

TÉCNICO EM MINERAÇÃO



MÓDULO I NOÇÕES DE AMOSTRAGEM DE MINÉRIOS



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	06
SOBRE A INSTITUIÇÃO	06
• Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente	06
• Missão	06
• Visão	06
• Valores	06
SOBRE O CURSO	06
• Perfil profissional de conclusão e suas habilidades	07
• Quesitos fundamentais para atuação	07
• Campo de atuação	08
• Sugestões para Especialização Técnica	08
• Sugestões para Cursos de Graduação	08
SOBRE O MATERIAL	09
• Divisão do Conteúdo	09
• Boxes	09
BASE TEÓRICA	11
INTRODUÇÃO	11
MATÉRIAS-PRIMAS	11
• Tipos de matérias-primas e distribuição de matérias primas minerais	13
✓ Tipos de matérias-primas	13
✓ Distribuição das matérias-primas minerais	14
AMOSTRAGEM	14
• Processo e importância da amostragem	15
✓ O processo de amostragem	16
✓ A importância da amostragem	16
• Conceitos básicos	17
✓ Amostra	17
✓ Incremento	18
✓ Lote	18

✓ Amostra primária ou global	06
✓ Amostra final	06
✓ Amostragem	06
✓ Do erro total de amostragem (E_a) - segundo Pierre Gy	06
✓ Erro de amostragem (E_{ap})	06
✓ Erro de preparação (E_p)	06
• Técnicas de amostragem	06
✓ Amostradores	07

DETERMINAÇÃO DE MASSA MÍNIMA 07

• Teoria de Pierre Gy	08
• Fator de composição mineralógica (Q)	08
• Fator de liberação do mineral (I)	08
• Fator de forma das partículas (f)	09
• Fator de distribuição do tamanho das partículas (h)	09
✓ Aplicação da teoria de Pierre Gy para minérios de ouro	09
• Fator de composição mineralógica (Q)	11
• Fator de liberação do mineral (I)	11
• Fator de forma das partículas (f)	11
• Fator de distribuição do tamanho das partículas (h)	13

HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO 13

• Pilhas	14
• Quarteador Jones	14
• Mesa homogeneizadora / divisora	15
• Quarteador de polpa	16

ÂNGULO DE REPOUSO E TRANSPORTE 16

ANÁLISE MINERALÓGICA E GRANULOMÉTRICA 17

• Análise mineralógica	17
✓ Análise mineralógica qualitativa	18
✓ Análise mineralógica semiquantitativa	18
✓ Ensaios de concentração	18
✓ Composição mineralógica semiquantitativa	18

• Análise granulométrica	06
Dimensões das partículas	06
GRAU DE LIBERAÇÃO E DENSIDADE	06
• Grau de liberação	06
✓ Liberação por meio denso	06
✓ Liberação por análise química	06
✓ Liberação ao microscópio óptico (Método de Gaudin)	06
• Densidade específica e aparente	07
SESSÕES ESPECIAIS	07
MAPA DE ESTUDO	08
SÍNTESE DIRETA	08
MOMENTO QUIZ	08
GABARITO DO QUIZ	09
REFERÊNCIAS	09

MÓDULO I

**NOÇÕES DE
AMOSTRAGEM DE
MINÉRIOS**

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, a fim 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

As matérias-primas são uma importante fonte de renda. Os países ricos monopolizam o capital e a tecnologia necessários para explorá-las, enquanto as nações pobres, que detêm mais de 50% desses recursos, muitas vezes carecem de condições para fazê-lo.

MATÉRIAS-PRIMAS

Tipos de matérias-primas e distribuição de matérias-primas minerais

Tipos de matérias-primas

As matérias-primas são produtos de origem vegetal, animal ou mineral que podem ser transformados e utilizados pela indústria para elaborar outros produtos.

Dependendo de sua origem, podem ser classificadas em:

- ✓ **Matérias-primas vegetais**, como madeira ou algodão, em geral são derivadas da agricultura e com as quais se fabricam móveis e tecidos.
- ✓ **Matérias-primas animais**, como o couro e o leite das vacas, derivadas da pecuária.
- ✓ **Matérias-primas minerais**, que por sua vez se dividem em: Minerais metálicos, como ferro e cobre, que são utilizados nas indústrias metalúrgicas Minerais não-metálicos, como o enxofre e a fluorita, empregados na indústria química, entre outras; Rochas industriais, como o gesso e o granito, fundamentais para a indústria da construção.

As matérias-primas minerais constituem um importante pilar do desenvolvimento industrial.



Figura 1: Exploração mineira: pedreira (1), mina (2), galeria (3), elevador (4), trem mineiro (5).

Distribuição das matérias-primas minerais

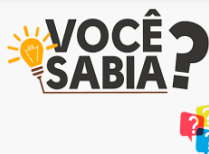
OBSERVAÇÕES:

No mundo econômico, é de suma importância que os países possuam meios de produzir a sua própria matéria-prima para a fabricação mais facilitada de seus produtos. Em muitos casos, países não conseguem produzi-la pelas limitações dos seus territórios ou porque o seu nível de consumo é muito alto, o que faz com que eles importem (comprem) produtos primários de outros países.

Os processos geológicos que a Terra sofreu ao longo do tempo provocaram uma distribuição desigual dos minerais no planeta.

A riqueza mineral do subsolo vem sendo aproveitada pelo ser humano desde tempos remotos. Quando um mineral é encontrado em um determinado local em quantidades muito superiores às normais, significa que há uma jazida com possibilidade de exploração.

Porém, nem sempre a exploração de uma jazida é rentável. Para que isso ocorra, é preciso que haja uma concentração de mineral suficiente que permita sua exploração a médio e longo prazo, deve tratar-se de um tipo de mineral que tenha um preço superior aos custos de sua extração e deve haver uma demanda importante por parte de pessoas ou empresas que justifique o trabalho realizado.



VOCÊ SABIA?

Quando consumimos uma mercadoria industrializada – um lápis, por exemplo –, estamos utilizando um produto que foi transformado. Isso significa que um material-base (no caso do lápis, a madeira) foi utilizado e modificado por uma técnica industrial ou artesanal para que pudesse atender a uma determinada finalidade.

AMOSTRAGEM

Processo e importância da amostragem

O processo de amostragem

O processo de amostragem consiste na retirada de quantidades moduladas de material (incrementos) de um todo que se deseja amostrar, para a composição da amostra primária ou global, de tal forma que esta seja representativa do todo amostrado. Em seguida, a amostra primária é submetida a uma série de etapas de preparação que envolvem

operações de cominuição, homogeneização e quarteamento, até a obtenção da amostra final, com massa e granulometria adequadas para a realização de ensaios (químicos, físicos, mineralógicos etc).

Cabe ressaltar que, a representatividade referida é válida para a(s) característica(s) de interesse (densidade, teor, umidade, distribuição granulométrica, constituintes minerais etc) definida(s) a priori. E, ainda, que todos os cuidados devem ser tomados para que essa representatividade não se perca, quando da preparação da amostra primária. Amostragem é, portanto, um processo de seleção e inferência, uma vez que a partir do conhecimento de uma parte, procura-se tirar conclusões sobre o todo. A diferença entre o valor de uma dada característica de interesse no lote e a estimativa desta característica na amostra é chamada erro de amostragem.

A importância da amostragem

A importância da amostragem é ressaltada, principalmente, quando entram em jogo a avaliação de depósitos minerais, o controle de processos e a comercialização de produtos. Ressalte-se que uma amostragem mal conduzida pode resultar em prejuízos vultosos ou em distorções de resultados com consequências técnicas imprevisíveis.

A amostragem é, sem dúvida, uma das operações mais complexas e passíveis de introduzir erros, deparadas pelas indústrias da mineração e metalurgia. Uma “boa amostragem” não é obtida tendo-se como base apenas o juízo de valor e a experiência prática do operador. O emprego da teoria da amostragem, ou seja, o estudo dos vários tipos de erros que podem ocorrer durante a sua execução, é imprescindível.

Conceitos básicos

Amostra

É uma quantidade representativa do todo que se deseja amostrar. O método de retirada da amostra deve garantir que ela seja representativa deste todo, no que diz respeito à(s) característica(s) de interesse.

Incremento

É uma quantidade modular de material retirada do todo que se deseja amostrar, para composição de uma amostra.

Lote

É uma quantidade finita de material separada para uma utilização específica.

Amostra primária ou global

A amostra primária ou global é a quantidade de material resultante da etapa de amostragem propriamente dita.

Amostra final

A amostra final é uma quantidade de material, resultante das etapas de preparação da amostra primária, que possui massa e granulometria adequadas para a realização de ensaios (químicos, físicos, mineralógicos etc).

Amostragem

É uma sequência de estágios de preparação (britagem, moagem, secagem, homogeneização, transferência etc) e estágios de amostragem propriamente dita (redução da massa de material), ambos suscetíveis a alteração do teor da característica de interesse e, portanto, à geração de erros de preparação e erros de amostragem.

Do erro total de amostragem (E_a) - segundo Pierre Gy

O erro total de amostragem é o somatório do erro de amostragem propriamente dita (E_{ap}) e do erro de preparação da amostra primária (E_p), para obtenção da amostra final.

$$E_a = E_{ap} + E_p$$

Erro de amostragem (E_{ap})

O erro de amostragem propriamente dita é o somatório de sete erros independentes, resultantes do processo de seleção da amostra primária, e provenientes, principalmente, da variabilidade do material que está sendo amostrado.

$$E_{ap} = E_{a1} + E_{a2} + E_{a3} + E_{a4} + E_{a5} + E_{a6} + E_{a7}$$

Onde:

- ❖ **Ea1** = erro de ponderação, resultante da não uniformidade da densidade ou da vazão do material;
- ❖ **Ea2** = erro de integração - termo regional, resultante da heterogeneidade de distribuição das partículas, a longo prazo, no material;

- ❖ **Ea3** = erro de periodicidade, resultante de eventuais variações periódicas da característica de interesse no material;
- ❖ **Ea4** = erro fundamental, resultante da heterogeneidade de constituição do material. Depende fundamentalmente da massa da amostra e, em menor instância, do material amostrado. É o erro que se comete quando a amostragem é realizada em condições ideais;
- ❖ **Ea5** = erro de segregação, resultante da heterogeneidade de distribuição localizada do material;
- ❖ **Ea6** = erro de delimitação, resultante da eventual configuração incorreta da delimitação da dimensão dos incrementos;
- ❖ **Ea7** = erro de extração, resultante da operação de tomada dos incrementos.

Erro de preparação (Ep)

O erro de preparação é o somatório de cinco erros independentes, provenientes das operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteramento a que a amostra primária é submetida.

$$Ep = Ep1 + Ep2 + Ep3 + Ep4 + Ep5$$

Onde:

- ❖ **Ep1** = perda de partículas pertencentes à amostra
- ❖ **Ep2** = contaminação da amostra por material estranho
- ❖ **Ep3** = alteração não intencional da característica de interesse a ser medida na amostra final
- ❖ **Ep4** = erros não intencionais do operador (como a mistura de sub amostras provenientes de diferentes amostras)
- ❖ **Ep5** = alteração intencional da característica de interesse a ser medida na amostra final.

