

TÉCNICO EM MINERAÇÃO



MÓDULO I MINERALOGIA



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
O HOMEM E OS MINERAIS	13
ELEMENTOS QUÍMICOS, CRISTALOGRAFIA E CRISTALOQUÍMICA	15
• Elementos químicos	15
• Cristalografia	15
✓ Elementos de simetria	16
✓ Formas de cristal	18
✓ Classes minerais	19
• Cristaloquímica	23
ESTRUTURAS GEOQUÍMICAS	24
• Camadas da Terra	24
PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS	25
• Propriedades dos minerais	25

✓ Propriedades físicas	25
✓ Propriedades mecânicas	26
✓ Propriedades térmicas	27
✓ Propriedades elétricas	27
✓ Propriedades óticas	28
✓ Propriedades químicas	28
• Classificação dos minerais	28
AMOSTRAGEM E TRATAMENTO DE MINÉRIOS	32
• Amostragem de minérios	32
✓ Caracterização de uma amostra de minério	33
• Tratamento de minérios	35
TÉCNICAS DE ANÁLISE QUÍMICA EM MINERAÇÃO	36
• Espectrofotometria	36
✓ Espectrofotometria de absorção no UV-Visível	36
✓ Análise espectrofotométrica	37
✓ Cuidados em espectrofotometria	38
• Ressonância Magnética Nuclear (RMN)	38
✓ Aplicações da RMN	39
✓ Difração de Raio-X (DRX)	39
✓ Fluorescência de Raio-X (FRX)	40
PREPARAÇÃO E SEPARAÇÃO DE AMOSTRAS	41
• Preparação de amostras	41
✓ Etapas de preparação	41
• Separação de amostras	44
✓ Separação por meio denso	44
✓ Separação magnética	45
SESSÕES ESPECIAIS	47
MAPA DE ESTUDO	47
SÍNTESE DIRETA	48
MOMENTO QUIZ	50
GABARITO DO QUIZ	51

MÓDULO I

MINERALOGIA

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

A mineralogia, ramo das geociências que tem por objetivo o estudo dos minerais, tem seus paradigmas constituídos desde sua sistematização. Dessa forma, os parâmetros descritivos dos minerais e os critérios de classificação não vêm sendo alvo de mudanças significativas ao longo dos anos. De acordo com Dana (1981), a meta essencial da mineralogia é elucidar os aspectos físicos, químicos e históricos da crosta terrestre, tendo como foco os materiais de ocorrência natural. Um mineral pode ser definido como um “composto químico, via de regra, resultante de processos inorgânicos, de composição química geralmente definida e encontrado naturalmente na crosta terrestre”.

Tais estruturas são formadas fundamentalmente por processos geológicos, e podem se formar tanto na Terra como em corpos extraterrestres. Madureira Filho et al. (2000) chamam atenção para o fato de cada tipo de mineral, como o quartzo (SiO_2), constitui uma espécie mineral. Geralmente, os minerais apresentam-se no estado sólido, exceção feita à água e ao mercúrio, que se apresentam no estado líquido em condições normais de pressão e temperatura. Quando submetida ao ponto de congelamento, no entanto, a água passa por um processo de cristalização, adquirindo assim uma estrutura cristalina definida, propriedade fundamental de um mineral.

A estrutura cristalina, conforme o que se conhece como **cristal**, é um meio homogêneo no estado sólido delimitado, ou não, por faces planas, que decorrem do arranjo regular dos átomos segundo redes cristalinas. Formam-se assim os chamados **corpos cristalinos**, no qual sua organização atômica interna se manifestará em sua geometria externa, o mineral cristalizado apresenta um arranjo interno tridimensional que forma uma rede denominada retículo cristalino, formada pela repetição de celas unitárias, as unidades atômicas ou iônicas fundamentais já dotadas das propriedades físico-químicas do mineral completo.

Segundo Leinz (1963), no estado cristalino os minerais se organizam em sistemas fixos e constantes, conservando-se invariáveis as distâncias entre os átomos que se repetem nas linhas e fileiras, ou entre os planos formados pelas fileiras paralelas ou coplanares. Por exemplo, os átomos de halita (NaCl) são organizados de modo que os íons positivos de *Na* e os negativos de *Cl* sejam dispostos numa rede cúbica.

Quando o arranjo molecular se dá de forma desordenada, estando a matéria disposta de forma irregular e desprovida de ordem, formam-se os chamados minerais amorfos. São

minerais homogêneos em todas as suas faces, como as argilas, as opalas e os vidros vulcânicos. Os dois últimos sólidos amorfos citados, com outros géis e carvões naturais, são tendencialmente classificados como mineraloides, uma vez que a ausência de uma estrutura cristalina definida não condiz com o conjunto de propriedades necessárias para a definição de um mineral.

Uma agregação natural de um ou mais minerais forma uma rocha; o conjunto de rochas existentes, por sua vez, forma a crosta terrestre, sobre a qual se assentam os solos e as explorações biológicas e antropogênicas. As rochas são formadas pelos chamados minerais primários, que são aqueles gerados a partir da cristalização do magma ou da lava vulcânica (quartzos, feldspatos, micas, anfibólios, piroxênios, etc), ou que são recristalizados pelos processos metamórficos que acometem a crosta terrestre. A alteração química da rocha dá origem aos minerais secundários ou neoformados (minerais de argila), que partilham da constituição físico-química dos solos.

O mineral mais abundante na crosta terrestre é o O₂, que responde por cerca de 46,4% de seu peso, seguido do silício (Si), que perfaz em torno de 32,3% do peso das rochas silicáticas, seguido do Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, Ti, H e Mn, sendo os demais elementos químicos bastante escassos comparativamente aos citados. O carbono, por exemplo, que é parte fundamental dos tecidos biológicos, na crosta terrestre apresenta a reduzida proporção de 0,02%, restringindo-se às rochas calcárias; o mercúrio (Hg) encontra-se em concentrações da ordem de 0,08 ppm (partes por milhão); minerais de maior valor como a prata (Ag) e o ouro (Au) encontram-se em proporções, respectivamente, de 0,07 e 5.10⁻⁷ ppm.

Dessa forma, entre todos os elementos químicos, apenas aqueles mais abundantes é que partilham mais efetivamente da composição dos minerais e das rochas, embora elementos mais escassos possam aparecer em condição acessória ou insignificante. A grande maioria dos minerais é formada por combinações de diferentes elementos químicos, sendo uma expressiva minoria formada por um único elemento químico, como o S (átomos de enxofre), o Au (átomos de ouro) e o diamante (átomos de carbono).

Alguns minerais têm composição química constante, a exemplo do quartzo (SiO₂, independente do ambiente geológico de formação). Outros a apresentam variável, como a olivina – (Mg, Fe)₂ SiO₄ -, cujos átomos de ferro e magnésio podem apresentar variações, mantendo-se sempre um átomo de silício e quatro de oxigênio (MADUREIRA FILHO, et al. 2000). Os minerais ou rochas que apresentam interesse econômico ou algum apelo comercial são designados **minérios**. Quando tal ordem de minerais se encontra em

concentrações cuja exploração é economicamente viável, tem-se a existência de uma **jazida**. Uma jazida submetida à exploração, seja em atividade ou já em estado de exaustão, é chamada de **mina**.

