria regular.

Desvantagens

Exige precisão na execução das perfurações e desmontes. Pode apresentar perdas se houver falhas estruturais ou planejamento inadequado.

Abatimento por Subníveis (Sublevel Caving)

Método indicado para grandes volumes em rochas fraturadas.

Características principais

O minério é desmontado em subníveis e sofre colapso natural, sendo recolhido por galerias inferiores. A lavra é contínua e o abatimento ocorre gradualmente com o avanço da extração.

Vantagens

Permite alta produção e aplicação em profundidades significativas, reduzindo custos operacionais em grandes minas.

Desvantagens

Apresenta controle limitado de diluição, com risco de mistura de estéril ao minério. Requer controle rigoroso da estabilidade e do avanço da lavra.

Abatimento por Blocos (Block Caving)

Método de alta escala e produtividade, ideal para grandes jazidas profundas.

Características principais

Baseia-se na preparação e fraturamento de um bloco de minério, que colapsa por gravidade. O minério fragmentado é extraído por chutes localizados em níveis inferiores à lavra.

Vantagens

Alta produtividade, baixo custo por tonelada em longo prazo e possibilidade de automação e lavra contínua.

Desvantagens

Necessita de grande investimento inicial e infraestrutura extensa. A flexibilidade operacional é reduzida após o início da lavra, e o controle da diluição é desafiador.

Com os métodos subterrâneos apresentados, o profissional da mineração pode identificar qual sistema melhor se adapta ao depósito em estudo, equilibrando produtividade, segurança e viabilidade técnica.



VOCÊ SABIA?

Mineradoras utilizam inteligência artificial para manutenção preditiva

Grandes minas já usam sensores integrados e IA para prever falhas em motores, detectar desgaste de pneus e calcular o momento ideal para substituição de peças, reduzindo em até 30% o tempo de parada.

MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO

A lavra a céu aberto é a forma mais comum de extração mineral em nível global, sendo amplamente utilizada em depósitos de superfície ou de pequena profundidade. Sua viabilidade está associada ao baixo custo operacional, à mecanização em larga escala e à

facilidade de acesso ao corpo de minério. A escolha do método adequado depende da geometria da jazida, da relação estéril/minério, da estabilidade do terreno e dos impactos ambientais previstos.

A seguir, são apresentados os métodos mais utilizados em lavra a céu aberto.

Bancadas Múltiplas (Open Pit)

Esse é o método mais tradicional e disseminado, utilizado na maioria das grandes minas de ferro, bauxita, fosfato e cobre.

Características principais

A lavra é realizada por escavações em degraus sucessivos denominados bancadas, que permitem o rebaixamento progressivo da cava. Cada bancada é projetada com altura, largura e inclinação adequadas à estabilidade e aos equipamentos utilizados. A cava evolui horizontalmente e em profundidade, de acordo com o plano de lavra e as reservas delimitadas.

Vantagens

Apresenta alta produtividade, simplicidade operacional e possibilidade de mecanização total. Permite fácil controle da diluição e visualização direta das frentes de lavra.

Desvantagens

Ocupa grandes áreas, com elevado impacto ambiental e paisagístico. O volume de estéril movimentado aumenta com a profundidade, tornando o método menos viável economicamente em jazidas muito profundas.

Lavra em Tiras (Strip Mining)

Método utilizado principalmente em jazidas horizontais e com pequena espessura, como carvão, argilas e fosfatos sedimentares.

Características principais

A lavra ocorre por remoção de longas faixas paralelas do solo e rochas que cobrem o minério. Após a extração do material útil, o estéril é devolvido à cava anterior (recomposição progressiva). É um método sequencial, com avanço lateral contínuo.

Vantagens

Facilita a recuperação ambiental ao permitir o preenchimento da cava anterior com o próprio estéril, reduzindo impactos paisagísticos. Possui baixos custos operacionais em jazidas planas e rasas.

Desvantagens

Não é aplicável a corpos minerais profundos ou inclinados. Requer grandes áreas planas e acessíveis, e sua eficiência está ligada à regularidade do depósito.

Lavra por Contorno (Contour Mining)

Esse método é aplicado em regiões montanhosas, sendo bastante usado na lavra de carvão em encostas.

Características principais

Consiste em seguir o contorno do corpo de minério ao longo das elevações, abrindo bancadas horizontais que acompanham a morfologia do terreno. A escavação é feita lateralmente, mantendo a integridade topográfica tanto quanto possível.

Vantagens

Permite o acesso ao minério em regiões inclinadas, minimizando a movimentação de estéril e reduzindo o volume de desmonte em áreas de relevo acidentado.

Desvantagens

A geometria irregular dificulta a mecanização plena. Há maior risco de instabilidade de taludes e escorregamentos, exigindo técnicas de drenagem e suporte específicas.

Lavra por Aluvião (Placer Mining)

Método empregado na extração de minerais pesados presentes em sedimentos soltos, como ouro, diamantes e cassiterita.

Características principais

A lavra se baseia na escavação de depósitos aluvionares formados por processos fluviais, onde os minerais se concentram por gravidade. São utilizados equipamentos como dragas, escavadeiras e bombas d'água para lavar e separar os grãos minerais de interesse.

Vantagens

Exige pouco desmonte de rocha, sendo aplicável em áreas com depósitos superficiais de alta concentração. Os custos iniciais são geralmente mais baixos.

Desvantagens

Apresenta forte dependência da presença de água e gera impactos significativos em cursos hídricos. A recuperação do ambiente após a lavra é complexa e exige planejamento específico.

Lavra por Solução (Solution Mining)

Trata-se de um método não convencional, empregado na extração de sais solúveis, como potássio e enxofre.

Características principais

Consiste na injeção de solventes (geralmente água quente) no subsolo, por meio de poços perfurados, para dissolver o minério. A solução gerada é bombeada de volta à superfície para tratamento e precipitação do mineral.

Vantagens

Minimiza a movimentação de solo e evita grandes escavações. Tem baixo impacto visual e reduz riscos operacionais, já que não há escavação direta.

Desvantagens

É restrito a minerais solúveis e exige controle rigoroso para evitar contaminação de aquíferos. Apresenta limitações geológicas específicas e alta dependência da permeabilidade das formações.

A escolha do método de lavra a céu aberto deve considerar as condições geológicas da jazida, a topografia, o valor do minério, os custos operacionais e os impactos ambientais esperados. Um bom projeto de lavra é aquele que equilibra produtividade com sustentabilidade e segurança operacional.

OBSERVAÇÕES:

Em minas de ferro a céu aberto, como Carajás (PA), o método de lavra em bancadas múltiplas permite produção superior a 100 milhões de toneladas/ano, sendo essencial o uso de caminhões fora de estrada e escavadeiras de grande porte.



PAUSA PARA REFLETIR...

"A mineração só é sustentável quando é bem planejada, segura e tecnicamente responsável."

Dirceu D'Alkmin Telles.

PLANEJAMENTO DAS OPERAÇÕES DE LAVRA

O planejamento da lavra é uma etapa fundamental para garantir o aproveitamento econômico da jazida, a segurança das operações e a sustentabilidade ambiental. Trata-se de um processo técnico que antecipa, organiza e dimensiona todas as atividades de extração mineral ao longo da vida útil da mina, com base em critérios geológicos, econômicos, geotécnicos, ambientais e legais.