Os erros Ea1, Ea2, Ea3, Ea4, Ea5, podem ser definidos quantitativamente. Suas médias e variâncias podem ser estimadas a partir de resultados de experimentos variográficos.

Os erros Ea6, Ea7 e Ep não podem ser estimados experimentalmente. Todavia, é possível minimizá-los e, em alguns casos, eliminá-los, evitando assim os erros sistemáticos indesejáveis.

Técnicas de amostragem

O estudo dessas técnicas tem por objetivo minimizar os erros cometidos nas etapas de amostragem propriamente dita e de preparação da amostra primária.

Os erros mais comuns praticados na preparação de amostra são exemplificados a seguir:

- ✓ Perda de partículas pertencentes à amostra, como por exemplo o material retido nos amostradores;
- ✓ Contaminação da amostra na preparação, por material estranho, como por exemplo, o resultante do desgaste dos instrumentos/equipamentos utilizados, da não limpeza prévia dos mesmos (ferrugem, minério estranho, poeira etc). Quando a contaminação por ferro na amostra é crítica, utiliza-se gral de ágata ou moinho com discos ou bolas de porcelana;
- ✓ Alteração de uma característica a ser analisada, como por exemplo, quando o parâmetro de interesse é a umidade, e o operador deixa a amostra exposta a uma fonte de calor ou de umidade;
- ✓ Erros não intencionais do operador, como misturar sub-amostras de diferentes amostras, etiquetar erradamente etc.
- ✓ Erros intencionais, como alterar o teor ou outro parâmetro importante, "salgar" a amostra."

O erro fundamental é o único erro que não pode ser evitado, pois teoricamente a massa ideal da amostra seria aquela que englobasse todo o seu universo. Para que se possa trabalhar com uma amostra de massa menor, normalmente é necessário diminuir a sua granulometria.

De uma maneira geral, a redução da granulometria pode ser realizada como segue:

- ✓ **Até cerca de 50,8mm:** utilizam-se britadores de mandíbulas;
- ✓ **De 50,8mm até 1,2mm:** britadores cônicos ou de rolos.
- ✓ **Abaixo de 1,2mm;** moinho de barras ou bolas, moinho de discos, pulverizadores ou trituradores manuais (gral).

O erro de segregação é observado principalmente em silos e pilhas, locais nos quais as partículas maiores e/ou mais densas tendem a se estratificar. Esse erro é minimizado por meio da homogeneização do material a ser amostrado e da diminuição da dimensão dos incrementos e, conseqüente, o aumento do número de incrementos que compõem a amostra.

Quanto maior o número de incrementos, menor o erro total cometido. O número mínimo de incrementos está relacionado à massa mínima necessária para formar a amostra primária.

A tomada de incrementos do minério em fluxo é realizada em intervalos iguais de tempo, quando a vazão e o(s) parâmetro(s) de interesse do minério são constantes. Caso a vazão não seja constante, o incremento é coletado em função de uma certa quantidade de massa acumulada ao longo do tempo, e é efetivada aleatoriamente quando há variações periódicas de vazão e de parâmetro(s) de interesse do minério.

Quando o plano de amostragem estabelecer que determinados pontos na usina sejam amostrados num mesmo momento, é aconselhável o uso de amostradores automáticos. Não sendo possível a tomada simultânea, é recomendável que ela seja realizada em sentido inverso ao do fluxo, para que não haja alteração das características das amostras devido à retirada de material a montante.

Na tomada de incrementos utilizam-se amostradores, que são classificados segundo sua trajetória, retilínea ou circular.

Amostradores

Os amostradores com trajetória retilínea, os mais comuns, devem ter arestas retas, paralelas, simétricas em relação ao seu eixo e de espessura constante.

O amostrador corta o fluxo de minério e coleta um incremento para compor uma amostra.

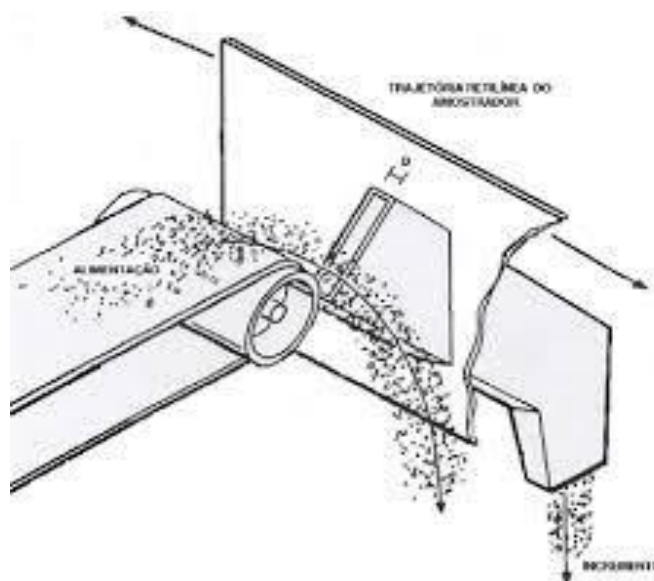


Figura 2: Amostrador com trajetória retilínea.

Os amostradores com trajetória circular possuem aberturas radiais que cortam o fluxo de minério, coletando um incremento para a composição de uma amostra.



Figura 3: Amostrador com trajetória circular.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Quando um professor costuma usar óculos escuros na sala de aula?

RESPOSTA:

Quando seus alunos são “brilhantes”.

DETERMINAÇÃO DE MASSA MÍNIMA

A metodologia para o cálculo do tamanho da amostra primária baseia-se em ensaios exploratórios para a determinação da variabilidade do material. Essa abordagem pode não ser adequada, caso a variabilidade não siga uma distribuição de Gauss.

A principal desvantagem dessa abordagem é a necessidade de realização de experimentos preliminares. Além disso, nenhuma informação pode ser deduzida para as etapas de preparação da amostra primária. Várias teorias têm sido desenvolvidas com o objetivo de determinar a massa mínima de amostra para uma dada granulometria e um dado erro. Sob certas circunstâncias, a massa da amostra primária pode também ser calculada. Em geral, as teorias mais simples fazem uma estimativa pessimista e implicam em amostras desnecessariamente grandes. Uma sofisticação adicional, normalmente resulta numa teoria que requer uma grande quantidade de informações de difícil ou impossível obtenção.

A abordagem teórica desenvolvida pelo engenheiro francês Pierre Gy se destaca pela sua utilidade prática. Além de ser capaz de descrever várias características complexas de uma situação prática de amostragem, aproximações empíricas permitem que seja usada com facilidade.

Teoria de Pierre Gy

A teoria de Pierre Gy supõe que o material a ser amostrado esteja inteiramente homogeneizado e que não existam erros inerentes às ferramentas de amostragem ou equipamento de cominuição, e, além disso, que partículas individuais possam ser selecionadas com igual probabilidade. Portanto, o erro total de amostragem passa a constituir-se no erro fundamental.

A equação geral é dada por:

$$S_a = \sqrt{d^3 \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{W} \right) \cdot l \cdot f \cdot h}$$

Onde:

- ❖ **S_a** = estimativa do erro total de amostragem expresso como desvio-padrão.
- ❖ **d** = diâmetro máximo das partículas no material a ser amostrado; normalmente aproximado pela abertura de peneira, em centímetros, que retém 5% do material.
- ❖ **Q** = fator de composição mineralógica, em g/cm³.
- ❖ **w** = massa mínima da amostra, em gramas.
- ❖ **W** = massa do material a amostra, em gramas.
- ❖ **l** = fator de liberação do mineral, adimensional.
- ❖ **f** = fator de forma das partículas, adimensional.
- ❖ **h** = fator de distribuição de tamanho das partículas, adimensional.

Para um dado minério em uma dada granulometria, os fatores Q, l, f e h podem ser reunidos em um único fator, de valor constante, C = Q · l · f · h, ficando a equação igual a:

$$S_a = \sqrt{d^3 \cdot \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{W} \right) C}$$

Quando a massa do material a ser amostrada (W) é muito grande, pode-se considerar que a razão W / 1 tende a zero.

Assim, tem-se:

$$S_a = \sqrt{\frac{d^3 C}{w}}$$

Fator de composição mineralógica (Q)

O fator Q é o produto da média ponderada dos pesos específicos das partículas e os teores do mineral de interesse (x) e ganga (100 - x). O fator de composição mineralógica, definido abaixo, é calculado de tal forma que o erro total de amostragem possa ser expresso em termos absolutos, isto é, percentagem do mineral de interesse na amostra.

$$Q = x(100-x)p = x(100-x) \left[\frac{x}{100} \rho_A + \frac{(100-x)}{100} \rho_B \right]$$

Onde:

- ❖ ρ = média ponderada dos pesos específicos de todas as partículas, em g/cm³.
- ❖ x = teor do mineral de interesse na amostra, em decimal.
- ❖ ρ_A = peso específico do mineral de interesse, em g/cm³.
- ❖ ρ_B = peso específico da ganga, em g/cm³.

Fator de liberação do mineral (I)

O fator I está relacionado com o grau de liberação do mineral de interesse. A cominuição pode aumentar o valor de I até alcançar o seu valor máximo, $I = 1$, o qual é encontrado quando o mineral de interesse está completamente liberado. A partir da definição, I pode variar de zero a 1, mas para todas as situações práticas nunca se deve usar $I < 0,03$.

O fator I deve ser estimado pelas seguintes fórmulas:

$$\text{se } d \leq d_o : I = 1,$$

$$\text{se } d > d_o : I = \sqrt{\frac{d_o}{d}},$$

Onde:

- ❖ d = diâmetro máximo das partículas no material, em centímetros;
- ❖ d_o = diâmetro máximo das partículas que assegure uma completa liberação do mineral de interesse, em centímetros.

O parâmetro d_o pode ser estimado através de microscopia óptica.

A determinação do valor de I, como apresentado acima, não está baseada em considerações científicas, mas sim em estudos práticos realizados em inúmeros minérios.

Fator de forma das partículas (f)

As partículas possuem formas irregulares e podem tender mais a esféricas do que a cúbicas. Entretanto, alguns minerais durante a cominuição podem ser liberados como placas ou agulhas e, nesses casos, a análise granulométrica por peneiramento irá indicar, inadequadamente, um valor alto para o tamanho da partícula.

A aplicação de um método para estimar o fator de forma em inúmeros materiais, mostrou que na prática f pode ser considerado como uma constante.

$$f = 0,5$$

Fator de distribuição do tamanho das partículas (h)

É prática usual referir o tamanho (95 d) das partículas pela abertura da peneira que retém 5% do material. Assim, apenas as partículas de maior tamanho na distribuição são utilizadas no cálculo de erro de amostragem, desprezando-se as partículas menores. Como S^2_a é proporcional a d^3 , as partículas maiores levam a estimativas pessimistas e implicam amostras desnecessariamente grandes.

Portanto, recomenda-se:

- ✓ $h = 0,25$ para minérios que tenham sido cominuídos para passar numa dada abertura de peneira;
- ✓ $h = 0,5$ caso os finos tenham sido removidos utilizando-se a peneira seguinte da série, isto é, para minérios com granulometria compreendida entre duas peneiras sucessivas da mesma série.