A exploração econômica de um determinado mineral e sua utilidade para o homem lhe confere o status de recurso. Sendo formado por processos geológicos, cuja abstração de sua escala temporal está ancorada na interpretação do tempo profundo, os minerais adequam-se aos chamados recursos não renováveis, ou seja, a capacidade de reposição através de processos naturais é incompatível com o tempo histórico, implicando sua escassez e o esgotamento de determinados minerais.

Na crosta terrestre, o conjunto de minerais é muito vasto, determinando a existência de uma série de variações nos estoques litológicos, influenciando na denominação das rochas em consonância à sua constituição mineral predominante. Diante do exposto, se faz conveniente estudar os elementos gerais desse importante campo das ciências da Terra cujas interfaces com a Química são as mais estreitas.

O HOMEM E OS MINERAIS

A apropriação e manipulação dos minerais pelo homem são práticas antigas. Com o advento dos primeiros hominídeos, o sílex passou a ser utilizado como ferramenta no trato com alimentos e mesmo para a caça, constituindo o recurso material empregado numa das primeiras técnicas desenvolvidas por nossos ancestrais, habilidades estas que lhes valeram a designação de *Homo habilis*, que há cerca de 2 milhões de anos já prenunciava o crescente avanço do gênero *Homo* em relação ao restante da biota. Posteriormente, o *Homo erectus*, descobridor do fogo, já se mostrava capaz de talhar formas específicas nas rochas, voltadas para o corte ou para macerar alimentos.

O sílex passava a ser emoldurado, por exemplo, em caráter biface, voltando-se para diferentes fins em cada extremidade. De certa forma, a habilidade desenvolvida pelo homem na manipulação de determinados recursos minerais possibilita a definição de estágios históricos específicos. O período Paleolítico, que compreende o tempo pré-histórico, período da manipulação de ferramentas líticas, é sucedido pelo chamado Neolítico, marcado pelo advento da cerâmica e da metalurgia há aproximadamente 7 mil anos. Com a manipulação dos metais, o homem pela primeira vez se deparava com uma substância capaz de ser transformada em objetos e utensílios os mais diversos, como vasos, estatuetas e armas.

O domínio da metalurgia de determinados recursos minerais e seu aprimoramento acompanham de forma inequívoca a evolução das sociedades humanas e de suas técnicas. O avanço das práticas metalúrgicas foi desigual ao longo do planeta. Em relativo anacronismo, diferentes regiões foram progressivamente substituindo o uso predominante dos materiais líticos em prol da utilização dos metais. O aprofundamento nos conhecimentos das chamadas ligas metálicas, enfaticamente do cobre com o estanho, fez com que o período compreendido entre 2000 e 1000 a.C. ficasse conhecido como Idade do Bronze. Para esse período, são encontradas pinturas egípcias reveladoras da prática de fundição dos metais para a fabricação de artefatos e outros utensílios.

O período que sucede à Idade do Bronze é dominado Idade do Ferro. Novamente, é bastante complicado o estabelecimento de patamares temporais para este estágio de desenvolvimento da técnica, uma vez que a metalurgia do ferro também se desenvolveu de forma desigual. Na verdade, registra-se seu uso de forma esparsa e assistemática desde a antiguidade histórica mais remota, porém sua disseminação notoriamente se deu a partir de 1100 anos a.C. no Oriente Médio, atingindo posteriormente a Ásia Menor e Europa.

O homem vem, portanto, utilizando os recursos minerais ao longo de seu desenvolvimento cultural na fabricação de suas armas, de seus ornamentos, de suas moradias, na saúde e na confecção de seus objetos de uso cotidiano. Basta olhar para os materiais utilizados na construção civil, como a areia e a base de silício; ou para o urânio, que compõem a matriz energética de uma série de países. Que se observem os tijolos fabricados a partir de minerais de argila, ou mesmo os minerais existentes no solo, determinantes para a regulação de sua acidez e de sua capacidade de troca catiônica, interferindo decisivamente em sua fertilidade natural e na produção de alimentos. É coerente dizer que a história do homem acompanha, em certa medida, a história da mineração e da metalurgia, com as quais estabelece importantes sobreposições.

Segundo a mitologia, importante referência para o conhecimento das cosmovisões existentes anteriormente ao advento da filosofia ocidental, foi o titã Prometeu que teria ensinado a mineração ao homem. Esses símbolos e alegorias utilizadas na infância da sociedade denotam as relações estreitas entre o homem e o reino mineral, que tem sido tomado como valioso recurso através dos tempos.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Um homem se sentou em cima de um cachorro. Qual o nome do filme?

RESPOSTA:

“Sento em um” dálmata.

ELEMENTOS QUÍMICOS, CRISTALOGRAFIA E CRISTALOQUÍMICA

Elementos químicos

Existem elementos que estão presentes num organismo, porém não são essenciais. A comprovação e verificação da deficiência de um elemento num organismo é um estudo muito complicado, devido às pequenas concentrações que atuam. É possível que o elemento se incorpore ao organismo de maneira inadvertida, e o organismo utilize as reservas que possui. São situações de difícil observação pelos estudiosos, durante algum tempo.

Normalmente, a essencialidade se demonstra quando uma função biológica para algum composto do elemento é descoberta. Acredita-se que estes elementos químicos são convertidos em essenciais devido a abundância e acessibilidade. Assim, existe uma boa relação entre a essencialidade de um elemento e a sua abundância na crosta terrestre e na água do mar.

Há casos em que o elemento é abundante, mas não é essencial. Isto se explica pela dificuldade que o organismo apresenta em disponibilizá-lo. Por exemplo, o alumínio é um elemento muito abundante na crosta terrestre e não é essencial, seguramente porque forma compostos insolúveis em água e os organismos não podem captá-los facilmente.

As condições têm mudado desde o início da vida e os organismos têm podido se adaptar às mudanças ocorridas. Por exemplo, o ferro agora é pouco acessível, pois é encontrado principalmente como Fe^{+3} que forma compostos pouco solúveis, sendo necessário os organismos formarem complexos solúveis para captá-lo. Quando a atmosfera era menos oxidante era encontrado principalmente na forma de Fe^{+2} , que forma compostos mais solúveis.

Cristalografia

Diante da diversidade dos minerais ditos cristalinos, a cristalografia cuidou de agrupar os cristais de acordo com o seu padrão de cristalização: os chamados sistemas cristalinos.

Todos os minerais possuem uma simetria definida pelo arranjo de suas faces, o que permite o agrupamento dos mesmos em diferentes classes. Chama-se plano de simetria o plano imaginário no qual o cristal pode ser dividido em duas partes, cada uma delas na forma de um cristal perfeitamente desenvolvido. O eixo de simetria de rotação, por sua vez, consiste numa linha imaginária através de um cristal em torno do qual ele pode ser girado de forma que se repita a si mesmo em aparência duas ou mais vezes durante uma rotação completa.