O planejamento pode ser dividido em três níveis principais: longo, médio e curto prazo, sendo que cada um responde a diferentes demandas de tempo e detalhe. Independente do horizonte de tempo, o objetivo é sempre o mesmo: otimizar os recursos disponíveis para garantir o melhor aproveitamento possível do depósito mineral.

Etapas do planejamento de lavra

O planejamento de lavra envolve várias etapas interdependentes, que formam o arcabouço do projeto de mineração. Entre as principais, destacam-se:

- Modelagem geológica do depósito: com base em dados de sondagens, amostragem e geofísica, define-se a geometria do corpo de minério.
Estudo de viabilidade técnica e econômica: avalia a lucratividade do projeto, considerando custos de lavra, beneficiamento, transporte, mercado e questões legais.
- Definição do método de lavra: escolha entre lavra a céu aberto ou subterrânea, com base em critérios técnicos e econômicos.
- Dimensionamento da produção: estabelece a quantidade de minério a ser lavrada por período, com base na demanda e na capacidade de beneficiamento.
- Sequenciamento da lavra: determina a ordem e o ritmo de avanço da lavra, respeitando os limites de segurança e as restrições ambientais.
- Gestão de rejeitos e estéril: define a disposição dos materiais não aproveitáveis, com foco na estabilidade e no controle ambiental.
- Cronograma de atividades: organiza o tempo de execução das fases da lavra, prevendo prazos, recursos humanos e logísticos.

- Análise de riscos: identifica e antecipa eventuais falhas técnicas, geotécnicas ou ambientais que possam comprometer a operação.

Curvas de produção e vida útil da mina

O planejamento deve contemplar a vida útil da mina, ou seja, o tempo estimado para esgotamento das reservas exploráveis. Isso depende diretamente do volume disponível, da taxa de produção e da recuperação metalúrgica do processo.

A evolução da produção geralmente segue três fases:

- Ramp-up (subida de produção): período inicial de testes e ajustes até atingir a capacidade plena.
- Produção estável: fase de operação em regime, com controle de qualidade e eficiência.
- Declínio: ocorre com a redução do teor ou da acessibilidade do minério, exigindo reavaliação técnica ou encerramento.

Durante todo o ciclo, curvas de produção são traçadas para acompanhar o desempenho da lavra e tomar decisões estratégicas, como expansões ou mudanças de método.

Integração com o beneficiamento e o transporte

O planejamento da lavra deve estar totalmente integrado com as etapas de beneficiamento e logística de escoamento. Não basta apenas extrair o minério: ele deve ser entregue em condições adequadas para processamento, dentro dos limites de tempo e qualidade exigidos.

Alguns elementos importantes dessa integração:

- Teor de alimentação da planta: precisa ser estável para evitar perdas metalúrgicas;
- Granulometria do minério lavrado: deve atender às especificações dos britadores e moinhos;

- Capacidade de transporte: inclui caminhões, correias transportadoras ou ferrovias, dependendo da escala do projeto;
- Fluxo contínuo e sem gargalos: qualquer interrupção afeta toda a cadeia produtiva.

O planejamento de lavra não é uma atividade isolada, mas parte de um sistema dinâmico que envolve engenharia, geologia, economia e meio ambiente. Um bom plano de lavra é capaz de garantir rentabilidade ao empreendimento, segurança às operações e compromisso com a sustentabilidade.

ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS: ESTABILIZAÇÃO E CONTROLE

As escavações subterrâneas fazem parte essencial das operações de lavra mineral em profundidade. São responsáveis por viabilizar o acesso ao corpo de minério, possibilitar a ventilação, a circulação de trabalhadores e o transporte de materiais. Entretanto, por ocorrerem no interior do maciço rochoso, exigem atenção especial à estabilidade estrutural, uma vez que o desequilíbrio das tensões geológicas pode provocar desmoronamentos e acidentes graves.

A estabilização e o controle dessas escavações envolvem o emprego de soluções técnicas que garantem a integridade das estruturas escavadas, a segurança dos trabalhadores e a continuidade operacional. O sucesso dessa etapa depende da compreensão das características geomecânicas do terreno, da escolha do método de lavra e do dimensionamento adequado das obras de suporte e reforço.

Tipos de escavações subterrâneas

As escavações subterrâneas em mineração variam conforme a função e a posição dentro da mina. Cada uma delas requer planejamento técnico específico, com atenção à geometria, estabilidade e funcionalidade.

Entre as estruturas mais comuns estão:

- Galerias: túneis horizontais ou levemente inclinados que conectam diferentes áreas da mina. São utilizados para acesso ao corpo de minério, ventilação e transporte.

- Rampas: vias inclinadas construídas no interior da mina para ligar os diversos níveis de lavra, geralmente utilizadas por caminhões e equipamentos.
Poços verticais: estruturas escavadas verticalmente, com função de transporte de minério, circulação de pessoal ou ventilação forçada.
- Câmaras de lavra: espaços mais amplos escavados no interior do corpo mineral, onde ocorre a extração efetiva do minério. Podem ser temporárias ou permanentes, dependendo do método de lavra adotado.

Cada tipo de escavação apresenta riscos e exigências diferentes em relação à estabilidade e ao suporte, sendo imprescindível uma avaliação técnica precisa antes e durante sua execução.

Técnicas de estabilização e suporte

A escavação de rochas em profundidade altera o equilíbrio natural das tensões geológicas. Isso pode gerar desprendimentos, trincas e colapsos, colocando em risco a operação e a vida dos trabalhadores. Para evitar esses problemas, são adotadas técnicas de estabilização e suporte que envolvem desde estruturas temporárias até reforços permanentes do maciço.

Essas técnicas se dividem em três categorias principais: escoramentos, reforços estruturais e medidas complementares.

Escoramentos

Os escoramentos são estruturas de suporte instaladas de forma temporária ou permanente para evitar colapsos imediatos nas frentes de lavra, galerias e túneis. Eles são particularmente importantes nas primeiras fases da escavação ou em áreas onde a rocha apresenta baixa coesão.

Algumas soluções comumente aplicadas incluem:

- Escoramentos metálicos ou de madeira, utilizados em frentes de lavra ativas, por sua fácil instalação e baixo custo.
- Quadros de aço, empregados em túneis de geometria regular, oferecendo elevada resistência e durabilidade.
- Apoios expansíveis, que se ajustam a movimentações graduais do terreno, sendo indicados para formações geológicas instáveis ou sujeitas à deformação ao longo do tempo.

Os escoramentos são especialmente úteis para garantir segurança imediata até que outras medidas estruturais sejam implementadas.

Reforços estruturais

Enquanto os escoramentos fornecem suporte pontual e temporário, os reforços estruturais têm como objetivo integrar a estrutura rochosa, aumentando sua coerência interna e resistência ao longo prazo. Essas técnicas visam reconectar blocos fraturados e proteger as superfícies escavadas contra desagregação ou desgaste.

Entre os principais reforços, destacam-se:

- Chumbadores e tirantes, que são barras metálicas ancoradas em furos perfurados na rocha, com função de unir camadas instáveis e distribuir esforços.
- Malhas metálicas, instaladas sobre as paredes e tetos das escavações para conter fragmentos menores que poderiam se desprender.
- Concreto projetado (shotcrete), aplicado diretamente sobre as superfícies expostas, criando uma camada protetora que reforça a integridade da escavação.

Essas soluções são aplicadas de forma combinada, de acordo com as características do maciço e com o comportamento da escavação ao longo do tempo.