Aplicação da teoria de Pierre Gy para minérios de ouro

A amostragem de minérios de ouro é difícil quando comparado com outros minérios. Isto, devido às suas características, tais como: baixo teor, diferença muito grande de densidade entre o ouro e a ganga, ocorrência na forma de pepita "efeito pepita" etc.

Quando as partículas de ouro não estão liberadas, aplica-se a equação geral de Pierre Gy para obtenção de massa mínima da amostra. No entanto, deve ser realizado um estudo minucioso para a determinação do fator de liberação (l).

No caso das partículas estarem liberadas, os fatores Q , l , f e h da equação geral são obtidos por:

Fator de composição mineralógica (Q)

O fator de composição mineralógica “Q” é dado pela seguinte relação:

$$Q = \frac{a}{b}$$

Onde:

- ❖ **Q** = fator de composição mineralógica.
- ❖ **a** = peso específico do ouro, 19,3 g/cm³.
- ❖ **b** = teor de ouro, em decimal.

Fator de liberação do mineral (I)

O fator de liberação do mineral “I” é dado pela seguinte relação:

$$I = \sqrt{\frac{e}{d}}$$

Onde:

- ❖ **I** = fator de liberação do mineral.
- ❖ **e** = diâmetro máximo da partícula de ouro, em centímetros.
- ❖ **d** = abertura da peneira que retém 5% do material, em centímetros.

Fator de forma das partículas (f)

O fator f pode variar entre 0,5, quando a forma da partícula é esferoidal, e 0,2, quando as partículas são achatadas ou alongadas.

Fator de distribuição do tamanho das partículas (h)

Atribui-se o valor:
h = 0,2



PAUSA PARA REFLETIR...

O orgulho é a fonte de todas as fraquezas, porque é a fonte de todos os vícios.

Agostinho de Hipona.

HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO

Todas as etapas de preparação, devem ser feitas observando-se técnicas de homogeneização e quarteamento. Para isso, utilizam-se pilhas e/ou equipamentos auxiliares.

Pilhas

As pilhas mais empregadas são as dos tipos cônica e alongada (tronco de pirâmide).

Na própria preparação de uma pilha cônica, se obtém uma boa homogeneização do material. A seguir, ela é dividida em quatro setores iguais. O quarteamento é feito formando-se duas novas pilhas. Caso seja necessário dividir ainda mais a amostra, toma-se uma destas pilhas e a operação é repetida.

A pilha alongada é a mais indicada tanto em laboratório, como para grandes quantidades de minério. A preparação desse tipo de pilha é feita dividindo-se o lote inicial em quatro regiões aproximadamente iguais. Em seguida, atribui-se a uma pessoa ou grupo de pessoas (A) a responsabilidade da retirada do minério, alternadamente, de quartos opostos, outra pessoa ou grupo de pessoas (B) serão responsáveis pelos outros quartos.

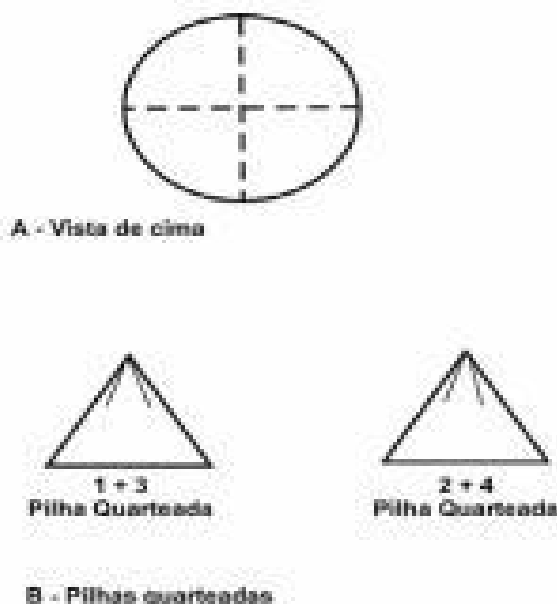


Figura 4: Pilhas cônicas.

Forma-se a seguir uma pilha com a forma de tronco de pirâmide, com uma das pessoas ou grupo (A) colocando sucessivas porções por pá ou equipamento adequado, num dado sentido; e a (o) outra (o), (B) no sentido oposto.

É preciso ter cuidado para que a quantidade de minério tomado do lote inicial seja suficiente para descarregar ao longo de toda a pilha, a velocidade constante. O material

constituente das extremidades deve ser retomado, sendo distribuído novamente ao longo da pilha.

Divide-se a pilha ao meio no sentido longitudinal e, posteriormente, em partes iguais em seu sentido transversal. A espessura de cada seção transversal deve estar relacionada com a largura da pá ou instrumento que será utilizado para a remoção do minério (incremento).

O quarteamento é feito formando-se duas pilhas cônicas. E uma dessas porções serão de índices ímpares e a outra, a de índices pares. Caso seja necessário, a operação será repetida com uma das pilhas cônicas.

Para pequenas quantidades de amostras, da ordem de quilogramas, a formação da pilha é realizada distribuindo-se o minério, a velocidade constante (manualmente ou com equipamento adequado), ao longo de toda pilha, num dado sentido e no sentido oposto. O quarteamento é feito seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente.

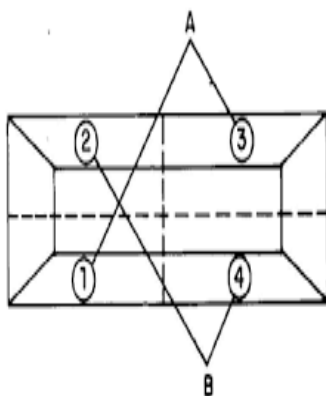


Figura 5: Lote inicial de minério.

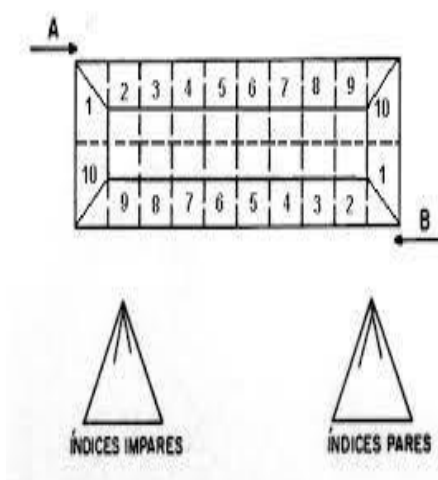


Figura 6: Pilha alongada (Tronco pirâmide).

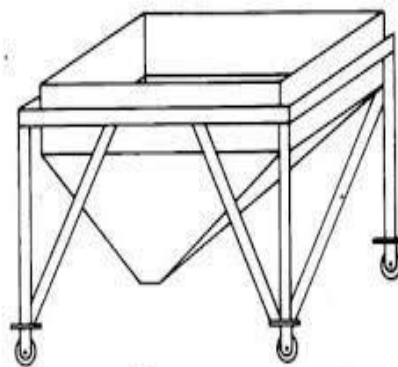


Figura 7: Equipamento de distribuição.

Haverá casos em que cada seção transversal poderá constituir-se em uma amostra final. Para isso, a massa de cada seção deverá ter uma massa mínima calculada pela equação Pierre Gy.

Quarteador Jones

Esse equipamento é constituído por uma série de calhas inclinadas, ora para um lado ora para o outro. Quanto maior o número de calhas, mais confiáveis serão as amostras obtidas. As calhas devem ser de aço inoxidável, com uma inclinação $> 4^\circ$ e não devem possuir ângulos vivos. O número de calhas deve ser par e todas devem ter a mesma largura, maior que $2d + 5 \text{ mm}$ (d = diâmetro da maior partícula).

O operador deve colocar a amostra a ser quarteada sobre o quarteador, de maneira lenta e contínua, para evitar a obstrução das calhas e a emissão de partículas. Isso pode ser executado com uma pá cuja dimensão seja a mesma da seção longitudinal do quarteador ou com um terceiro recipiente coletor da amostra. É necessário que a amostra esteja praticamente seca. Para obtenção de amostras de menor massa, repetir a operação com o material contido em um dos recipientes coletores.

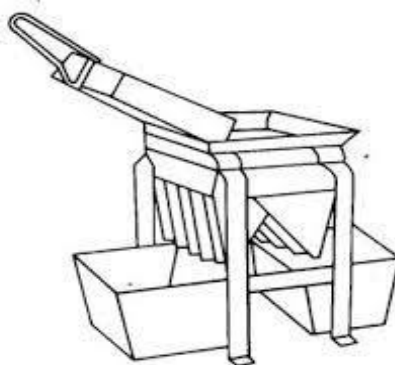


Figura 8: Quarteador Jones.

Mesa homogeneizadora / divisora

Esse equipamento consiste em uma calha vibratória, com vazão e altura de descarga variáveis, que descreve trajetória circular, sobre uma mesa, sendo alimentada por um silo e acionada por um motovariador. A amostra alimentada no silo deve estar seca.

A mesa homogeneizadora e divisora proporciona a formação de uma pilha circular de secção triangular cujo diâmetro e altura é controlada por uma calha vibratória com seções articuladas. A seguir, a pilha é dividida por um dispositivo constituído de dois interceptadores triangulares, articulados e reguláveis pelo deslizamento de seu suporte em um aro graduado (menor divisão: 5°), limitado a um ângulo máximo de 45°. Esse aro pode ser colocado em qualquer posição da mesa.

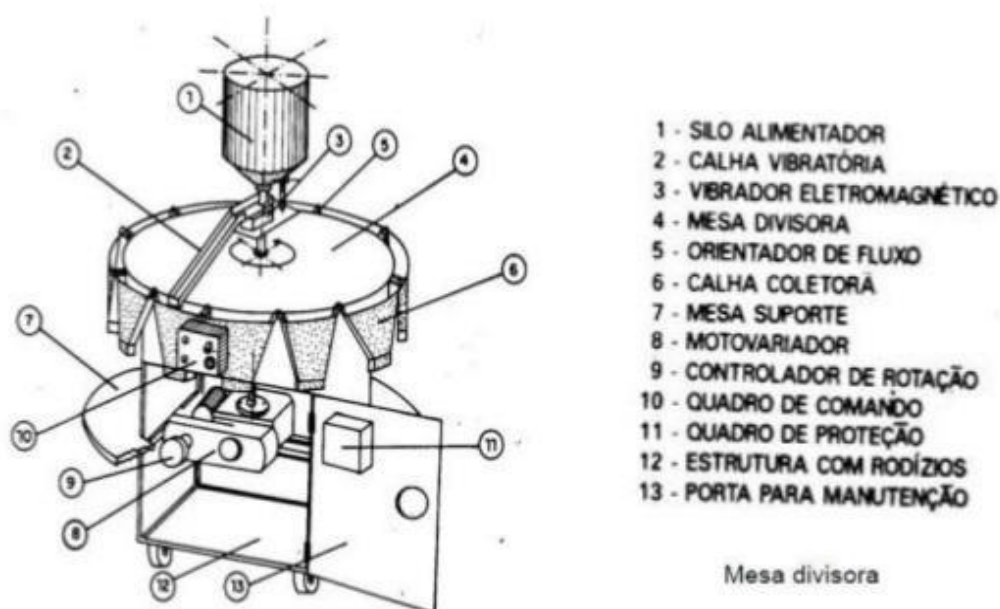


Figura 9: Mesa divisora.