Existe também o chamado eixo de simetria de inversão rotatória, que é um elemento de simetria composto que combina uma rotação em torno de seu eixo com inversão através do centro, sendo que ambas as operações devem ser completadas antes que se obtenha a nova posição.

Elementos de simetria

Os elementos de simetria se organizam em trinta e duas combinações possíveis, originando trinta e duas classes de cristais, que posteriormente são agrupadas em cerca de seis sistemas cristalinos, elencados a seguir:

- 1) Sistema isométrico.
- 2) Sistema hexagonal.
- 3) Sistema tetragonal.
- 4) Sistema ortorrômbico.
- 5) Sistema monoclínico.
- 6) Sistema triclínico.

Sistema isométrico

Grupo de cristais que possuem quatro eixos ternários de simetria e são referidos aos três eixos perpendiculares entre si, de comprimentos iguais.

EXEMPLOS:

- ✓ Galena (PbS).
- ✓ Cuprita (Cu₂O).

Sistema hexagonal

Congrega os cristais que apresentam um eixo de simetria único ternário ou senário, referidos a quatro eixos cristalográficos: três eixos horizontais iguais que se cortam em ângulos de 120° e um quarto eixo de comprimento diferente e perpendicular ao plano dos outros três.

EXEMPLO:

- ✓ Zincita (ZnO).

Sistema tetragonal

Cristais caracterizados por um único eixo de simetria quaternário. Os cristais são referidos a três eixos mutuamente perpendiculares, com os dois eixos horizontais de igual comprimento e o eixo vertical mais curto ou mais longo que os outros dois.

EXEMPLOS:

- ✓ Pirolusita (MnO_2).
- ✓ Cassiterita (SnO_2).

Sistema ortorrômbico

Cristais com três elementos de simetria binária, ou seja, planos de simetria ou eixos de simetria binários. Consistem em três eixos perpendiculares entre si, todos eles de comprimento diferente.

EXEMPLOS:

- ✓ Calcocita (Cu_2S).
- ✓ Goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$).

Sistema monoclínico

Agrupar os cristais caracterizados por um eixo de simetria único, binário, ou por um plano de simetria único, ou ainda pela combinação de um eixo binário e um plano de simetria. Dessa forma, os cristais deste sistema são referidos aos três eixos desiguais, dois dos quais encontram-se inclinados entre si formando um ângulo oblíquo, sendo o terceiro perpendicular ao plano dos outros dois.

EXEMPLO:

- ✓ Jamesonita ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$).

Sistema triclínico

Cristais com um eixo de simetria unitário, que pode ser um eixo simples rotatório ou um eixo unitário de inversão rotatória. Os cristais são referidos aos três eixos desiguais, que se cortam formando ângulos oblíquos.

EXEMPLO:

✓ Ulexita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$).

Formas de cristal

A aparência externa de um cristal é denominada **forma**, que consiste em um grupo de faces do cristal com a mesma relação com os elementos de simetria e exibindo as mesmas propriedades físicas e químicas, uma vez que todas são formadas pelos mesmos átomos no mesmo arranjo geométrico.

Segundo Dana (1981), as formas de um cristal podem ser as seguintes:

- **Pédio** – Forma dada por uma face única.
- **Pinacoide** – Constituída por duas faces paralelas.
- **Domo** – Duas faces não paralelas simétricas em relação a um plano de simetria.
- **Esfenoide** – Duas faces não paralelas simétricas em relação a um eixo de simetria binário.
- **Biesfenoide** – Forma de quatro faces, na qual duas faces do esfenoide superior se alternam com duas do esfenoide inferior.
- **Prisma** – Forma composta por 3, 4, 6, 8 ou 12 faces, todas elas paralelas ao mesmo eixo.
- **Pirâmide** – Forma composta de 3, 4, 6, 8 ou 12 faces não paralelas que se encontram em um ponto.
- **Escalenoedro** – Formas fechadas com 8 faces (tetragonal) ou 12 faces (hexagonal), estas agrupadas em pares simétricos.
- **Trapezoedro** – Formas de 6, 8 ou 12 faces, com 3, 4 ou 6 faces acima giradas em relação a 3, 4 ou 6 faces abaixo.
- **Bipirâmide** – Formas fechadas de 6, 8, 12, 16 ou 24 faces formadas por pirâmides mediante reflexão sobre um plano de simetria horizontal.
- **Romboedro** – Forma fechada composta de seis faces, cujas arestas de intersecção não formam ângulos retos entre si.

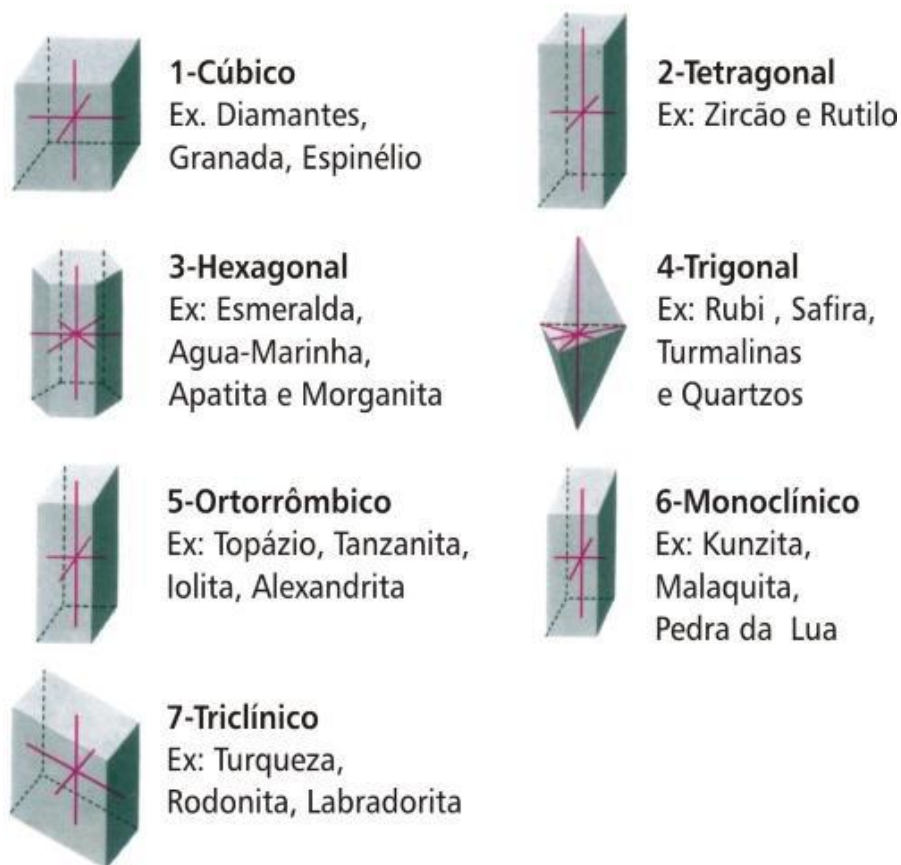


Figura 1: Formas gerais com as quais os cristais se encontram na natureza.