Medidas complementares

Além dos suportes estruturais e reforços diretos, há uma série de medidas complementares que desempenham papel fundamental na manutenção da estabilidade subterrânea. Elas atuam de forma indireta sobre os fatores que contribuem para instabilidades, como água, gases e vibrações.

Entre essas medidas, destacam-se:

- Drenagem subterrânea, essencial para reduzir a pressão da água acumulada e prevenir erosões internas e rupturas hidrostáticas.
- Ventilação forçada, que remove gases acumulados, reduz a umidade e conserva os materiais de suporte, além de proporcionar condições salubres aos trabalhadores.
- Controle de vibrações, obtido por meio do planejamento cuidadoso de desmontes com explosivos, evitando a geração de microfraturas que comprometam a estrutura das escavações.

A combinação eficaz dessas medidas auxiliares com os reforços principais proporciona um ambiente subterrâneo seguro, estável e funcional.

Monitoramento e inspeção

A estabilização de escavações não depende apenas da instalação de estruturas físicas, mas também do acompanhamento contínuo das condições geotécnicas da mina. O monitoramento permite identificar precocemente sinais de instabilidade e implementar ações corretivas antes que ocorram falhas estruturais.

As principais ferramentas de monitoramento incluem:

- Extensômetros, que detectam deslocamentos internos na rocha.
- Pinos de convergência, instalados para medir o fechamento gradual de túneis ou galerias.
- Sistemas de radar, laser e fotogrametria, que realizam varreduras precisas das superfícies escavadas em tempo real.
- Inspeções visuais periódicas, conduzidas por equipes geotécnicas especializadas, com base em mapas estruturais e relatórios de risco.

O uso integrado dessas ferramentas permite tomadas de decisão rápidas e eficientes, evitando acidentes e paradas não programadas na operação.

A escavação subterrânea é uma das atividades mais sensíveis da engenharia de minas. A segurança e a produtividade da lavra dependem diretamente da capacidade da equipe técnica de prever, prevenir e corrigir instabilidades, garantindo que cada estrutura funcione de forma segura e durável ao longo do tempo.

EXEMPLOS:

Em minas subterrâneas de ouro, como a mina Cuiabá (MG), o uso de concreto projetado (shotcrete) combinado com tirantes é padrão para reforçar galerias escavadas em rochas com fraturamento elevado.

**VOCÊ SABIA?****Minas subterrâneas podem ter mais de 3.000 km de galerias**

Algumas minas como El Teniente (Chile) possuem extensões subterrâneas maiores do que rodovias estaduais inteiras. A organização dessas galerias exige sistemas de mapeamento geológico e controle logístico digital em tempo real.

ESCAVAÇÕES A CÉU ABERTO: CORTE PIONEIRO E GEOMETRIA DAS BANCADAS

Nas operações de lavra a céu aberto, a escavação do terreno ocorre de forma progressiva, com a retirada sistemática de camadas de solo e rocha até que o corpo de minério seja completamente exposto. Esse processo requer planejamento rigoroso para garantir a segurança, a eficiência da lavra e a estabilidade geotécnica das encostas formadas.

Dois aspectos fundamentais da escavação superficial são o corte pioneiro, que marca o início físico da abertura da cava, e o dimensionamento das bancadas, que determina a geometria geral da mina e influencia diretamente sua viabilidade técnica e econômica.

Corte pioneiro

O corte pioneiro é a primeira escavação realizada para dar início à abertura da cava. Ele representa o acesso inicial ao depósito mineral e deve ser cuidadosamente planejado, pois condiciona o posicionamento das futuras bancadas, rampas e sistemas de drenagem. Essa etapa envolve:

- Limpeza da superfície e remoção da vegetação;
- Desmatamento e desmonte do solo superficial (quando necessário);
Definição de acessos provisórios para equipamentos de terraplenagem e perfuração;
- Execução da primeira frente de lavra, geralmente com o uso de escavadeiras hidráulicas e caminhões.

O corte pioneiro deve ser executado de forma a evitar taludes muito inclinados, erosões e instabilidades no terreno ainda não escavado. Além disso, essa operação deve respeitar as condicionantes ambientais da área, com sistemas de contenção de sedimentos e controle de águas pluviais.

Geometria das bancadas

A escavação em uma mina a céu aberto é organizada em bancadas, que são degraus horizontais escavados progressivamente. A geometria dessas bancadas — altura, largura e ângulo de inclinação — tem papel decisivo na estabilidade da cava, na facilidade de operação dos equipamentos e na eficiência da lavra.

A seguir, detalham-se os principais elementos da geometria das bancadas:

Altura da bancada

A altura da bancada é definida pela distância vertical entre dois patamares consecutivos. Esse valor é determinado com base em:

- Capacidade dos equipamentos de perfuração e desmonte;
- Tamanho e potência das escavadeiras e carregadeiras utilizadas;
- Características geotécnicas da rocha, como resistência à compressão e grau de fraturamento;
- Altura máxima recomendada para garantir estabilidade dos taludes.

Bancadas muito altas podem gerar instabilidades, enquanto bancadas muito baixas podem reduzir a produtividade da mina.

Largura da bancada

A largura da bancada é o espaço horizontal útil sobre cada degrau escavado. Essa medida deve garantir:

- Manobra segura de caminhões e equipamentos pesados;
- Preservação de áreas de escape e bermas de proteção;
- Distância adequada para absorção de quedas de blocos desprendidos dos taludes superiores.

Além disso, bancadas largas facilitam o controle operacional e reduzem o risco de acidentes.

Ângulo do talude

O ângulo do talude é o grau de inclinação da face da escavação. Sua definição depende de fatores como:

- Tipo de rocha e presença de fraturas;

- Altura acumulada dos degraus (talude global);
- Condições de drenagem e presença de água no maciço;
- Proximidade de estruturas, rios ou áreas protegidas.

Taludes muito inclinados aumentam o risco de escorregamentos, enquanto taludes mais suaves requerem maior movimentação de estéril, elevando o custo da lavra.

Interação entre geometria e segurança

A geometria das bancadas não deve ser pensada isoladamente, mas como parte de um sistema integrado de estabilidade da cava. A combinação entre altura, largura e ângulo de talude define o perfil geral da escavação e influencia diretamente:

- O volume total de estéril a ser movimentado (relação estéril/minério);
- A acessibilidade às frentes de lavra em diferentes níveis;
- O planejamento das vias de acesso e rampas internas;
- A eficácia do sistema de drenagem e controle de águas de chuva.

Por isso, o projeto geométrico da cava deve sempre ser baseado em modelos geotécnicos atualizados, simulações computacionais e normas de segurança operacionais, considerando fatores como eventos sísmicos, alterações climáticas e vibrações por explosivos.

A escavação em bancadas, quando bem planejada, permite uma operação segura, eficiente e economicamente viável, maximizando a recuperação do minério e reduzindo os impactos ambientais da atividade de mineração.

PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA LAVRA

A operação de lavra mineral, seja em minas a céu aberto ou subterrâneas, exige o uso de uma variedade de equipamentos mecânicos e eletromecânicos. Esses equipamentos são responsáveis por etapas como escavação, perfuração, carregamento, transporte e apoio às frentes de lavra. A seleção adequada desses recursos é essencial para garantir a eficiência da produção, a segurança operacional e o controle dos custos.

A seguir, são apresentados os principais tipos de equipamentos utilizados nas atividades de extração mineral, divididos conforme sua função principal no processo de lavra.