Quarteador de polpa

O quarteador de polpa é constituído por duas partes principais: um alimentador e um disco giratório contendo um número par de recipientes. O alimentador deve possuir um agitador, para manter o material homogeneizado; e uma válvula de descarga, para manter a vazão de polpa constante aos recipientes contidos no disco giratório. Cada recipiente constitui uma fração do quarteamento. Caso deseje maior massa, juntam-se as amostras dos recipientes diametralmente opostos.

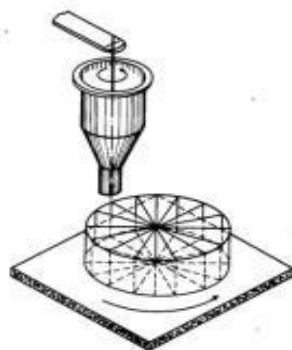


Figura 10: Quarteador polpa.

ÂNGULO DE REPOUSO E TRANSPORTE

O ângulo de repouso, é o ângulo mais íngreme em relação ao plano horizontal que se forma sem ocorrer deslizamento. Nesse ângulo, o material na inclinação está na iminência de deslizar. O ângulo de repouso pode variar de 0° a 90° . A morfologia do material afeta o ângulo de repouso; grãos de areia lisos e arredondados não podem ser empilhados de modo tão íngreme quanto grãos mais rochosos. O ângulo de repouso também pode ser afetado pela adição de solventes; se uma pequena quantidade de água for capaz de colmatar os espaços entre as partículas, a atração eletrostática de água em superfícies minerais irá aumentar o ângulo de repouso.

Quando materiais granulares são derramados sobre uma superfície horizontal, uma pilha cônica se forma. O ângulo interno entre a superfície da pilha e a superfície horizontal é conhecido como o ângulo de repouso e está relacionado à densidade, área, formas de partículas e coeficiente de atrito do material. Material com um baixo ângulo de repouso forma pilhas mais planas de material em comparação com material com um elevado ângulo de repouso.

O termo tem uso parecido em mecânica, onde se refere ao ângulo máximo a que um objeto repousa sobre um plano inclinado sem deslizar para baixo. Esse ângulo é igual ao arco-tangente do coeficiente de atrito estático μ_s entre as superfícies.

Sabemos que um ângulo é formado por duas semirretas de mesma origem (vértice) e que dois ângulos são ditos congruentes se suas medidas em graus são iguais. Em muitas construções será necessário a construção de ângulos de mesma medida em um outro vértice, é o que chamamos de transporte de ângulo.



Figura 11: Ângulo de repouso.

Material (condição)	Ângulo de Repouso (graus)
Cinzas	40°
Asfalto (esmagado)	30-45°
Casca (madeira)	45°
Farelo	30-45°
Giz	45°
Argila (seco)	25-40°
Argila (molhado)	15°
Sementes	28°
Coco (ralado)	45°
Grãos de café (frescos)	35-45°
Terra	30-45°
Farinha (de milho)	30-40°
Farinha (de trigo)	45°
Granito	35-40°
Brita (pedra britada)	45°
Cascalho (natural)	25-30°
Malte	30-45°
Areia (seca)	34°
Areia (cheia de água)	15-30°
Areia (molhada)	45°
Neve	38° [6]
Uréia (granular)	27° [7]
Trigo	27°

Figura 12: Ângulo de repouso, diversos materiais.

ANÁLISE MINERALÓGICA E GRANULOMÉTRICA

Análise mineralógica

A mineralogia aplicada ao beneficiamento de minério é um ramo da mineralogia clássica. O conhecimento das características principais dos minerais contidos em amostras representativas do tipo *run of mine*, é feito sobre fragmentos de rochas, e/ou em amostras e produtos granulares representativos. Esse procedimento auxilia o engenheiro de processo com informações que estejam relacionadas diretamente ao desenvolvimento e otimização das técnicas de beneficiamento mineral para fins metalúrgicos.

Os relatórios de pesquisas geológicas, contendo informações de depósito mineral, relativos à petrologia, litoestratigrafia, geologia estrutural, geologia econômica, mineralogia descritiva, entre outros, nem sempre são úteis para o desenvolvimento de um determinado processo de beneficiamento.

É necessário que as informações colhidas nos estudos de mineralogia aplicada ao beneficiamento não se limitem apenas à identificação dos constituintes da amostra, mas que apresentem sempre avaliações quantitativas ou semiquantitativas desses constituintes. Estes estudos mineralógicos devem ser definidos e orientados à luz de métodos de separações e concentrações, objetivando melhores recuperações dos minerais valiosos.

Os minérios apresentam, em geral, características e peculiaridades próprias e, devido a isto, frequentemente, processos tecnológicos adequados para um dado minério, nem sempre poderão ser efetivos para um minério similar.

Sabendo-se que em um determinado depósito podem ocorrer variações e alterações na:

- ✓ Composição mineralógica devida à distribuição aleatória do mineral minério no depósito;
- ✓ Na granulometria do mineral de interesse;
- ✓ Na sua relação dos minerais de ganga, entre outros.

Neste contexto, pressupõe-se estudos mais detalhados e específicos, durante a realização dos primeiros ensaios de beneficiamento desse minério. É fundamental que o especialista em mineralogia aplicada tenha bons conhecimentos das diferentes etapas de beneficiamento e saiba da importância das características dos minerais que poderão ajudar e/ou entender o comportamento de um minério numa operação particular de beneficiamento. A partir desses conhecimentos, consegue-se até prever, com uma certa segurança, tanto a recuperação como os problemas e dificuldades que poderão ocorrer no desenvolvimento dos

estudos de beneficiamento. Os resultados das investigações mineralógicas qualitativas e quantitativas, aliadas aquelas fornecidas pelas análises químicas, devem ser suficientes para orientar o planejamento das sequências e/ou etapas adequadas ao beneficiamento.

Numa fase ainda considerada exploratória da caracterização, podem ser realizados estudos mínero-petrográficos em fragmentos de rochas, mineralizadas ou não, bem como em amostras dos testemunhos de sondagens representativos da jazida. Nesta fase dos estudos de caráter petrográfico, uma maior atenção é dada aos aspectos geológicos relativos à gênese de formação da rocha mineralizada, cujos fenômenos de sequência de cristalização dos principais minerais e propriedades dos minerais entre si, muitas vezes apresentam implicações íntimas com os processos de beneficiamento em desenvolvimento.

O conhecimento das propriedades físico-químicas dos minerais pode ser indicador do tipo de beneficiamento proposto. Contudo, existem outros fatores associados à fase mineral que devem ser levados em conta, principalmente para as etapas de metalurgia extrativa. Alguns desses fatores são determinantes na velocidade da reação química e estão relacionados ao tipo de estrutura cristalina dos principais minerais como textura, fraturas, inclusões, tamanho médio das partículas, porosidade, orientação das superfícies expostas, natureza das impurezas, entre outras.

Apesar da variedade dos tipos de minérios ou diversificação dos produtos gerados por determinados processos de concentração, alguns itens devem ser observados, pois são fundamentais na caracterização mineralógica aplicada aos processos de beneficiamento.

Muitos desses itens podem ser obtidos por intermédio de estudos por microscopia óptica, incluindo:

- ✓ A análise mineralógica qualitativa que identifica todos os minerais.
- ✓ A análise mineralógica semiquantitativa por meio de avaliações e cálculos semiquantitativos das proporções percentuais de todos os minerais do minério.
- ✓ A determinação do grau de liberação por meio das avaliações e cálculo das porcentagens de liberação do mineral de interesse com relação a sua ganga, bem como estudos do comportamento dos grãos mistos.
- ✓ As medidas de reflectividade dos minerais opacos.
- ✓ As fotomicrografias de situações mineralógicas marcantes que podem ser conclusivas de determinados fenômenos relativos à formação dos minerais do minério.
- ✓ As identificações mineralógicas por difratometria de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

- ✓ Complementação e compatibilização dos estudos mediante os resultados de análises químicas dos elementos principais e os chamados traços.

Análise mineralógica qualitativa

Devido ao tipo da matéria-prima que constitui o minério, quando se pretende caracterizá-lo mineralogicamente, uma maior ênfase deve ser dada aos estudos realizados ao microscópio óptico polarizante. Estes estudos permitem, mesmo em caráter exploratório, uma visualização realística do comportamento desses constituintes em face do beneficiamento, independente se representa mineral valioso ou aqueles formadores da ganga. Esse tipo de análise se baseia essencialmente nas identificações das principais propriedades ópticas dos minerais por meio dos estudos ao microscópio óptico polarizante.

As propriedades que são consideradas fundamentais para identificação, no caso dos minerais transparentes, são aquelas descritas por Kerr (1959); Parfenoff et al. (1970); Deer et al. (1975); e Klein e Hurlbut (1993): cor, forma, pleocroísmo, extinção, relevo, planos de clivagens e de fraturas, birrefringência, geminações, figuras de interferência, determinação do sinal óptico (minerais uniaxiais ou biaxiais, positivos ou negativos).

Para os minerais opacos, são principalmente observados, segundo Uytenbogaard e Burke (1985); Edwards (1974) e Picot e Johan (1977): cor, forma, pleocroísmo, isotropismo, anisotropismo e reflectância. O poder refletor ou a reflectividade dos minerais pode ser determinada medindo-se a luz refletida pelos minerais opacos. Como exemplo, podemos citar os minerais do grupo dos sulfetos, óxidos, elementos nativos, carvões, etc. Estas medidas são realizadas por um equipamento eletrônico acoplado ao microscópio óptico, constituído basicamente de célula fotoelétrica, amplificador de sinal e aparelho digital que mostra a percentagem de reflectância, do mineral opaco.

O estudo mineralógico de um tem início quando a amostra representativa run-of-mine chega ao laboratório onde são selecionados fragmentos para confecção de lâminas delgadas e/ou secções polidas para estudos ao microscópio óptico.

A espessura das lâminas delgadas deve atingir cerca de 30 μm , o que permite examinar com segurança todas as propriedades ópticas dos minerais transparentes ao microscópio de luz transmitida. Os minerais opacos, sob formas granulares ou fragmentos de rocha mineralizada, são embutidos em resina sintética e polidos. Tais secções ou briquetes bem polidos (como espelho) permitem a determinação de suas propriedades ópticas ao microscópio de luz refletida.

Na caracterização mineralógica com fins de beneficiamento, a identificação dos minerais pode ser feita em alíquotas representativas, normalmente moídas em granulometrias abaixo de 1,68 mm. Para tamanhos de grãos entre 1,68 mm e 208 μm , os estudos podem ser feitos em lupa binocular. O material de granulometria entre 208 μm e 37 μm é geralmente examinado ao microscópio óptico polarizante. A fração inferior a 37 μm pode ser examinada ao microscópio óptico com cuidados especiais, complementando-se com estudo de difratometria de raios-X e análises químicas.