Classes minerais

De acordo com Dana (1981), a composição química é a base para a classificação dos minerais, que podem ser divididos em classes dependentes do **ânion** ou grupo **aniônico dominante**. Os minerais que apresentam o mesmo ânion ou grupo aniônico dominante em sua composição apresentam semelhanças mais significativas e acentuadas do que as partilhadas pelos minerais que apresentam o mesmo cátion dominante.

Nessa perspectiva, os carbonatos se assemelham entre si mais intimamente do que se verifica, por exemplo, nos minerais de cobre. Além disso, os minerais que se relacionam pela dominância do mesmo ânion tendem a ocorrer agrupados ou em ambientes geológicos semelhantes; dessa forma, os sulfetos ocorrem em associações em depósitos do tipo filão, ao passo que os silicatos vão constituir a grande massa das rochas terrestres.

As classes segundo as quais os minerais são agrupados com base no ânion ou grupo aniônico dominante são as seguintes (DANA, 1981):

Elementos nativos

Cerca de 20 elementos que se encontram como minerais sob a forma não combinada.

EXEMPLO:

✓ Ouro (Au).

Sulfetos

Classe composta pela combinação de metais com o enxofre, selênio e telúrio.

EXEMPLO:

✓ Galena (PbS).

Sulfossais

Minerais de chumbo, cobre ou prata em combinação com o enxofre e antimônio.

EXEMPLO:✓ Enargita (Cu_3AsS_4).Óxidos Simples

Classe que agrupa os metais em combinação com o oxigênio e óxidos minerais contendo água ou hidroxila (OH) como radical importante (Hidróxidos).

EXEMPLOS:✓ Hematita (Fe_2O_3).✓ Brucita $\text{Mg}(\text{OH})_2$.Haloides

Classe que inclui os cloretos, fluoretos, brometos e iodetos naturais.

EXEMPLO:✓ Fluorita (CaF_2).Carbonatos

Agrupam-se aqui os minerais cuja fórmula inclui o radical carbonato (CO_3).

EXEMPLO:

✓ Calcita (CaCO_3).

Nitratos

Minerais que podem ser considerados sais do ácido nítrico e contém o radical NO_3 .

EXEMPLO:

✓ Nitro (KNO_3).

Boratos

Minerais que contém o grupo BO_3 .

EXEMPLO:

✓ Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

Fosfatos

Classe que inclui os minerais cujas fórmulas contém o radical PO_4 .

EXEMPLO:

✓ Apatita ($\text{Ca}_5(\text{F, Cl}) - (\text{PO}_4)_3$).

Sulfatos

Minerais cuja fórmula incorpora o radical sulfato (SO_4).

EXEMPLO:

✓ Barita (BaSO_4).

Tungstatos

Engloba um número reduzido de minerais que apresentam o radical tungstato (WO_4).

EXEMPLO:

✓ Scheelita (CaWO_4).

Silicatos

Representam a classe de minerais mais abundante, formada por minerais de composição química complexa formada pela combinação de vários elementos comuns (sódio, cálcio, potássio, alumínio, ferro, magnésio, etc.) com silício e oxigênio.

EXEMPLO:

✓ Quartzo (SiO_2).

As classes elencadas acima se subdividem em famílias, que por sua vez podem ser dissociadas em grupos semelhantes do ponto de vista estrutural e cristalográfico. Um grupo pode ser subdividido em espécies, as quais podem formar séries ou apresentar diversas variedades.

Alguns minerais quimicamente idênticos podem se apresentar na natureza segundo propriedades físicas diferentes. A tal fenômeno dá-se o nome de polimorfismo ou alotropia; os compostos que ocorrem em duas modificações são os ditos dimorfos, e em três congregam-se os chamados minerais trimorfos. Exemplo típico é o diamante e a grafita, minerais que não se pode distinguir quimicamente, mas que apresentam diferenças essenciais em seu sistema cristalino e propriedades físicas, esta última, inclusive, polarizada no extremo inferior e superior da escala de Mohs.

A figura a seguir (*figura 2*) ilustra alguns casos clássicos de dimorfismo no reino mineral.

SUBSTÂNCIA QUÍMICA	MINERAL	SISTEMA CRISTALINO	DUREZA	DENSIDADE RELATIVA
C	DIAMANTE	ISOMÉTRICO	10	3,5
	GRAFITA	HEXAGONAL	1	2,2
FeS_2	PIRITA	ISOMÉTRICO	6	5,0
	MARCASSITA	ORTORRÔMBICO	6	4,85
CaCO_3	CALCIT	ROMBOÉDRICO	3	2,71
	ARAGONITA	ORTORRÔMBICO	3 $\frac{1}{2}$	2,95

Figura 2: Tabela com a comparação entre as propriedades físicas de minerais quimicamente dimorfos.

A leitura do quadro faz notar que as três duplas de minerais dimorfos exemplificadas distinguem-se fundamentalmente em seu sistema cristalino, principal propriedade distintiva.

No que tange à densidade e dureza, percebe-se que os valores são semelhantes (idênticos na dureza da pirita e marcassita), exceção feita às durezas do diamante e da grafita, gritantemente distintas e posicionadas nos dois extremos da escala, conforme anteriormente mencionado.

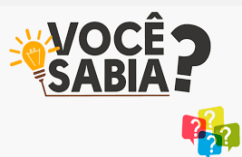
Cristaloquímica

A investigação dos aspectos cristaloquímicos dos minerais está intimamente ligada à **Química inorgânica**, cujo domínio abrange os 89 elementos químicos naturais e os vinte que não ocorrem na natureza, com os quais é possível formar uma infinidade de compostos. No entanto, o número de minerais atualmente conhecidos é próximo de 4000, e apenas cerca de 50 novos minerais são descobertos a cada ano.

Dentre os minerais conhecidos, pouco mais de 40 são os constituintes principais das rochas mais comuns e são denominados minerais formadores de rochas ou minerais petrográficos. Obviamente, os silicatos são os minerais formadores de rocha mais abundantes.

Além dos minerais petrográficos, existe um grupo de cerca de 30 minerais que ocorrem como constituintes menores em muitos tipos de rochas. Estes, geralmente, estão presentes em quantidades inferiores a 5 % e são referidos como minerais acessórios.

Existe ainda um grupo de minerais menos comuns, constituído principalmente por óxidos e sulfetos, que formam concentrações locais, nos depósitos de minério, que são lavrados e processados para obtenção dos metais necessários à indústria. Dos 89 elementos químicos naturais, alguns são tão raros que não formam minerais sob qualquer circunstância.



VOCÊ SABIA?

Quartzo rosa, Ametista e Ágatas

O Quartzo rosa e a Ametista, podem se tornar pálidas com a exposição prolongada ao sol.

Já as Ágatas, para perderem sua coloração, além da exposição ao sol, também é necessário que elas sejam imersas em solução de água e sal.