Equipamentos de perfuração

A perfuração é a etapa inicial para o desmonte de rochas. Ela consiste na criação de furos onde serão inseridos os explosivos, tanto em lavra a céu aberto quanto subterrânea.

Tipos principais

- Perfuratrizes rotativas: utilizadas em grandes minas a céu aberto para perfuração de furos largos e profundos.
- Perfuratrizes pneumáticas ou hidráulicas: mais comuns em minas subterrâneas e em frentes menores.
- Jumbos de perfuração: equipamentos móveis com múltiplos braços usados em lavra subterrânea para execução simultânea de vários furos.

OBSERVAÇÕES:

A produtividade das perfurações influencia diretamente o ritmo do desmonte e, por consequência, todo o ciclo de lavra. O uso de jumbos modernos permite maior precisão e segurança.

Equipamentos de desmonte

O desmonte de rochas, quando necessário, é feito geralmente por meio de explosivos industriais, cuja aplicação depende da correta perfuração e carregamento dos furos.

Itens associados

- Explosivos (ANFO, emulsões, dinamites);
- Iniciadores (espoletas, retardos, cordéis detonantes);

- Carregadores de explosivos: equipamentos específicos que automatizam o carregamento dos furos em minas subterrâneas.

Equipamentos de carregamento

Após o desmonte ou escavação, o material é carregado em caçambas para transporte até o local de beneficiamento ou deposição.

Tipos principais

- Pás carregadeiras e escavadeiras hidráulicas: aplicadas principalmente em lavra a céu aberto.
- Carregadeiras LHD (Load-Haul-Dump): específicas para ambientes subterrâneos, com perfil baixo e grande mobilidade.
- Retroescavadeiras: utilizadas em pequenas frentes e para apoio logístico.

Equipamentos de transporte

O transporte do minério e do estéril pode ser feito por diversos sistemas, que variam conforme o tipo de lavra, distância a ser percorrida e volume de material.

Tipos principais

- Caminhões fora de estrada: de grande porte e alta capacidade, são usados em lavras a céu aberto.
- Caminhões articulados: indicados para terrenos acidentados e rampas íngremes.
- Transportadores contínuos (correias transportadoras): usados em minas de grande produção com distâncias definidas.
- Vagões sobre trilhos e locomotivas: comuns em lavra subterrânea tradicional.
- Sistemas de teleférico ou mineroduto: empregados em condições especiais, como transporte entre mina e planta distantes.

Equipamentos auxiliares

Além dos equipamentos diretamente ligados à lavra, há uma série de máquinas e veículos auxiliares que garantem o suporte operacional da mina.

EXEMPLOS:

1. Motoniveladoras, tratores e caminhões-pipa: utilizados na manutenção de vias internas.
2. Compressores e geradores: fundamentais em ambientes subterrâneos.
3. Veículos de inspeção, ambulâncias e caminhões de apoio: asseguram o suporte à segurança e à logística interna.

OBSERVAÇÕES:

A eficiência da lavra depende também da qualidade da infraestrutura de apoio, que reduz paradas, melhora o fluxo interno e eleva os padrões de segurança.

O bom desempenho de uma operação mineral está diretamente relacionado à qualidade, compatibilidade e manutenção dos equipamentos utilizados. A seleção deve sempre considerar os aspectos técnicos da jazida, o tipo de lavra, o volume de produção e os recursos disponíveis para operação e manutenção.

MANUTENÇÃO, LUBRIFICAÇÃO E REPOSIÇÃO DE PEÇAS

A eficiência e a segurança das operações de lavra estão diretamente relacionadas à confiabilidade dos equipamentos utilizados. Em ambientes mineradores, as máquinas operam em condições severas: poeira, umidade, vibrações, cargas elevadas e uso contínuo. Por isso, a manutenção adequada, a lubrificação sistemática e a reposição de peças com critérios técnicos são essenciais para garantir produtividade, reduzir paradas não programadas e prolongar a vida útil dos ativos.

Manutenção preventiva e corretiva

A manutenção dos equipamentos pode ser classificada, principalmente, em dois tipos: preventiva e corretiva.

Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é programada com base em horas de uso, tempo de operação ou indicadores técnicos. Seu objetivo é evitar falhas antes que ocorram, atuando de forma proativa.

Entre as ações mais comuns, destacam-se:

- Trocas regulares de filtros e fluidos;
- Inspeções de componentes críticos (freios, eixos, correias);
- Ajustes e reapertos estruturais;
- Calibração de sistemas eletrônicos.

Essa abordagem permite prever o desgaste natural das peças, reduzindo falhas inesperadas e otimizando a disponibilidade dos equipamentos.

Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha, sendo necessária para restabelecer o funcionamento normal do equipamento. Apesar de inevitável em alguns casos, deve ser minimizada para evitar prejuízos à produção.

Suas principais desvantagens são:

- Paradas imprevistas que afetam o cronograma de lavra;
- Aumento dos custos com peças emergenciais e mão de obra especializada;
- Possibilidade de danos secundários em outros componentes.

O equilíbrio entre manutenção preventiva e corretiva é essencial para o planejamento técnico da mina.

Lubrificação de equipamentos

A lubrificação é uma etapa crítica na preservação dos componentes mecânicos dos equipamentos de lavra. Ela reduz o atrito, controla a temperatura e evita o desgaste precoce de partes móveis como engrenagens, rolamentos e pistões.

Tipos de lubrificantes

- Óleos lubrificantes minerais ou sintéticos, usados em motores, sistemas hidráulicos e transmissões;
- Graxas lubrificantes, aplicadas em rolamentos, articulações e pontos de difícil acesso;
Lubrificantes sólidos (como grafite), utilizados em condições extremas de pressão e temperatura.

Rotinas de lubrificação

As rotinas de lubrificação devem seguir:

- Especificações do fabricante;
- Horímetros dos equipamentos;
- Condições operacionais da mina (presença de poeira, temperatura ambiente, cargas).

Sistemas automatizados de lubrificação vêm sendo cada vez mais utilizados, especialmente em equipamentos de grande porte, permitindo aplicação contínua e precisa do lubrificante.

Reposição de peças

A substituição de peças desgastadas ou danificadas deve seguir critérios técnicos e ser feita com componentes originais ou compatíveis, garantindo o desempenho e a segurança dos equipamentos.

Tipos de peças críticas

- Sistemas de freio, direção e suspensão (essenciais para segurança);
- Componentes do motor e transmissão (que afetam diretamente o desempenho);
- Sistemas elétricos e eletrônicos de controle;
- Pneus e esteiras, em veículos de transporte e carregamento.

Planejamento de reposição

Para garantir a reposição eficiente, é necessário:

- Manter um estoque estratégico com peças de reposição de alta rotatividade;
- Monitorar o histórico de falhas e desgaste de cada equipamento;
- Utilizar softwares de gestão de manutenção (CMMS) que auxiliam na previsão e controle de substituições.

A gestão técnica da manutenção, lubrificação e reposição de peças garante a continuidade das operações com segurança, economia e eficiência operacional. Investir nesses processos é uma prática indispensável para o sucesso de qualquer empreendimento minerador.

OBSERVAÇÃO:

Equipamentos como caminhões de 240 toneladas operam 24h por dia. Sem uma rotina de lubrificação a cada 8 horas e manutenção preventiva semanal, sua taxa de falhas pode quadruplicar em menos de 30 dias.