Análise mineralógica semiquantitativa

Uma caracterização mineralógica, realizada com intuito de obter dados que serão úteis ao desenvolvimento de diferentes processos de beneficiamento, não pode deixar de apresentar uma quantificação de seus constituintes, representados pelo mineral valioso e pelos minerais pertencentes à ganga.

Uma grande dificuldade nessa análise é a manutenção da representatividade, levando-se em conta que a quantidade da massa do material analisado é infinitamente pequena com relação àquela encontrada na jazida. Outro fator preponderante nessa quantificação consiste na tentativa de diminuir os erros operacionais normalmente existentes nessas análises.

São conhecidos alguns métodos que permitem realizar esta análise semiquantitativa através de observações ao microscópio óptico e lupa binocular. Com auxílio de um analisador de imagem acoplado ao MEV, esses valores podem ser obtidos com grande precisão e confiabilidade.

A alíquota do minério utilizado numa análise semiquantitativa deve ser cuidadosamente manipulada no intuito de prevalecer sua representatividade em todas as etapas de avaliação. Este cuidado tem início a partir da amostragem na jazida e deve ser mantido inclusive nos ensaios em escala de laboratório. Uma tomada de alíquota cuidadosa envolve critérios de homogeneidade, conhecimento prévio da quantidade empírica do mineral valioso e/ou o teor de metal de interesse. Deve ser também observado uma possível indicação da granulometria de liberação do mineral valioso, em relação à ganga.

Ensaio de concentração

Uma amostra representativa, de granulometria inferior a 1,68 mm, dependendo do tipo de minério, e para facilitar sua concentração, deverá ser separada em determinadas faixas

granulométricas segundo uma série de peneiras conhecidas (série Tyler). Os intervalos mais usuais para esse tipo de análise são os seguintes:

frações - 1,68 mm a 590 μm ;	frações - 590 a 210 μm ;
frações - 210 a 37 μm ;	frações - menor que 37 μm

Se a pretensão for melhor seletividade nos produtos, e conseqüentemente otimizar os cálculos, as mesmas faixas granulométricas poderão ser concentradas através de separações em meio denso. Existem diferentes tipos de líquidos densos utilizados nesta operação de concentração e alguns estão listados no Quadro 2. Mais comumente, utiliza-se o bromofórmio com densidade igual a 2,89 e/ou o iodeto de metileno, com densidade igual a 3,33 g/cm³. Dependendo da necessidade, os produtos afundados podem ser concentrados mais uma vez, por processos eletromagnéticos, a partir de ensaios no separador isodinâmico Frantz, conforme Müller (1971) e Mc Andrew (1957).

Líquido Denso	Fórmula Química	Densidade 20°C	Solvente
Tetracloreto de Carbono	CCl ₄	1,590	Benzeno
Percloroetileno		1,620	Shell Nafta
Solução de Cloreto de Zinco	ZnCl ₂	1,800	Água
Solução de Cloreto de Sódio	NaCl	2,1-2,2	Água
Brometo de Metileno	CH ₂ Br ₂	2,590	Álcool éter etílicos
Bromofórmio	CHBr ₃	2,890	Tetracloreto de carbono, álcool etílico, percloroetileno, Shell nafta, acetona e éter etílico
Tetrabrometano	CHBr ₂ CHBr ₂	2,967	Tetracloreto de carbono, benzeno, éter etílico e acetona
Solução de Thoulet*		3,190	Água, álcool etílico
Iodeto de Metileno	CH ₂ I ₂	3,325	Metanol, benzol, éter etílico e tetracloreto de carbono
Solução de Clerici**	CH ₂ (COOTe) ₂ HCOOTe	4,30	

* Solução de Thoulet: é uma solução de mercúrio e potássio.

** Solução de Clerici: mistura de malonato de tálio com formiato de tálio.

Figura 13: Quadro ilustrando líquidos densos usados em separações gravíticas de minerais.

Todos os produtos obtidos nos diferentes ensaios de separação, representados pelos minerais leves, pesados, magnéticos e não magnéticos, e que ocorrem nas variadas frações granulométricas, deverão ser identificados ao microscópio óptico polarizante e lupa binocular.

Após essas identificações, serão avaliadas suas respectivas quantidades percentuais nesses produtos e, conseqüentemente, no minério.

Os principais métodos de semiquantificação dos minerais utilizados nas análises ao microscópio óptico, são os seguintes:

- ✓ Contagem de pontos no grão mineral;
- ✓ Contagem dos grãos individualizados;
- ✓ Contagem no campo visual do microscópio dos diferentes aglomerados de grãos de minerais do minério.

As porcentagens finais de uma análise mineralógica semiquantitativa, feita por contagens ao microscópio, são valores resultantes de uma quantificação volumétrica de cada mineral presente.

Já as porcentagens de pesos são obtidas do valor volumétrico multiplicado pela densidade teórica de cada mineral.

As porcentagens em peso obtidas compatibilizadas para os valores percentuais máximos da fração permitem o cálculo final da composição mineralógica semiquantitativa do minério.

Composição mineralógica semiquantitativa

Para exemplificar a obtenção de uma composição mineralógica semiquantitativa, por microscopia óptica, quando não se tem outros recursos, são apresentados os cálculos feitos para o minério de barita, proveniente de Itaguaí-RJ, com os valores percentuais dos minerais do minério (*figuras 14, 15, 16 e 17*).

Na “*figura 14*” encontram-se os resultados finais para a composição mineralógica semiquantitativa do minério.

Faixa (μ m)	Peso		Flutuado		Afundado	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
- 1.651 + 295	195,39	59,0	92,04	27,8	103,25	31,2
- 295 + 104	57,39	17,4	26,57	8,0	31,02	9,4
- 104 + 37	35,96	10,9	19,91	6,0	16,05	4,9
-37	41,91	12,7	-	-	-	-
Total	330,65	100,0	138,52	41,8	150,42	45,5

Figura 14: Quadro de análise granulométrica e distribuição dos produtos da separação em meio denso.

($d = 2,89 \text{ g/cm}^3$).

Fração - 1651 + 295 μm					
	Volume (%)	Densidade	Flutuado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Rochas Encaixantes*	50	2,63	131,5	48,5	13,5
Quartzo	44	2,65	116,6	43,0	12,0
Silexito**	3	3,91	11,73	4,3	1,2
Mat. Ferruginoso	2	3,8	7,6	2,8	0,8
Outros (Barita e Mica)	1	3,68	3,68	1,4	0,4
Total	100		271,11	100	27,9
Fração - 1651 + 295 μm					
	Volume (%)	Densidade	Afundado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Barita	79	4,45	351,55	81,5	25,5
Silexito	10	3,91	39,1	9,1	2,8
Mat. Ferruginoso	10	3,8	38,0	8,8	2,7
Outros(quartzo e mica)	1	2,78	2,78	0,6	0,2
Total	100		431,43	100	31,2
Fração -295 + 104 μm					
	Volume (%)	Densidade	Flutuado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Encaixante	50	2,63	131,5	48,5	3,9
Quartzo	44	2,65	116,6	43,0	3,5
Silexito	3	3,91	11,73	4,3	0,3
Mat. Ferruginoso	2	3,8	7,6	2,8	0,2
Outros	1	3,68	3,68	1,4	0,1
Total	100		271,11	100	8,0
Fração -295 + 104 μm					
	Volume (%)	Densidade	Afundado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Barita	80	4,45	356,0	82,2	7,7
Silexito	10	3,91	39,1	9,0	0,9
Mat. Ferruginoso	10	3,8	38	8,8	0,8
Total	100		433,1	100,0	9,4
Fração - 104 + 37 μm					
	Volume (%)	Densidade	Flutuado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Encaixante	49	2,63	128,87	47,3	2,8
Quartzo	45	2,65	119,25	43,8	2,6
Barita	3	4,45	13,35	4,9	0,3
Silexito	2	3,8	7,6	2,8	0,2
Outros (mat. ferruginoso. e mica)	1	3,35	3,35	1,2	0,1
Total	100		272,42	100	6,0
Fração - 104 + 37 μm					
	Volume (%)	Densidade	Afundado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Barita	90	4,45	400,5	91,6	4,5
Silexito	8	3,91	31,28	7,2	0,3
Outros (Quartzo)	2	2,65	5,3	1,2	0,1
Total	100		437,08	100	4,9
Fração - 37 μm					
	Volume (%)	Densidade	Flutuado		
			Peso		
			(g)	(%)	(%) no minério
Barita	45	4,45	200	51,8	6,6
Mat. Ferruginoso	35	3,8	133	34,5	4,4
Quartzo	20	2,65	53	13,7	1,7
Total	100		386	100	12,7
d = densidades utilizadas nesses cálculos: fração argila = 2,62; mica (biotita) = 2,9; magnetita = 5,17; limonita = 3,8; quartzo = 2,65; barita = 4,45					
* rocha encaixante: quartzo + argila					
** silexito: quartzo + óxido de ferro					
Obs.: A fração - 37 μm não foi submetida à separação em meio denso: sua composição mineralógica aproximada foi feita diretamente no microscópio com ajuda dos resultados de análise química.					

Figura 15: Quadro de análise mineralógica dos produtos obtidos.

Fração – 11.651 + 295 µm		
Minerais	Peso (%)	Peso (%) no Minério
Barita	43,0	25,5
Encaixante	23,0	13,4
Quartzo	20,0	12,0
Silexito	7,0	4,0
Mat. Ferruginoso	6,0	3,5
Outros (mica)	1,0	0,6
Total	100,0	59,0
Fração - 295 + 104 µm		
Barita	44,5	7,7
Encaixante	22,5	3,9
Quartzo	20,0	3,5
Silexito	7,0	1,2
Mat. Ferruginoso	6,5	1,0
Outros	0,5	0,1
Total	100,0	17,4
Fração – 104 + 37 µm		
Minerais	Peso (%)	Peso (%) no Minério
Barita	44,5	4,8
Encaixante	26,0	2,8
Quartzo	24,5	2,6
Silexito	4,5	0,5
Outros	0,5	0,2
Total	100,0	10,9
Fração – 37 µm		
Minerais	Peso (%)	Peso (%) no Minério
Barita	51,8	6,6
Encaixante	34,5	4,4
Quartzo	13,7	1,7
Total	100,0	12,7

Figura 16: Quadro de cálculos de distribuição percentual dos minerais em diferentes frações, a partir dos dados obtidos na Tabela da figura 15.

Constituintes	Peso (%)	Constituintes	Peso (%)
Barita	44,6	Silexito	5,7
Encaixante*	20,1	Mat. Ferruginoso	8,9
Quartzo	19,8	Outros**	0,9
*Encaixante: Quartzo, caulinita e anatásio			
**Outros: biotita, muscovita, óxido de ferro hidratado			

Figura 17: Quadro de composição mineralógica semiquantitativa do minério de barita de Itaguai RJ, com base nos resultados da Tabela da figura 16.