ESTRUTURAS GEOQUÍMICAS

Camadas da Terra

O estudo das camadas da Terra é realizado na superfície, observando seus fenômenos. As camadas da Terra possuem duas abordagens distintas, uma segundo a composição química e a outra conforme o comportamento físico.

Pela classificação segundo a composição química, a Terra está dividida em **crosta**, **manto** e **núcleo**. Quanto ao aspecto físico divide-se em **litosfera**, **astenosfera**, **mesosfera**, **núcleo externo** e **núcleo interno**.

Todas as camadas da Terra são distintas, esse fato ocorre em razão de sua composição química, temperatura e espessura. A superfície da Terra é a mais conhecida pelo homem, até por que é justamente nela que vivemos e retiramos tudo aquilo que julgamos necessário para a manutenção das sociedades, além disso, as camadas endógenas (internas) detêm altíssimas temperaturas que dificultam o acesso para a coleta de dados que podem servir para o desenvolvimento de pesquisas e estudos.

As camadas por composição química são:

- Crosta terrestre.
- Manto.
- Núcleo.

Crosta terrestre

Corresponde à fina camada da superfície terrestre, é composta por rochas sólidas constituídas por oxigênio, silício, alumínio, magnésio e ferro, essa parte do planeta possui 40 quilômetros de espessura.

Manto

Compreende a segunda camada, possui 2.900 quilômetros de extensão e conserva uma temperatura elevada que atinge 3.400°C. O minério responsável pela formação dessa camada da Terra é o magma, constituído por silício e magnésio.

Núcleo

Essa parte da Terra é a mais intrigante, pois praticamente não existe conhecimento sobre ela. Entretanto, sabe-se que é formada por minérios como ferro e níquel. O núcleo se divide em núcleo interno (extensão de 2.250 km e 3.000°C) e núcleo externo (extensão de 1.220 km e atinge uma temperatura de aproximadamente 6.000°C).



PAUSA PARA REFLETIR...

Nunca conheci um homem tão ignorante que não pudesse aprender algo com ele.

Galileu Galilei.

PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS

Propriedades dos minerais

Muitas são as características físicas e químicas. Elas variam de espécie a espécie e, até no mesmo indivíduo considerado. Vamos estudá-las separadamente.

Propriedades físicas

Cor

Alguns minerais são incolores. Muitos, porém, apresentam coloração característica, dividindo-se, então, em idiocromáticos, alochromáticos e policromismo:

- **Minerais idiocromáticos:** são os que possuem cor própria. Assim, o ouro é sempre amarelo, a prata é sempre branca, etc.
- **Minerais alochromáticos:** são os que possuem cor accidental. Exemplo é o berilo: quando verde, é a esmeralda; quando azulado, é a água-marinha, etc. Há turmalinas que mostram zonas bem distintas de cor verde, rósea, quando não brancas. Esse fenômeno se denomina policromismo.
- **Policromismo:** fenômeno que consiste em um mineral alochromático apresentar, ao mesmo tempo diversas colorações.



Figura 3: Berilo, exemplo de mineral alochromático.

Brilho

É o efeito da reflexão da luz sobre a superfície do mineral. Há o brilho vítreo (ou de um pedaço de vidro), metálico (ou de qualquer metal), adamantino ou do diamante, etc.

Transparência

É a propriedade de se deixarem os minerais atravessar pela luz. Desse ponto de vista, dividem-se em:

- **Transparentes:** se deixam atravessar inteiramente por ela (esmeralda);
- **Translúcidos:** se deixam atravessar: parcialmente (ônix);
- **Opacos:** não deixam atravessar pela luz (jaspe).

Tenacidade

É resistência que o mineral opõe à ruptura. Essa propriedade está ligada à força de coesão interna de suas moléculas. Com efeito, se o mineral resiste, por exemplo, a uma forte martelada, diz-se que é tenaz. Caso contrário, é frágil. O ferro é o mais tenaz dos minerais.

Dureza

A dureza é a resistência ao risco. Ao contrário da tenacidade, ela é devida à coesão externa das moléculas. Segundo sua maior ou menor dureza, se dividem em muito moles (os que se deixam riscar pela unha); moles (os que deixam riscar pelo canivete); duros (que não riscam o vidro); muito duros (que riscam o vidro) e duríssimos (que riscam todos os minerais e não se deixam riscar por nenhum). O talco é um mineral muito mole e o diamante, o mais duro (duríssimo) dos minerais.

Fusibilidade

Fusibilidade é uma propriedade física muito conhecida: os corpos sólidos, sob a ação do calor, se fundem. Nesse particular, os minerais se dividem em facilmente fusíveis, dificilmente fusíveis e praticamente infusíveis. Os primeiros se fundem à chama de uma vela; os segundos, somente a temperaturas mais elevadas, utilizando-se o maçarico. Entre os últimos, acha-se o quartzo, que só vem a se fundir sob temperatura acima de 1700° C.

Propriedades mecânicas

Entre as propriedades mecânicas, citaremos as seguintes:

- **Flexibilidade:** alguns se deixam dobrar sem quebrar. O amianto é flexível.

- **Elasticidade:** certos minerais voltam à posição primitiva depois de terem sido flectidos. A mica é elástica
- **Maleabilidade:** alguns podem ser reduzidos a lâminas, sem se romper. O ouro é maleável.
- **Ductilidade:** alguns se deixam reduzir a fios. A platina é dúctil.
- **Sectilidade:** certos minerais se deixam cortar. A prata é séctil.
- **Plasticidade:** Certos elementos se deixam modelar. O gesso é plástico.
- **Graficidade:** São os que deixam traço. Bom exemplo é o grafite, material com que fabricamos o lápis.



Figura 4: Exemplo de mineral (Grafite).

Propriedades térmicas

A dilatação é a principal propriedade térmica dos minerais. Os amorfos (e os que cristalizam no sistema cúbico) se dilatam em todas as direções (são isótropos), enquanto os demais cristalizados se dilatam em determinadas direções (anisótropos). O mesmo se pode dizer relativamente à condutibilidade, outra propriedade térmica dos mesmos.

Propriedades elétricas

Os minerais podem ser eletrizados pelo calor e pelo atrito (piezoelectricidade) e pela compressão (piezoelectricidade). Quanto à piezoelectricidade, citemos a calcita: basta comprimi-la fortemente e, entre os dedos, para a vermos eletrizada. A turmalina se eletriza de uma maneira curiosa: atritando-se uma de suas extremidades, a outra é também eletrizada. É o que se chama eletricidade polar.

Propriedades óticas

Além da cor, do brilho e da transparência, já estudadas, lembremos a refração, fenômeno segundo o qual, um raio luminoso, passando de um meio transparente a outro, sofre um desvio. A refração, nos minerais, pode ser simples (quando se verifica um único raio refratado, como se dá em qualquer mineral amorfo) e dupla, quando se assinalam dois raios refratados, como na calcita. Os minerais que apresentam refração simples são chamados monorrefringentes; os que apresentam refração dupla, são birrefringentes.