USO DE VEÍCULOS NA MINERAÇÃO

Os veículos utilizados na mineração desempenham papéis fundamentais no transporte de materiais, movimentação de pessoal, suporte às frentes de lavra e manutenção da infraestrutura interna da mina. Por operarem em ambientes agressivos — com presença constante de poeira, umidade, desníveis e cargas elevadas — esses veículos exigem

projetos robustos, treinamento especializado dos operadores e protocolos rígidos de segurança.

A escolha do tipo de veículo e seu dimensionamento depende das características da mina (céu aberto ou subterrânea), da distância de transporte e da quantidade de material a ser movimentado.

Veículos de transporte de carga

Esses veículos são responsáveis pelo deslocamento de minério, estéril e materiais diversos dentro da mina.

Principais tipos

Os principais tipos de veículos de transporte de carga são:

- **Caminhões fora de estrada (off-road):** com alta capacidade de carga (até 400 toneladas), são utilizados em lavras a céu aberto para transporte em grandes distâncias e terrenos irregulares.
- **Caminhões articulados:** indicados para áreas com curvas fechadas, rampas íngremes e solos instáveis.
- **LHDs (Load-Haul-Dump):** utilizados em minas subterrâneas, possuem estrutura compacta, alta manobrabilidade e resistência a ambientes confinados.
- **Carregadores sobre rodas com caçamba:** usados para transporte de pequenas cargas, normalmente em apoio à logística interna.

Veículos de apoio e manutenção

Além dos veículos de carga, a operação mineira exige uma frota de veículos de suporte técnico e logístico, que garantem a manutenção das vias, a conservação de equipamentos e a segurança operacional.

Principais tipos

Os principais tipos de veículos de apoio e manutenção são:

- **Caminhões-pipa:** utilizados para controle de poeira nas vias de acesso e pátios.
- **Motoniveladoras e tratores de esteira:** mantêm as estradas internas em condições operacionais.
- **Caminhões de manutenção (oficinas móveis):** realizam pequenos reparos e inspeções nas frentes de trabalho.
- **Veículos de emergência e ambulâncias:** asseguram atendimento rápido em caso de acidentes.
- **Caminhonetes e utilitários leves:** fazem o transporte de equipes, ferramentas e materiais.

Cuidados operacionais e segurança

O uso de veículos em mineração exige cuidados rigorosos, não apenas para preservar os equipamentos, mas também para evitar acidentes, que podem ser graves dada a dimensão dos veículos envolvidos.

Entre os principais cuidados, destacam-se:

- Treinamento e habilitação específica dos operadores, com foco em direção defensiva, sinalização e conhecimento do terreno;
- Regras claras de circulação e prioridade nas vias internas, com sentidos únicos, limite de velocidade e áreas de ultrapassagem proibida;
- Sinalização eficiente e uso de equipamentos de segurança, como faixas refletivas, sirenes, luzes de emergência e sensores de proximidade;
- Monitoramento do tempo de operação e fadiga dos operadores, evitando longas jornadas ininterruptas;
- Inspeções pré-operacionais obrigatórias, incluindo checagem de pneus, freios, luzes, fluídos e sistemas de alarme.

O uso adequado dos veículos na mineração não apenas garante eficiência logística e suporte à produção, mas também reduz significativamente os riscos de acidentes e contribui para a construção de um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

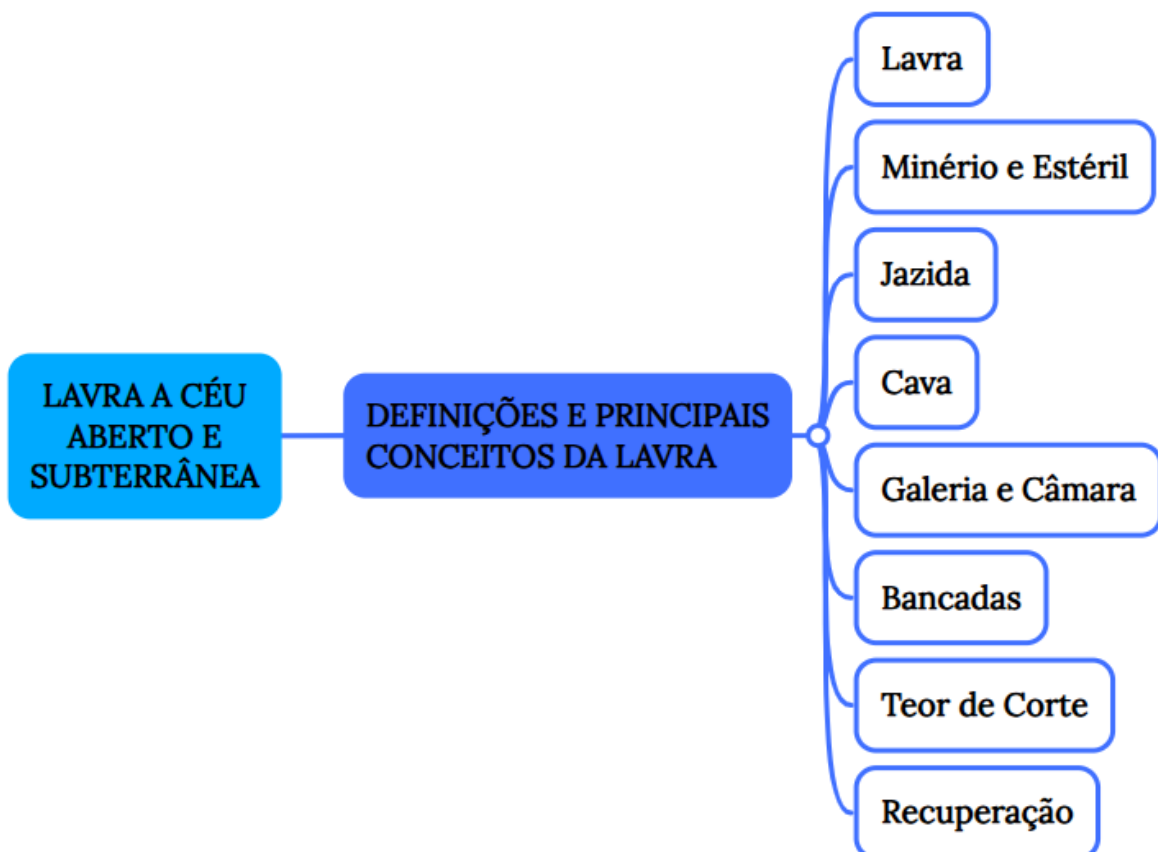
O que a bancada disse quando foi escavada pela primeira vez?