Análise granulométrica

As partículas sedimentares apresentam dimensões com variabilidade muito elevada. Na Natureza encontram-se depósitos sedimentares constituídos por elementos com decímetros a metros de diâmetro (como nas moreias glaciárias), até sedimentos compostos por partículas extremamente pequenas, da ordem de alguns micra (como se verifica nas argilas dos grandes fundos oceânicos). Por vezes, a heterogeneidade da dimensão das partículas que constituem depósitos é extremamente elevada, coexistindo elementos com metros de diâmetro numa matriz de partículas pequenas (como nos depósitos formados por alguns fluxos detríticos).

Dimensões das partículas

A análise das dimensões das partículas é importante, pois permite deduzir indicações preciosas, entre as quais a proveniência, designadamente sobre a disponibilidade de determinados tipos de partículas e sobre as rochas que lhes deram origem, só transporte, utilizando, por exemplo, o conceito de maturidade textural e a resistência das partículas, segundo a sua composição, à abrasão e à alteração química; e sobre os ambientes deposicionais.

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe.

Na realidade, estas três formas têm sido utilizadas. Assim, para efetuar a descrição adequada de um sedimento, torna-se necessário proceder a uma análise pormenorizada, utilizando classes granulométricas com pequena amplitude.

Quanto menor for a amplitude das classes, melhor é a descrição da variabilidade dimensional das partículas que constituem o sedimento. Classicamente, a granulometria dos sedimentos muito grosseiros, como cascalhos, seixos e balastros, por exemplo, é efetuada medindo e pesando, individualmente cada um dos elementos e contando-os.

Contudo, para sedimentos menos grosseiros - cascalhos finos, areias, por exemplo - tal forma de mensuração não é prática, sendo nas areias muito difícil e extremamente morosa, e praticamente impossível nos siltes e argilas. Para estes sedimentos, a análise

clássica recorre à separação mecânica em classes dimensionais e à determinação do seu peso. No que se refere aos sedimentos lutíticos (siltes e argilas), a forma de determinar a distribuição granulométrica compatível com as das outras classes texturais é ainda mais difícil e problemática.

Os problemas relacionados com a análise granulométrica começam logo com a escolha do método a utilizar. Por um lado, é questionável se se deve utilizar, para cada fracção granulométrica, o número de partículas aí presentes ou o peso dessas partículas.

Existem várias tentativas de relacionar estas duas quantidades mas, como seria de esperar, a aplicação das expressões empíricas que têm sido propostas não funcionam na realidade ou cometem grandes erros. Basta considerar que existe, nas partículas sedimentares, grande variabilidade de formas e de densidades, para se concluir que qualquer expressão relacionando número e peso está condenada ao fracasso.

Para estudar a distribuição granulométrica das partículas que constituem um sedimento é preciso, obviamente, utilizar uma escala. As primeiras escalas a serem utilizadas foram as mais evidentes, aritméticas, como o é a escala milimétrica.

Há muito que se constatou, no entanto, que as escalas lineares ou aritméticas não são as mais apropriadas para obter bons resultados no estudo dos sedimentos. Efetivamente, quando se estuda a distribuição das dimensões das partículas dos sedimentos utilizando escalas aritméticas, verifica-se que essa distribuição é, sistematicamente, assimétrica, isto é, a maior parte das partículas concentra-se nas dimensões mais pequenas.

Com este tipo de representação, sedimentos bastante diferentes ficam com aspectos de alguma forma semelhantes, o que, obviamente, não é o mais apropriado para o seu estudo e para a determinação das suas verdadeiras diferenças.

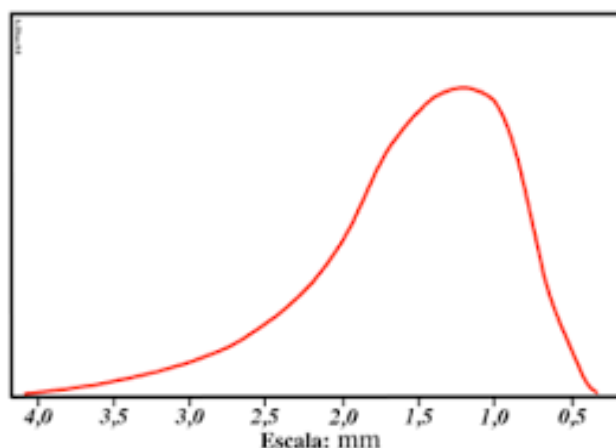


Figura 18: Distribuição - granulométrica de um sedimento hipotético, representada numa escala milimétrica.

Assim, os sedimentólogos cedo constataram que a escala aritmética não é a mais apropriada para estudar os sedimentos. Com efeito, na natureza, a maior parte das populações obedece a distribuições do tipo gaussiano, também apelidadas de distribuições normais. Por outro lado, se sabe que muitas propriedades dos sedimentos, tal como a velocidade de sedimentação, variam em função de uma potência da dimensão das partículas. Se no estudo das populações de partículas sedimentares forem utilizadas escalas geométricas, e não as escalas aritméticas, se verificará que as distribuições resultantes são mais próximas das curvas gaussianas (fig. 11). Por essa razão, há muito que se começou a tentar descrever os sedimentos com base em escalas geométricas ou logarítmicas.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Qual o prato de que nenhum goleiro gosta?

RESPOSTA:

“Frango”.

GRAU DE LIBERAÇÃO E DENSIDADE

Grau de liberação

Os grãos minerais devem estar inteiramente individualizados para responderem com eficiência aos processos de beneficiamento propostos.

A liberação de um minério pode ser definida como a porcentagem de um determinado mineral valioso que se apresenta numa faixa granulométrica sob a forma de partículas livres, representadas por grãos monominerálicos conforme Malvik (1982). Há casos em que a liberação já existe naturalmente, por exemplo, nos materiais aluvionares de minerais leves e pesados. A grande maioria dos minérios, no entanto, ocorre sob a forma de associações de minerais consolidadas, sendo indispensáveis etapas de britagem e moagem do material, para liberação total do mineral valioso. Os parâmetros que influenciam na liberação dos minerais são: dimensões, formas e intercrescimentos dos grãos; coesão interna e entre os grãos; tipos de associações minerais; proporção dos minerais presentes.

A liberação de um mineral valioso de sua ganga está, portanto, diretamente relacionada à textura original da rocha mineralizada conforme King (1982). A porcentagem de liberação de um mineral no minério pode ser obtida em diferentes índices de precisão e exatidão, utilizando-se produtos resultantes de ensaios físicos com líquidos densos,

dosagens químicas do elemento principal, ou de estudos sistemáticos em lupa binocular e/ou microscópio óptico segundo Henley (1983).

Liberação por meio denso

Nos ensaios físicos, o gradiente de densidade obtido a partir de diferentes líquidos pesados é um dos métodos mais rápidos para estabelecer a liberação dos minerais granulares de um minério ou de produtos específicos (Müller, 1971). O material classificado em diversas faixas granulométricas, quando efetivamente liberado, assume na coluna de gradiente o lugar correspondente a sua densidade. São utilizados líquidos imiscíveis de diferentes densidades e, como consequência, tem-se a formação de faixas horizontais bem definidas. A liberação das espécies mineralógicas, segundo simples observação visual, é facilmente detectada. Uma das limitações deste método é a impossibilidade de preparar-se gradientes com densidades superiores a 4,3 (solução de Clerici).

Na Figura abaixo, são representados quatro tubos de ensaios utilizados na separação densitária, visando observar a liberação do mineral-minério nas diferentes granulometrias. Os tubos são preenchidos por líquidos com densidades variadas ($d = 2,6 - 3,3$), e, dependendo da granulometria de liberação e da densidade do mineral de interesse, ele ocupará a faixa do gradiente correspondente a sua densidade.

Na figura a seguir (*figura 19*) os tubos de ensaios utilizados no estudo de liberação de um material contendo quartzo, dolomita, fluorita e sulfetos.

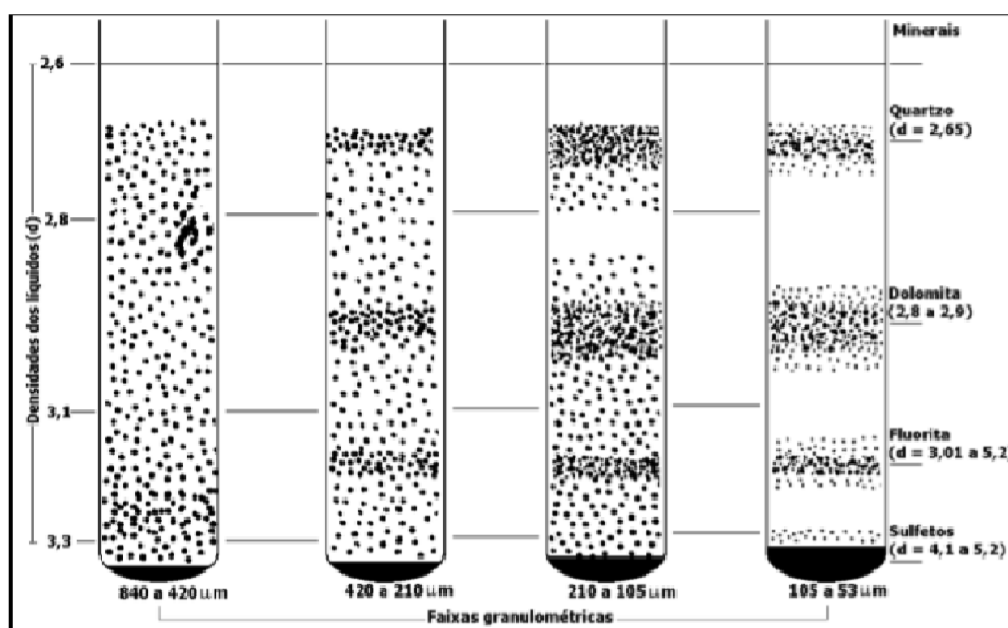


Figura 19: Ilustração do efeito do aumento de liberação mineral com o decréscimo da granulometria.

Liberação por análise química

Alternativamente, a porcentagem de liberação do mineral valioso pode ser determinada pela dosagem do teor do principal elemento químico do mineral ou do elemento existente exclusivamente no mineral valioso, nos produtos de concentração obtidos numa separação sequencial em líquidos densos.

A tabela abaixo exemplifica o estudo da liberação de um minério sulfetado de cobre, a partir dos resultados das análises químicas de cobre nos diversos produtos. A composição mineralógica desse minério, conforme Veiga e Porphírio (1986), é constituída por ganga silicatada (88% em peso), óxidos de ferro (10% em peso) e sulfetos (2% em peso), dos tipos bornita, calcocita, calcopirita, covellita e pirita.

A distribuição do cobre nos produtos de meio denso das diferentes frações granulométricas foi calculada a partir do teor desse elemento fornecido pelas análises químicas. Há uma forte correlação positiva entre o teor de cobre, a variação da granulometria do minério, os produtos afundados e consequentemente com a porcentagem de liberação dos minerais de cobre.