Propriedades químicas

O exame químico muito nos auxilia a caracterizar a espécie a que pertencem, sendo o mais importante o exame qualitativo, que pode ser feito por via úmida e por via seca. O exame por via úmida se faz com o auxílio de ácidos, na seguinte ordem: ácido clorídrico, ácido azótico e ácido sulfúrico. Deve-se ter o cuidado de antes reduzir a pó o mineral, colocando-o, em seguida, num tubo de ensaio. Geralmente, provoca-se a reação a frio; caso não dê resultado, tenta-se a quente.

EXEMPLO:

Exame químico por via seca

O exame por via seca se faz com o auxílio do fogo. São diversos os processos de estudos das propriedades dos minerais, sendo um dos mais interessantes o da coloração da chama. Basta levar à chama do bico de Bunsen (bico de gás existente nos laboratórios) um fragmento do mineral, preso por uma pinça; a chama toma uma coloração especial. Assim, o sódio dá coloração amarela; o potássio, roxa, o cálcio, vermelha, o cobre, verde, etc.

Classificação dos minerais

Vejamos como os minerais são classificados:

- **Elementos Nativos** - são os minerais formados por apenas um elemento químico, que ocorrem no estado nativo.

EXEMPLOS:

- ✓ Ouro (Au), Prata (Ag).
- ✓ Bismuto (Bi).

- ✓ Arsênio (As).
- ✓ Diamante (C).
- ✓ Enxofre (S).

- **Sulfetos** - são os minerais constituídos de combinações de vários metais com As, S ou Te.

EXEMPLOS:

- ✓ Arsenopirita (FeAsS).
- ✓ Calaverita (AuTe_2).
- ✓ Galena (PbS).
- ✓ Skutterudita $[(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Fe})\text{As}_8]$.

- **Sulfossais** - são os minerais compostos de Ag, Cu e Pb em combinação com Sb e S, As e S e, Bi e S.

EXEMPLOS:

- ✓ Estefanita (Ag_3SbS_4).
- ✓ Enargita (Cu_3AsS_4).

- **Óxidos** - são os minerais que contêm um metal em combinação com o Oxigênio.

EXEMPLOS:

- ✓ Cassiterita (SnO_2).
- ✓ Hematita (Fe_2O_3).

- **Hidróxidos** - são os minerais que apresentam a hidroxila (**OH**) como radical mais importante, podendo conter também moléculas de água.

EXEMPLO:

- ✓ Brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

- **Haloides** - são os minerais que apresentam como radicais (ânions) os seguintes elementos: Cl, F, I e Br.

EXEMPLOS:

- ✓ Halita (NaCl).
- ✓ Fluorita (CaF_2).
- ✓ Iodirita (AgI).
- ✓ Bromirita (AgBr).

- **Silicatos** - são os minerais constituídos por vários elementos, dos quais os mais comuns são o Al, o Fe, o Ca, o Na, o K e o Mg, em combinação com o Si e O.

EXEMPLOS:

- ✓ Cianita (Al_2SiO_5).
- ✓ Olivina [$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$].

- **Carbonatos** - nesta classe estão os minerais cujas fórmulas incluem o radical CO_3 .

EXEMPLOS:

- ✓ Calcita (CaCO_3).
- ✓ Malaquita [$\text{Cu}_3\text{CO}_3(\text{OH})_2$].

- **Sulfatos** - minerais que apresentam como radical o SO_4 .

EXEMPLOS:

- ✓ Barita (BaSO_4).
- ✓ Gipso (CaSO_4).

- **Fosfatos** - minerais com o radical PO_4 .

EXEMPLO:

- ✓ Apatita [$\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$].

- **Tungstatos** - minerais com o radical WO_4 .

EXEMPLOS:

- ✓ Scheelita (CaWO_4).
- ✓ Wolframita $[(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4]$.

- **Nitratos** - minerais com o radical NO_3 .

EXEMPLOS:

- ✓ Nitro (KNO_3).
- ✓ Salitre do Chile (NaNO_3).

- **Boratos** - minerais que contêm o grupo aniônico formado por B e O.

EXEMPLOS:

- ✓ Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).
- ✓ Boracita ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$).

- **Arseniato** - radical AsO_4 .

EXEMPLO:

- ✓ Mimetita $[\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{AsO}_4)_3]$.

- **Molibdatos** - radical MoO_4 .

EXEMPLO:

- ✓ Powellita (CaMoO_4).

- **Vanadatos** - radical VO_4 .

EXEMPLO:

- ✓ Vanadinita $[\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3]$.

OBSERVAÇÕES:

- ✓ A classe de minerais mais abundante na Crosta são: **Silicatos**.
- ✓ A maioria dos minerais-minérios são: **Óxidos e Sulfetos**.

**VOCÊ SABIA?*****Cristais***

Devido a sua composição e estrutura ordenada, os cristais são utilizados como concentradores de energia nos lasers, em componentes de aparelhos eletrônicos, nas lentes ópticas, relógios e outros equipamentos de precisão, em chips de computadores, celulares, etc.

São muito usados também para meditação, para cura, para restabelecer o equilíbrio dos centros de força vital de nosso corpo (os chakras), ou para energizar/tratar um ambiente. Pendurar cristais de quartzo transparente em alguma entrada da casa, como porta ou janela, faz com que haja movimento e renovação da energia ch'i, permitindo o estabelecimento da harmonia e do bem-estar, conforme os mestres do Feng Shui.

Nosso pensamento também é energia. Um cristal pode ser 'programado' com a energia de nossa mente e ser usado, com técnicas de visualização criativa, entre outras, para transformar e melhorar nossa saúde e nossa vida.

AMOSTRAGEM E TRATAMENTO DE MINÉRIOS

Para a determinação do desempenho de um processo de tratamento de minérios, é extremamente importante que se tenha o conhecimento sobre o balanço de massa e da concentração de elementos nos diferentes fluxos circulantes no equipamento. A determinação de dadas características e/ou propriedades de um fluxo só pode ser realizada em uma pequena fração do mesmo, que denominamos amostra. Tal amostra deve representar da melhor maneira possível o fluxo amostrado.

Amostragem de minérios

Os sistemas particulados são caracterizados por misturas que apresentam composição, forma e tamanhos variados, logo, para se obter amostras representativas, é extremamente importante que os critérios de amostragem sejam bem estabelecidos, pois quando os procedimentos de coleta e seleção de amostras não são conduzidos de maneira correta e eficaz, os resultados das análises, não corresponderão às características da massa original, podendo nos levar a conclusões incorretas.

A amostragem de minérios pode ser definida como um conjunto de operações que visam a obtenção de uma amostra representativa de um determinado universo ou população. A representatividade de uma amostra se dá quando propriedades como constituintes mineralógicos, teor dos diversos elementos, distribuição granulométrica e massa específica, por exemplo, estimadas com base nessa amostra, apresentem uma variabilidade estatisticamente aceitável.

A elaboração do plano de amostragem tem como base a determinação de qualidade, participando das definições do universo amostrado, do objetivo e a sequência de operações a serem realizadas. A escolha do sistema de amostragem baseia-se em vários fatores, como tamanho das partículas, umidade, massa específica, entre outros.