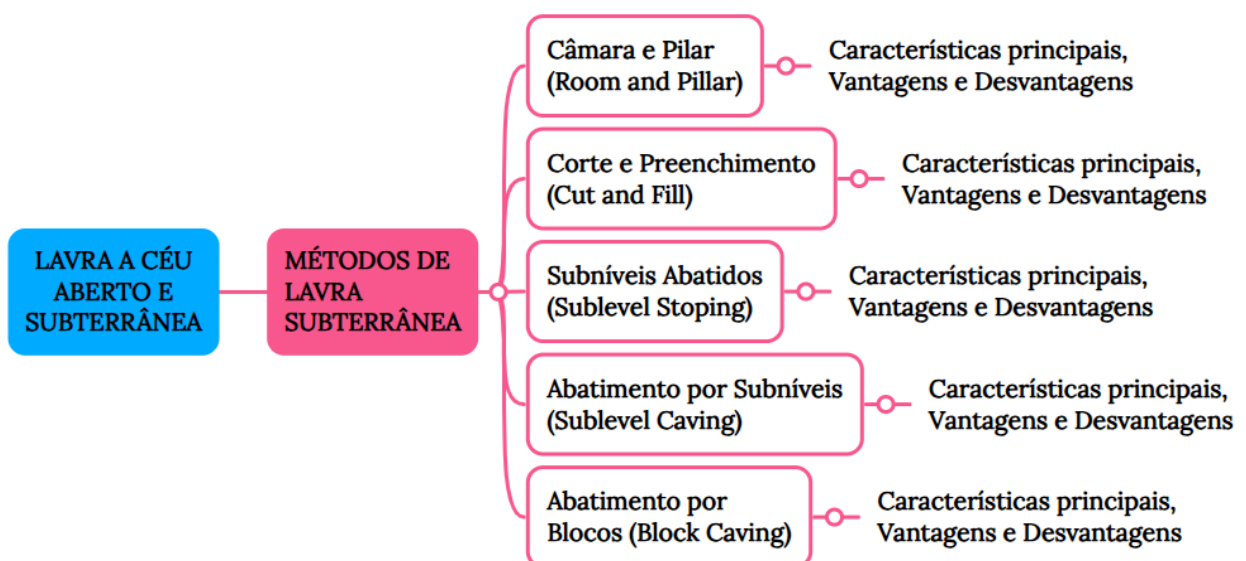
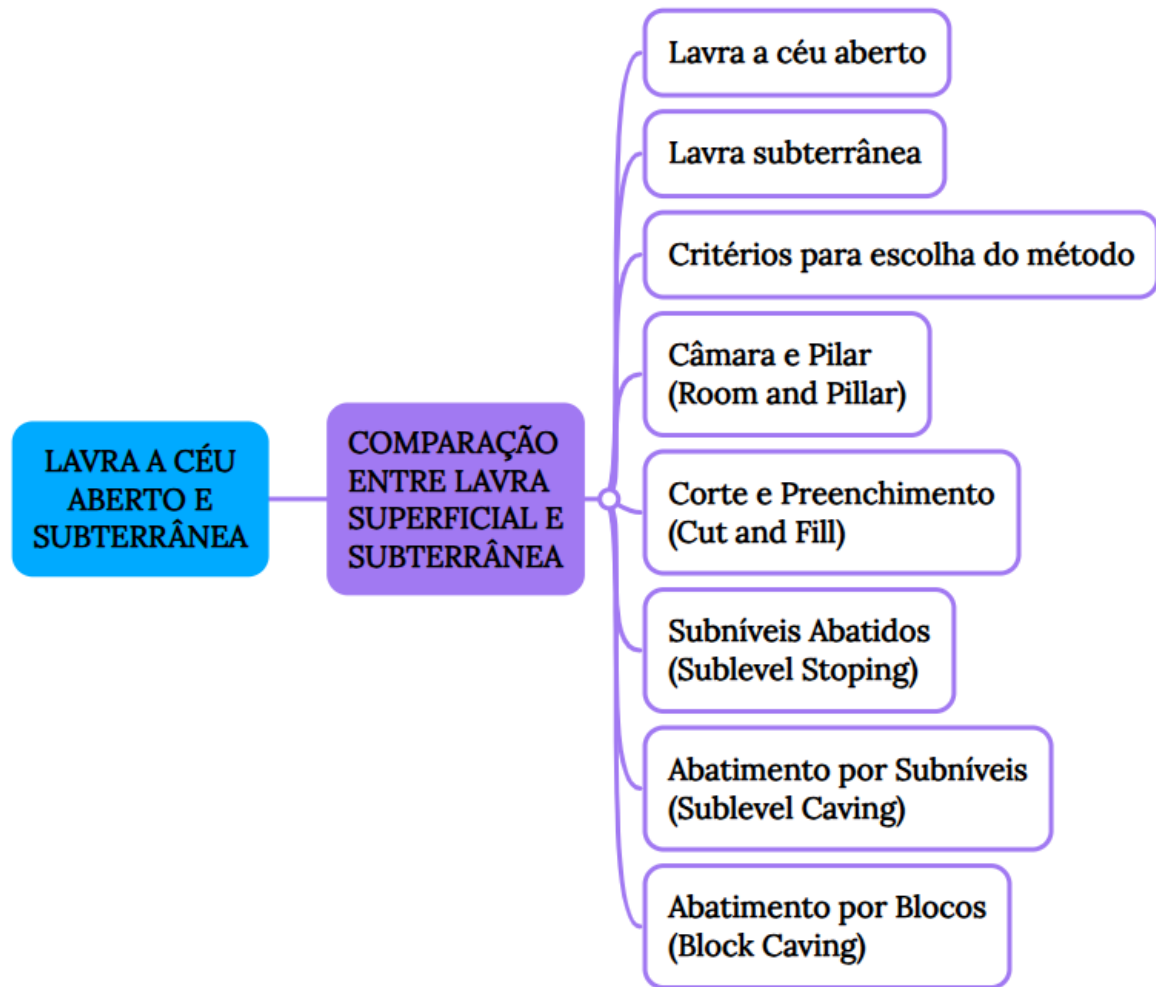
RESPOSTA:

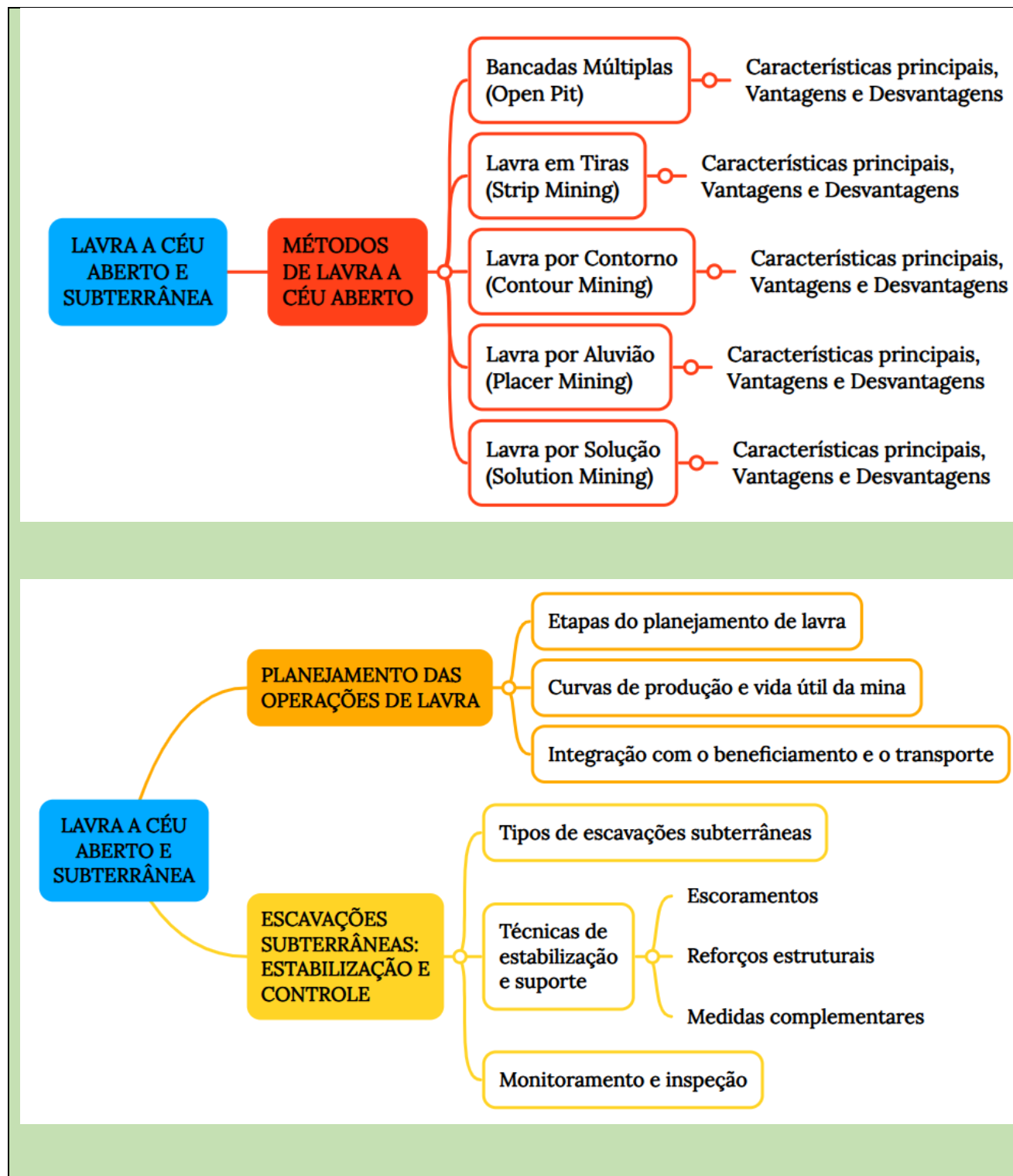
Ai, que corte profundo nos sentimentos.