Na fração $-295 + 208 \mu\text{m}$, tem-se aproximadamente 80% de cobre no produto de densidade maior que 3,3; permanecendo 20% de cobre nos produtos de menor densidade por não estarem totalmente liberados. Os dados indicam uma liberação considerável para os produtos abaixo de $147 \mu\text{m}$. Embora deva-se limitar a cominuição ao estritamente necessário, observações microscópicas, recomendaram nesse estudo de liberação uma moagem abaixo de $104 \mu\text{m}$, elevando a recuperação de cobre na amostra.

Faixa Granulométrica (µm)	Produtos Densimétricos (%)	Peso (%)	Teor de Cobre (%)	Distribuição de Cobre (%)
- 803 + 589	< 2,89	11,8	0,10	2,4
	2,89 - 3,33	39,3	0,50	40,8
	> 3,33	48,9	0,56	56,8
	Total	100,0	0,48	100,0
- 589 + 417	< 2,89	8,7	0,09	1,4
	2,89 - 3,33	32,7	0,57	34,2
	> 3,33	58,6	0,60	64,4
	Total	100,0	0,55	100,0
- 417 + 295	< 2,89	8,9	0,08	1,4
	2,89 - 3,33	22,8	0,52	22,4
	> 3,33	68,3	0,59	76,2
	Total	100,0	0,53	100,0
- 295 + 208	< 2,89	11,4	0,10	2,1
	2,89 - 3,33	17,7	0,56	18,5
	> 3,33	70,9	0,60	79,4
	Total	100,0	0,54	100,0
- 208 + 147	< 2,89	10,3	0,09	1,5
	2,89 - 3,33	21,3	0,54	19,1
	> 3,33	68,4	0,70	79,4
	Total	100,0	0,60	100,0
- 147 + 104	< 2,89	8,6	0,06	0,6
	2,89 - 3,33	9,4	0,45	5,6
	> 3,33	82,0	0,87	94,8
	Total	100,0	0,76	100,0
- 104 + 74	< 2,89	1,8	0,10	0,2
	2,89 - 3,33	5,6	0,36	2,5
	> 3,33	92,6	0,85	97,3
	Total	100,0	0,81	100,0
Observações: Líquidos Bromofórmio Iodeto de Metileno				
			Densidade (a 20°C)	
			2,89	
			3,33	

Figura 20: Distribuição do cobre nos produtos densimétricos das diversas faixas granulométricas.

Liberação ao microscópio óptico (Método de Gaudin)

A estimativa visual da liberação de um minério em lupa binocular e microscópio óptico é um dos métodos mais simples de medição dessa grandeza. Quando se utiliza apenas esse método, devido a sua baixa exatidão, sua aplicação restringe-se a indicações de diretrizes nos ensaios de beneficiamento.

Nos ensaios realizados em laboratório, a determinação da liberação de um minério é feita em material granular. Conforme o tamanho dos grãos, as avaliações são feitas em lupa binocular ou então são utilizadas secções polidas dos minerais opacos e/ou lâminas delgadas dos minerais transparentes, para estudos ao microscópio óptico polarizante. O método desenvolvido por Gaudin (1975), consiste no exame minucioso dos produtos em faixas granulométricas estreitas. Dependendo da quantidade do mineral valioso presente, se necessário, os produtos são concentrados por separações densitárias e/ou eletromagnéticas. Devem ser contados, em média, 200 grãos minerais, anotando-se os índices de liberação das partículas livres e das partículas mistas. O índice de liberação é um valor estimado que se dá aos grãos que contêm somente o mineral minério e grãos que contêm partes do mineral-minério e ganga.

Utiliza-se a seguinte fórmula matemática para os cálculos percentuais da liberação:

$$\text{Grau de liberação} = \frac{\text{Índice de liberação das partículas livres}}{\text{Índice de liberação das partículas livres + mistas}} \times 100$$

Atribui-se um índice de liberação 10 para as partículas do mineral-minério que se encontram totalmente livres de ganga. Os índices das partículas mistas contendo o mineral-minério e ganga são comparativos para cada grão misto em diferentes produtos ou em diferentes frações independentemente.

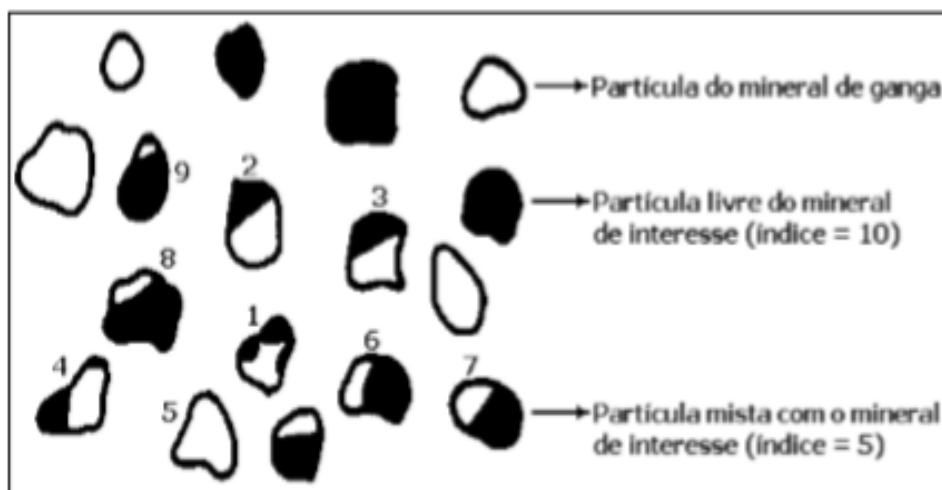


Figura 21: Partículas livres e mistas usadas no cálculo de liberação

Um exemplo da determinação do grau de liberação, valendo-se da microscopia óptica, encontra-se na Tabela abaixo. Trata-se de uma amostra de um veio quartzoso sulfetado, contendo ouro e prata, de uma mineração do Estado do Paraná. Segundo Porphírio e Barbosa (1990), o minério é constituído por quartzo (90% em peso), material grafitoso (5% em peso) e sulfetos (4% em peso).

Entre os sulfetos predomina a pirita (2,5% em peso), seguidos por galena, esfalerita, calcopirita e covellita. As análises químicas por fusão (fire assay), revelaram para a amostra original um teor médio de 4,5 mg/kg de ouro e 5,5 mg/kg de prata. Ficou evidenciado que, partindo de 1,68 mm, cerca de 80% dos sulfetos contendo ouro e prata estão liberados. A liberação total dos grãos sulfetados ficou abaixo de 104 µm.

Faixas Granulométricas (µm)	Peso (%)	Liberação dos sulfetos (%)
- 1.651 + 1.168	13,4	82
- 1.168 + 833	20,1	85
- 833 + 589	13,9	92
- 589 + 417	16,0	96
- 417 + 295	7,5	97
- 295 + 208	6,3	98
- 208 + 104	11,1	99
- 104 + 53	5,0	100
- 53 + 37	2,2	100
- 37	4,5	100
Total	100,0	100

Figura 22: Tabela com a porcentagem de liberação dos sulfetos contendo ouro e prata de um veio quartzoso.

As técnicas de contagem dos minerais utilizadas na determinação da liberação são:

- ✓ **Contagem por pontos** para os minerais que ocorrem acima de 3% na amostra.
- ✓ **Contagem por área** para minerais que ocorrem abaixo de 3% na amostra.

O método de Gaudin é essencialmente uma técnica de contagem de área, embora as composições de partículas sejam mais estimadas do que medidas. Além de trabalhoso, os resultados deste método estão sujeitos a imprecisões, pois nem todas as partículas da mesma fração têm as mesmas dimensões e os critérios de avaliação dos índices de liberação das partículas mistas são subjetivos e dependem da experiência do analista. A prática tem mostrado que a contagem deve ser realizada mais de uma vez e por analistas diferentes. Desta forma, o desvio padrão relativo à reprodutibilidade é da ordem de 1,5 para um intervalo de confiança de 95%.

Densidade específica e aparente

As propriedades das substâncias podem ser classificadas como intensivas e extensivas. As propriedades intensivas não dependem do tamanho da amostra, enquanto as propriedades extensivas dependem do tamanho da amostra. As propriedades intensivas são mais úteis, já que uma substância exibirá sempre a mesma propriedade intensiva, independentemente da quantidade que estiver examinada.

A densidade de uma substância é uma propriedade intensiva, obtida pela razão entre duas propriedades extensivas. Esta grandeza é definida como a razão entre a massa de uma determinada substância, que, no processamento mineral, pode ser uma amostra de rocha, minério ou mineral, e o seu volume.

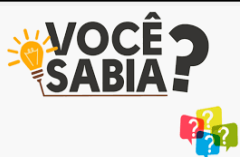
Ademais, a densidade é função dos raios dos átomos e íons que constituem os minerais, quer dizer, depende da forma como esses constituintes arranjam-se na estrutura cristalina dos minerais. Assim, o peso atômico do potássio é 1,7 vezes maior que o do sódio, e a densidade do KCl (1,98) é menor que a do NaCl (2,17).

A diferença dos raios atômicos entre o K⁺ (1,33) e Na⁺ (0,98) justifica essa diferença e explica o efeito pronunciado sobre o volume dessas substâncias cristalinas. Entretanto, as variações periódicas da densidade com o número atômico não se repetem igualmente com a periodicidade dos números atômicos. Essa discrepância pode esclarecer por que a faixa de valores da densidade dos minerais varia desde pouco mais de 1,0 até 23,0, valores que são encontrados em alguns minerais, como aqueles do grupo do ósmio.

Em tratamento de minérios, o manuseio do minério se dá na forma de grãos e em grandes volumes. Há, portanto, a necessidade de se conhecer a densidade real e a densidade aparente:

- ✓ **Densidade real ou relativa** considera apenas o volume do conjunto de grãos que compõe a amostra, sem considerar o espaço vazio existente entre os grãos.
- ✓ **Densidade aparente** considera o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem.

Portanto, a densidade real ou relativa de uma determinada amostra de um minério sempre será maior que sua densidade aparente.



VOCÊ SABIA?

Você já parou para pensar que todos os recursos que tornam nossa vida mais segura, duradoura e confortável são consequências do processo de desenvolvimento industrial iniciado no século XX? Ao longo desse tempo, muitas inovações tecnológicas surgiram para aumentar a qualidade de vida da humanidade, seja na área da saúde, do transporte, do lazer ou do trabalho.