A obtenção da amostra consiste na determinação do número e sequência de coletas, precisão requerida para a amostragem, características dos fluxos, etc. A preparação da amostra trata-se do conjunto de operações necessárias para adequar a amostra ao método de determinação do parâmetro de qualidade. Pode-se citar a secagem, redução, homogeneização e quarteamento.

A determinação de um parâmetro de qualidade consiste em análises que determinarão, de forma qualitativa, o universo amostrado, tais como teores de vários elementos, distribuição e variação granulométrica, umidade etc. Logo, muitas vezes se fazem necessárias coletas de diversas porções em posições, locais e intervalos de tempo diferentes com o objetivo de compor uma amostra, cada porção retirada de um lote é denominada incremento.

A composição dos vários incrementos constitui uma amostra primária, que pode ser denominada como a quantidade de material manipulável resultante da amostragem. Tal amostra primária possui massa superior àquela adequada para a realização de análises e testes de processamento. Então, a amostra primária passa por processo de redução granulométrica e de massa, resultando assim em uma amostra final.

Para se chegar a uma amostra final, é necessário que a amostra inicial seja dividida em partes de menor massa. O quarteamento é a operação responsável por esse processo. Esta operação pode ser realizada manualmente ou com auxílio de quarteadores mecânicos.

Caracterização de uma amostra de minério

A mineralogia aplicada ao beneficiamento de minério é um ramo da mineralogia tradicional e 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 um depósito mineral relativo à petrologia, litoestratigrafia, geologia estrutural, geologia econômica, mineralogia descritiva, etc., 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, pressupõem-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, com aquelas fornecidas pelas análises químicas, devem ser suficientes para orientar o planejamento das sequências e/ou etapas adequadas ao beneficiamento.

Tratamento de minérios

Tratamento ou Beneficiamento de Minérios consiste em operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais. Há autores que defendem um conceito mais amplo para o tratamento de minérios, como sendo um processamento no qual os minerais podem sofrer até alterações de ordem química, resultantes de simples decomposição térmica ou mesmo de reações típicas geradas pela presença do calor. A aglomeração de finos de minérios (briquetagem, sinterização e pelotização), a ustulação e a calcinação são consideradas, dentro desse conceito mais abrangente, como tratamento de minérios.

As operações de concentração e separação seletiva de minerais, baseiam-se nas diferenças de propriedades entre o mineral-minério (o mineral de interesse) e os minerais de ganga. Entre estas propriedades se destacam: massa específica (ou densidade), suscetibilidade magnética, condutividade elétrica, propriedades de química de superfície, cor, radioatividade, forma etc. Em muitos casos, também se requer a separação seletiva entre dois ou mais minerais de interesse. Para um minério ser concentrado, é necessário que os minerais estejam fisicamente liberados. Isto implica que uma partícula deve apresentar, idealmente, uma única espécie mineralógica.

Para se obter a liberação do mineral, o minério é submetido a uma operação de redução de tamanho (cominuição), isto é, britagem e/ou moagem, que pode variar de centímetros até micrômetros. Como as operações de redução de tamanho são caras (consumo de energia, meio moedor, revestimento etc.), deve-se fragmentar só o estritamente necessário para a operação seguinte.

Para evitar uma cominuição excessiva, faz-se uso de operações de separação por tamanho ou classificação (peneiramento, ciclonação etc.), nos circuitos de cominuição. Uma vez que o minério foi submetido à redução de tamanho, promovendo a liberação adequada dos seus minerais, estes podem ser submetidos à operação de separação das espécies minerais, obtendo-se, nos procedimentos mais simples, um concentrado e um rejeito.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

O que acontece quando a galinha bate a cabeça?

RESPOSTA:

Nasce um galo.

TÉCNICAS DE ANÁLISE QUÍMICA EM MINERAÇÃO

A química possui papel estratégico na exploração, identificação, desenvolvimento e compreensão da estrutura interna e externa de cada elemento químico que compõe os minerais. É por meio de técnicas utilizadas em química analítica, que se é possível qualificar e quantificar a pureza de um determinado elemento químico em uma dada amostragem de minério.

Dentre as técnicas mais utilizadas, merecem destaque a:

- Espectrofotometria no ultravioleta visível.
- Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

Espectrofotometria

Espectrofotometria de absorção no UV-Visível

A espectrofotometria pode ser definida como toda técnica analítica que usa a luz para medir as concentrações das soluções, através da interação da luz com a matéria. A luz, de uma maneira geral, é mais bem descrita como sendo uma radiação eletromagnética em virtude de sua natureza dualística. Ou seja, ela existe e tem um comportamento de campos elétricos e magnéticos oscilantes.

A técnica espectroscópica é baseada no aumento de energia em função do aumento da frequência da radiação incidida. Quando uma espécie química absorve energia na forma de fótons, seus elétrons ficam excitados e ocorre uma transição de um orbital de mais baixa energia para outro de maior energia.



Figura 5: Espectroscopia UV/visível.

Componentes principais de um espectrofotômetro e suas respectivas funções:

- **Fonte de Luz:** é composta por uma lâmpada de deutério e uma lâmpada de tungstênio (semelhante à lâmpada de carro). A lâmpada de deutério emite radiação UV e a de tungstênio emite luz visível.
- **Monocromador:** alguns espectrofotômetros ainda possuem um prisma como monocromador, porém os mais modernos possuem dispositivos eletrônicos que transformam a luz incidida em vários comprimentos de onda, em um só comprimento, ou seja, a luz monocromática.
- **Cubeta:** é o recipiente propício para conter a amostra que será utilizada na análise. Podem ser de quartzo, vidro e acrílico, porém recomenda-se que seja usada uma cubeta de quartzo por que o vidro e o plástico absorvem UV e causa a reflexão da luz visível.
- **Detector:** o detector é um dispositivo que detecta a fração de luz que passou pela amostra e transfere para o visor e para o computador acoplado ao aparelho.

Análise espectrofotométrica

- **Passo 1:** a amostra deve ser preparada com a quebra da amostra por métodos mecânicos, químicos ou físicos;
- **Passo 2:** a amostra é solubilizada no solvente escolhido em um balão volumétrico limpo e seco.

OBSERVAÇÕES:

O solvente na maioria das vezes é água, porém, quando se tratar de amostras apolares que precisam ser diluídas em solvente orgânico nunca utilize alcenos, alcinos, cetonas ou qualquer outro que tenha ligações:



ou



ou

triplas

- **Passo 3:** em uma cubeta é colocado o solvente puro e lido no comprimento de onda o mesmo que será lida a amostra, esse procedimento é chamado leitura em branco,

e tem como finalidade minimizar os erros causados, pela absorção luz ocasionados pelo vidro e pela água;

- **Passo 4:** a amostra é filtrada em uma membrana de 0,2 μm , por que a solução deve estar totalmente límpida a fim de diminuir ao máximo o erro causado por partículas em suspensão, a cubeta contendo o branco é retirado do equipamento e sua absorção anotada. Após esse processo, a solução de interesse é lida, e dessa absorbância é subtraída a leitura do branco.