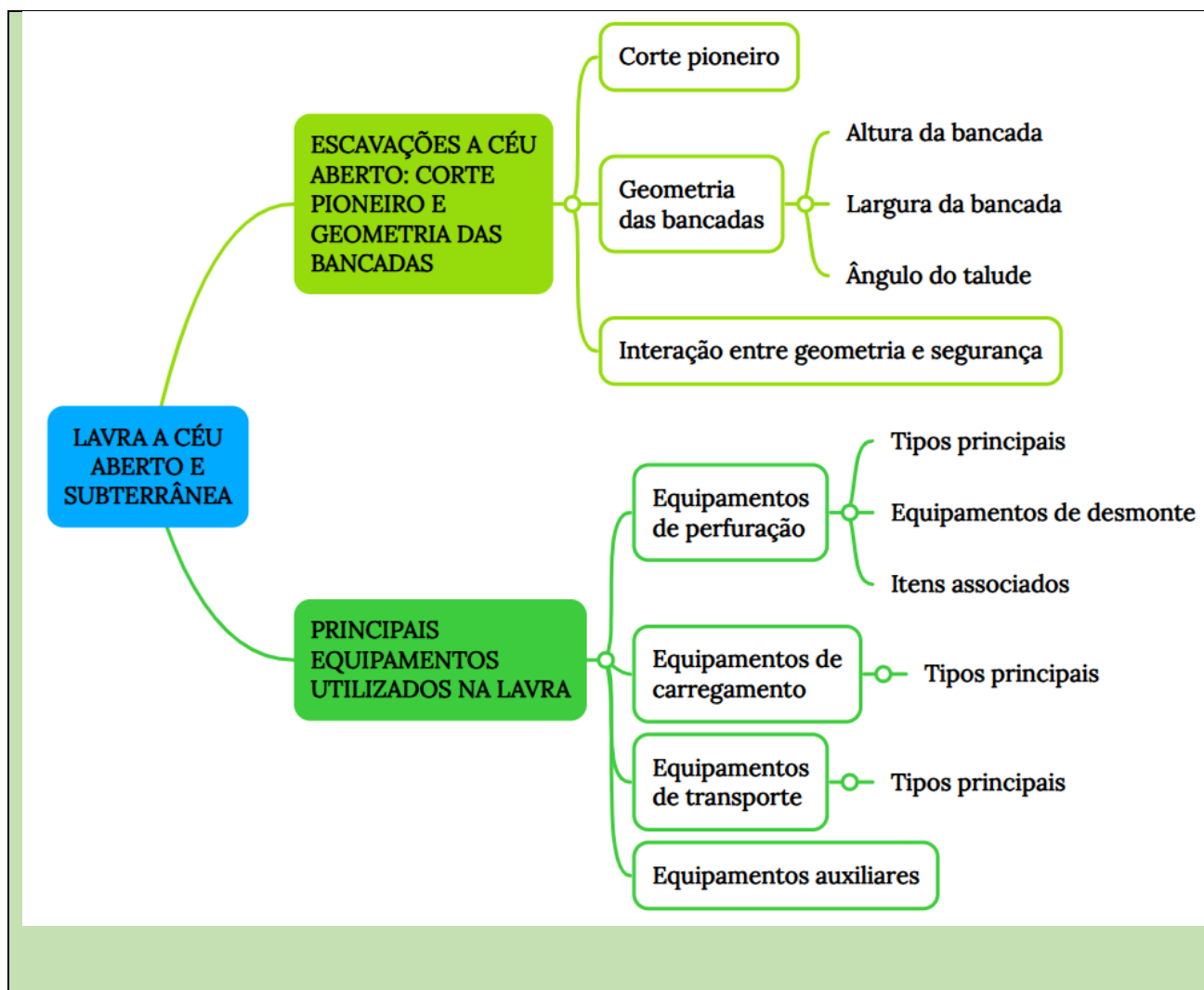
SESSÕES ESPECIAIS

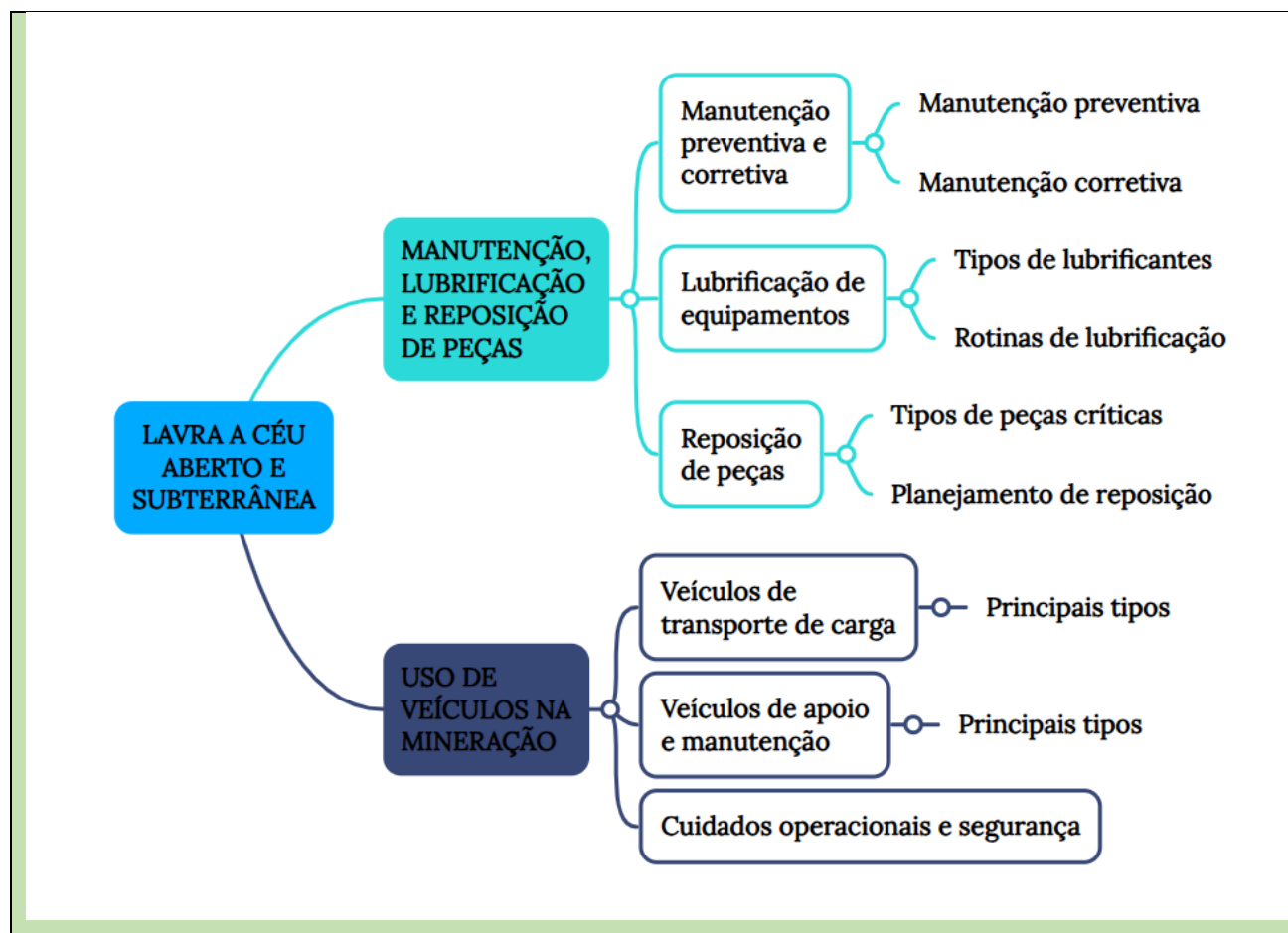
MAPA DE ESTUDO











SÍNTESE DIRETA

1. MÉTODOS DE LAVRA

- Subterrânea: Câmara e pilar, corte e preenchimento, subníveis abatidos, entre outros;
- A céu aberto: Lavra em bancadas, em tiras, por contorno e por aluvião;
✓ A escolha depende da profundidade, tipo de rocha, teor e volume do depósito.

2. PLANEJAMENTO DA LAVRA

- Inclui modelagem geológica, estudos de viabilidade, sequenciamento, segurança e integração com o beneficiamento;
✓ Um bom plano garante sustentabilidade econômica e ambiental da mina.

3. ESTABILIDADE DAS ESCAVAÇÕES

- Uso de escoramentos, chumbadores, concreto projetado, drenagem e monitoramento técnico;
 - ✓ Essencial para prevenir acidentes em lavras subterrâneas.

4. GEOMETRIA DA CAVA

- Determinada por altura, largura e ângulo de taludes;
 - ✓ Influencia diretamente a segurança e o custo da operação a céu aberto.

5. EQUIPAMENTOS

- Envolvem perfuração, desmonte, carregamento, transporte e suporte;
 - ✓ A escolha correta maximiza eficiência e reduz o desgaste operacional.

6. MANUTENÇÃO E LUBRIFICAÇÃO

- Manutenção preventiva evita falhas; lubrificação protege contra desgaste excessivo;
 - ✓ Sistemas automatizados são cada vez mais utilizados em grandes minas.

7. VEÍCULOS NA MINERAÇÃO

- Incluem caminhões, LHDs, caminhões-pipa, oficinas móveis, entre outros;
 - ✓ Devem ser operados com protocolos rigorosos de segurança e manutenção.

MOMENTO QUIZ

1. Em relação ao corte pioneiro em lavras a céu aberto, assinale a alternativa correta:

- a) Representa a etapa de instalação dos equipamentos de britagem primária.

- b) É a escavação final que dá acesso aos resíduos da mina.
- c) Consiste na escavação inicial que permite o início da lavra e acesso ao corpo mineral.
- d) É exclusivo de lavras subterrâneas com perfuração profunda.
- e) Refere-se à escavação de rampas de drenagem.

2. Sobre a geometria das bancadas em minas a céu aberto, é correto afirmar:

- a) Alturas muito altas aumentam a produtividade sem afetar a estabilidade.
- b) A largura da bancada não interfere na circulação de equipamentos.
- c) O ângulo de talude é irrelevante para a segurança da cava.
- d) A combinação entre altura, largura e ângulo do talude influencia diretamente a segurança da lavra.
- e) Bancadas devem ter todas a mesma geometria, independentemente da rocha.

3. Assinale a alternativa que apresenta um equipamento típico de lavra subterrânea:

- a) Escavadeira hidráulica de grande porte.
- b) Caminhão fora de estrada 240t.
- c) LHD (Load-Haul-Dump).
- d) Correia transportadora de longa distância.
- e) Trator de esteira com lâmina frontal.

4. A manutenção preventiva de equipamentos de lavra visa principalmente:

- a) Substituir peças que não apresentaram desgaste.
- b) Aumentar os custos operacionais para justificar novos investimentos.
- c) Eliminar falhas já ocorridas e interromper a produção.
- d) Corrigir falhas estruturais graves no sistema de escoramento.
- e) Prevenir falhas por meio de inspeções programadas e trocas sistemáticas.

5. O uso de veículos na mineração exige cuidados específicos. Entre as medidas abaixo, qual é a mais adequada:

- a) Permitir o uso de qualquer tipo de caminhão desde que seja potente.
- b) Liberar ultrapassagens em todas as vias internas para agilizar a produção.

- c) Utilizar sinalização, faixas refletivas e operadores treinados.
- d) Dispensar manutenção em caminhões leves, pois operam fora da frente de lavra.
- e) Substituir veículos de apoio por tratores agrícolas para reduzir custos.

GABARITO QUIZ

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	C
2	D
3	C
4	E
5	C

REFERÊNCIAS

GOMES, Carlos B.; GALERY, Roberto; VALENTE, Valéria S. Cominuição e Classificação Mineral: Fundamentos e Aplicações. Ouro Preto: CETEC, 2013.

POHL, Walter L. Economic Geology: Principles and Practice. 2. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.

LIMA, Sérgio dos Santos. Operações Unitárias na Indústria Mineral. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CHAVES, Arthur Pinto. Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. São Paulo: CETEM/MCT, 2000.

TAVARES, Luís Marcelo Marques. Mecanismos de Fragmentação e Moagem. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.

VILLAS BÔAS, Roberto C.; LUZ, Antônio Batista da; SÁNCHEZ, Mirna M. L. Introdução ao Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: CETEM, 2005.

D'ALMEIDA, Fernando M. L. Lavras e Equipamentos para Mineração Subterrânea. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

MOURÃO, Carlos Alberto. Engenharia de Minas: lavra a céu aberto. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

TELLES, Dirceu D'Alkmin. Física com Aplicação Tecnológica – Oscilações, Ondas, Fluidos e Termodinâmica. São Paulo: Fundação de Apoio à Tecnologia, 2013.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.