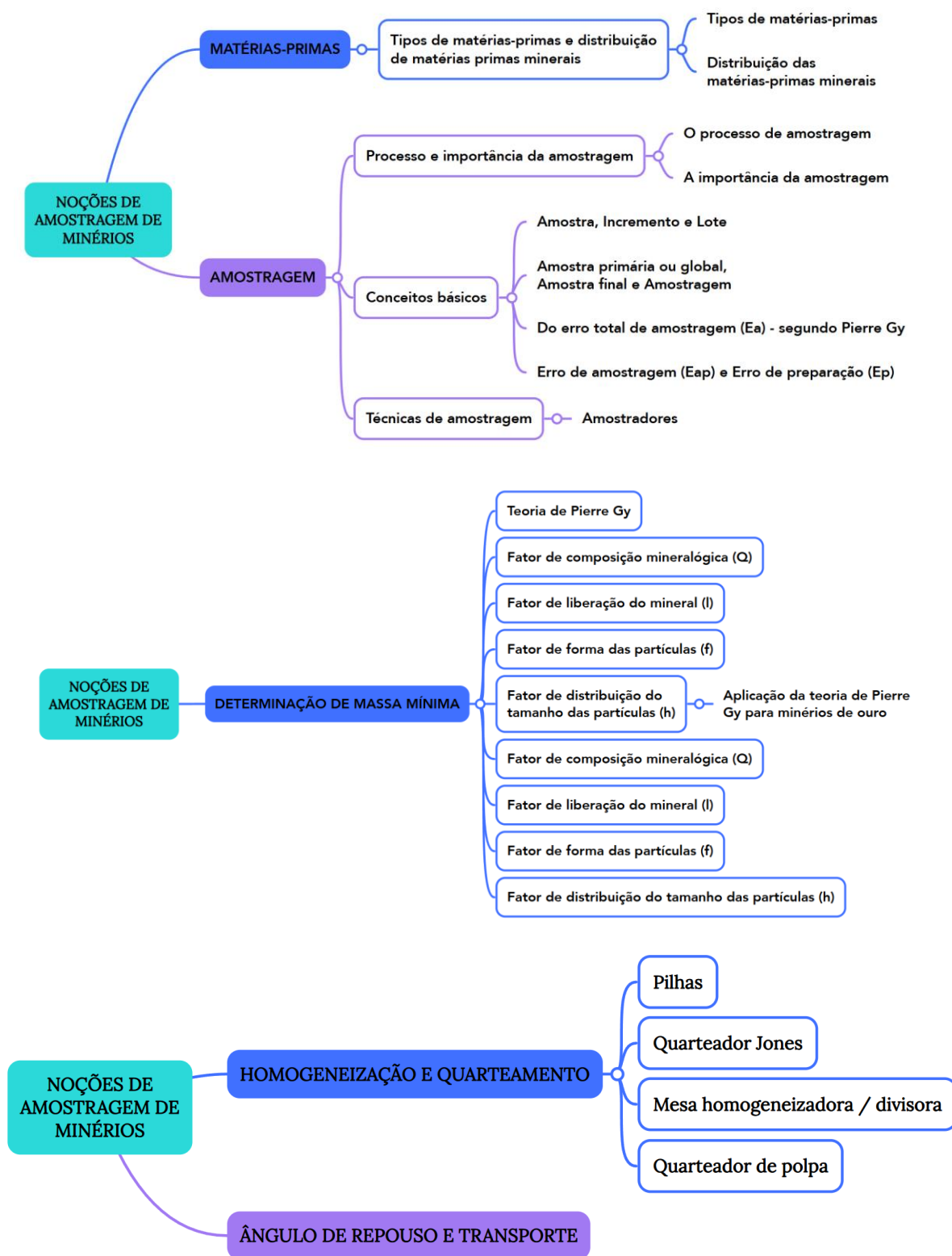
Olhe agora para o computador que você está usando para ler este texto, a cadeira onde você está sentado, o telefone e o celular que estão ao seu alcance para que você tenha uma comunicação rápida e eficiente, sempre que precisar. O que esses objetos têm em comum? Todos eles têm em sua composição o minério de ferro. O minério de ferro está tão presente em nosso dia a dia que é praticamente impossível imaginar o mundo em que vivemos sem este recurso mineral.

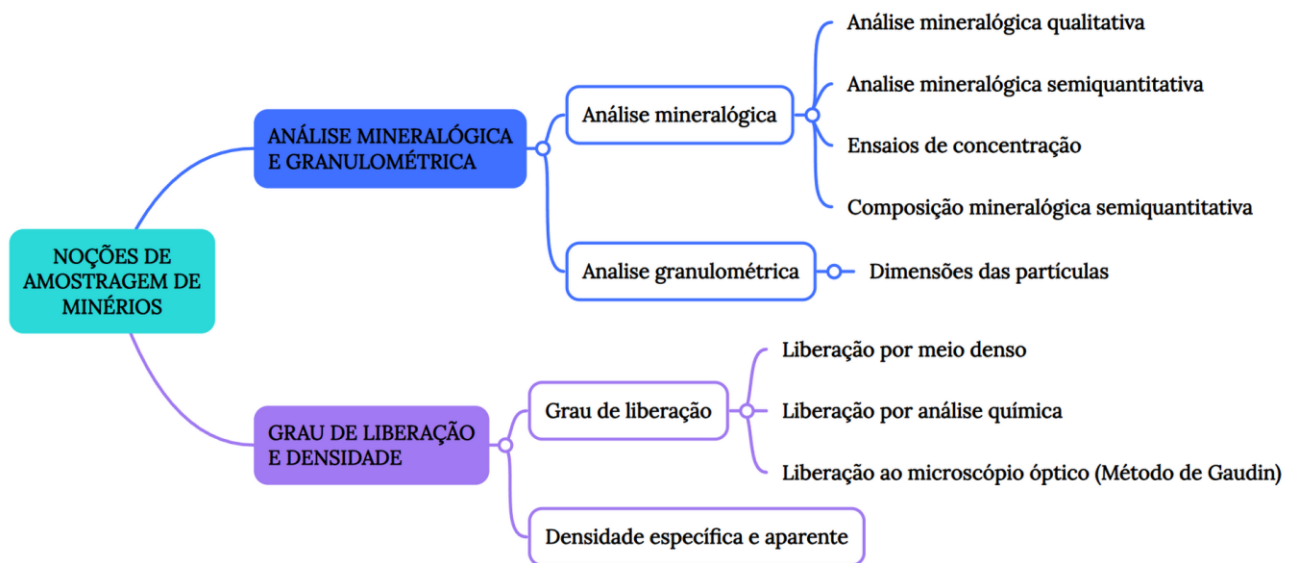
O computador, o celular e a cadeira, foram apenas alguns exemplos. O minério de ferro, quando não está presente no produto em si, certamente esteve presente no seu processo de fabricação. É o caso da roupa que você está usando e do remédio que você dá ao seu filho para curá-lo de uma enfermidade. Para que uma blusa seja confeccionada e um antitérmico produzido, máquinas e ferramentas são necessárias e estas, certamente são feitas com minério de ferro.

O minério de ferro é a principal matéria-prima do aço, encontrado, por exemplo, nos automóveis, eletrodomésticos, na estrutura de nossas casas, escolas, hospitais, estradas, viadutos, ferramentas, máquinas, além de possuir outras infinidades de aplicações.

Sessões Especiais

MAPA DE ESTUDO





SÍNTESE DIRETA

1. INTRODUÇÃO

- As matérias-primas são fundamentais para a economia global.
- Países ricos monopolizam tecnologia e capital, enquanto países com maiores reservas minerais muitas vezes carecem de condições para explorar.

2. MATÉRIAS-PRIMAS

- **Classificação:** Vegetais, Animais, Minerais Metálicos, Minerais Não metálicos e Rochas Industriais.
- **Distribuição:** Depende de processos geológicos; nem toda jazida é economicamente viável.

3. AMOSTRAGEM

- **Definição:** Processo de retirada de material representativo (incrementos) para análises.
- **Conceitos Básicos:** Amostra, incremento, lote, amostra primária e final.
- **Erro Total de Amostragem (Ea):** Soma de erro de amostragem (Eap) e erro de preparação (Ep).
- **Técnicas:** Métodos para minimizar erros, como uso de equipamentos específicos.

4. DETERMINAÇÃO DE MASSA MÍNIMA

- Baseada na **Teoria de Pierre Gy**.

- Inclui fatores como composição mineralógica (Q), liberação (I), forma das partículas (f) e distribuição granulométrica (h).

5. HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO

- Técnicas para uniformizar e dividir amostras:
 - ✓ **Pilhas cônicas e alongadas.**
 - ✓ **Equipamentos:** Quarteador Jones, mesa homogeneizadora, quarteador de polpa.

6. ÂNGULO DE REPOUSO E TRANSPORTE

- **Definição:** Maior inclinação de um material sem deslizamento.
- Variável de acordo com a morfologia e condições do material (seco, molhado, úmido).

7. ANÁLISE MINERALÓGICA E GRANULOMÉTRICA

- **Mineralogia Aplicada:** Identificação qualitativa e semiquantitativa de minerais para otimização de processos de beneficiamento.
- **Granulometria:** Determinação do tamanho das partículas e sua distribuição.

8. GRAU DE LIBERAÇÃO E DENSIDADE

- **Grau de Liberação:** Percentual de minerais valiosos liberados da ganga.
- **Densidade:** Diferença entre densidade real (grãos) e aparente (com espaços vazios).

MOMENTO QUIZ

1. São tipos de matérias-primas minerais:

- a) Leite e couro.
- b) Madeira e algodão.
- c) Ferro e cobre.
- d) Papel e isopor.
- e) Papelão e cristal.

2. É uma quantidade modular de material retirada do todo que se deseja amostrar, para composição de uma amostra:

- a) Amostra.
- b) Incremento.
- c) Lote.
- d) Polpa.
- e) Amostra final.

3. É o somatório de cinco erros independentes, provenientes das operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteamento a que a amostra primária é submetida:

- a) Erro de preparação.
- b) Erro de amostragem.
- c) Erro de incremento.
- d) Erro de lote.
- e) Erro de amostra final.

4. É a teoria onde supõe que o material a ser amostrado esteja inteiramente homogeneizado e que não existam erros inerentes às ferramentas de amostragem ou equipamento de cominuição, e, além disso, que partículas individuais possam ser selecionadas com igual probabilidade:

- a) Teoria de Pierre gy.
- b) Teoria de kerr.
- c) Teoria de muller.
- d) Teoria de McAndrew.
- e) Teoria de Guandin.

5. Esse equipamento é constituído por uma série de calhas inclinadas, ora para um lado ora para o outro (quanto maior o número de calhas mais confiáveis são as amostras obtidas):

- a) Mesa Homogeneizadora / Divisora.
- b) Quarteador de Polpa.
- c) Pilha.
- d) Equipamento de distribuição.
- e) Quarteador Jones.

Gabarito

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	C
2	B
3	A
4	A
5	E

Referências

LUZ, A.B., POSSA, M.V. Amostragem para processamento mineral. Rio de Janeiro: CETEM, 1982.

Mc ANDREW, J. Calibration of a Frantz isodynamic separator and its application to mineral separation. Proc. Aust. Inst. Min. Metall., v. 181, p. 59-73, 1957.

VEIGA, M.M., PORPHÍRIO, N.H. Caracterização tecnológica de minérios. Rio de Janeiro, 1986. 21p.

PORPHÍRIO, N.H., BARBOSA, M.I.M. Caracterização mineralógica de um veio quartzoso sulfetado aurífero da Mineração TPA/Paraná. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. 1990. 17p. (RA-01/90).

LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A. e FRANÇA, S.C.A. Tratamento de minérios. 5ª ed. Editores. CETEM – CNPq/MCT, 2011.

CORNEJO, Carlos; BARTORELLI, Andréa. Minerais e pedras preciosas do Brasil. Solaris Edições Culturais. São Paulo, 2010.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.