Cuidados em espectrofotometria

Vejamos alguns cuidados que devemos ter em espectrofotometria:

- ✓ É imprescindível que o equipamento seja calibrado e manuseado de acordo com as instruções do fabricante, que já indica a margem de erro que o aparelho tem.
- ✓ Evitar erros de leitura. Certificar-se de que o equipamento esteja fechado. Antes da leitura, a luz do ambiente pode interferir no resultado.
- ✓ Manter sempre limpo e fechado, a fim de evitar o acúmulo de partículas de poeira que interferem na análise. Em hipótese alguma, toque a cubeta com as mãos sem luvas: nossas mãos contêm gorduras que interferem na leitura.
- ✓ Só podem ser analisados por espectrofotometria de absorção, compostos que absorvem luz.
- ✓ Em caso de soluções fortemente coloridas, como permanganatos, complexos altamente coloridos, dicromatos, cromatos e outros compostos com cores altamente acentuadas, devem ser feitas no mínimo 5 diluições de concentração conhecida e lidas no espectrofotômetro, e uma curva analítica deverá ser traçada para determinar o coeficiente de extinção molar. Soluções muito concentradas tendem a provocar erros de leitura porque existem muitas moléculas próximas umas das outras.

Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

A ressonância magnética nuclear (RMN) é uma técnica espectroscópica, ou seja, baseia-se no estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria. Especificamente, a RMN estuda a interação da radiação na frequência das ondas de rádio com núcleos atômicos. Quando sujeitos a um campo magnético intenso (B_0), alguns núcleos atômicos – como ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P , entre outros – são capazes de absorver a energia de determinada radiação eletromagnética.

A espectroscopia de RMN analisa a frequência correspondente a esta energia (frequência de ressonância) e o tempo em que os núcleos (após irradiação) levam para voltar à temperatura ambiente. Este tempo de resfriamento é conhecido como tempo de relaxação.

Os núcleos atômicos que estão sujeitos a ambientes químicos e magnéticos diferentes absorvem energia em uma frequência específica e podem ser diferenciados dentro de uma mesma molécula. Da mesma forma, a movimentação molecular e as interações com ambientes magnéticos distintos fazem com que o tempo de relaxação entre os núcleos seja diferente. O tempo de relaxação fornece informações sobre a composição química e as propriedades físico-químicas da amostra.

Aplicações da RMN

Atualmente a ressonância magnética nuclear é a ferramenta mais poderosa utilizada na determinação estrutural de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo também empregada em medidas quantitativas, em análises físico-químicas e outras aplicações.

As aplicações espectroscópicas da RMN podem ser subdivididas em alta e baixa resolução. Os experimentos de RMN de alta resolução (RMN-AR) utilizam espectrômetros de campos magnéticos altos (B_0 de 5 a 20 Teslas) e homogêneos e são baseados nas informações obtidas pela frequência nuclear.

Os experimentos de baixa resolução (RMN-BR) são obtidos com campos magnéticos baixos (inferiores a 2 Teslas) e pouco homogêneos. Neste caso, as medidas são baseadas principalmente no tempo de relaxação. Por este motivo, a técnica também é conhecida como RMN no domínio do tempo ou RMN-DT.

Difração de Raio-X (DRX)

A Difração de Raio-X é uma técnica baseada no princípio de que os planos de difração e suas distâncias interplanares são características de cada substância. Considerando que o padrão de difração por ela gerado também é característico. Sendo assim, é possível identificar a composição química de uma amostra mineral. É largamente utilizada para a caracterização de materiais cristalinos orgânicos e inorgânicos, especialmente na indústria siderúrgica.



Figura 6: Difração de raio-X.

Fluorescência de Raio-X (FRX)

A Fluorescência de Raio-X se assemelha a Difração de Raio-X. A técnica se baseia no fenômeno da fluorescência. Nele, uma substância emite luz quando é exposta à radiação ultravioleta, raios catódicos ou raio-x. Esse processo de emissão ocorre quando a radiação é absorvida, devido às transições eletrônicas dos elétrons excitados pela radiação. Essa técnica permite identificar os elementos químicos presentes em uma amostra, estabelecendo as proporções deles. Ela é bastante utilizada em aplicações industriais, para controle de qualidade e análises exploratórias.



Figura 7: Espectrômetro de fluorescência de raios-X Philips PW1606 com alimentação de amostra automatizada em um laboratório de controle de qualidade de fábrica de cimento.

Por meio desses exemplos de técnicas analíticas é possível perceber que a prospecção e caracterização de uma amostra de minério é extremamente dependente

da análise química. Já que esta facilita determinação da composição mineral, tornando sua exploração e beneficiamento viáveis, como por exemplo a análise de argilominerais por DRX.

PREPARAÇÃO E SEPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Preparação de amostras

A preparação das amostras é a etapa que antecede a realização dos ensaios de caracterização. O processo consiste em SECAR, DESTORROAR, QUARTEAR, PESAR e PENEIRAR a amostra para no final das operações, obter-se uma quantidade suficiente, homogênea e representativa a ser analisada.

No Brasil, há os seguintes documentos normativos para a realização da preparação das amostras:

- ✓ DNER-ME 041/94 Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização.
- ✓ ABNT NBR-6457 – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

As normas citadas estão voltadas para grandes amostras de material amolgado, geralmente coletadas com trado em jazidas ou no subleito de estradas. Entretanto, os ensaios de caracterização são também necessários em materiais oriundos de amostras indeformadas, tais como tubos de parede fina ou blocos escavados. Normalmente, essas amostras não apresentam material de granulação graúda e, portanto, algumas etapas iniciais da preparação são desnecessárias e as quantidades de material manuseado são reduzidas.

Etapas de preparação

A preparação das amostras é feita em cinco etapas:

- 1) Secagem parcial das amostras.
- 2) Destorroamento.
- 3) Quarteamento.
- 4) Pesagem.
- 5) Peneiramento.

Secagem parcial das amostras

A secagem, que é a primeira etapa da preparação, poderá ser feita através de três processos:

- Exposição ao ar.
- Exposição à luz infravermelha.

- Secagem em estufa.

Exposição ao ar

A amostra é espalhada em área aberta, em contato direto com o sol e o ar.

Exposição à luz infravermelha

A amostra é espalhada em bandejas rasas e exposta à luz infravermelha por um período de 12 horas.

Secagem em estufa

A amostra é colocada em estufa, por um período de 12 horas, a uma temperatura máxima de 60° C. Esta alternativa só deverá ser empregada, se houver conhecimento de que a temperatura não mudará as características do material, como pode ocorrer em solos com matéria orgânica.

Destorroamento da amostra

O destorroamento tem como finalidade desagregar as partículas menores das partículas maiores.

A amostra é colocada no almofariz de porcelana, e aos poucos, com auxílio da mão de gral, recoberta de borracha, pressiona-se a amostra, fazendo-se movimentos circulares até se conseguir uma total desagregação das partículas do solo. O destorroamento deve ser feito de maneira que não reduza o tamanho natural das partículas. Para isso a mão de gral deve ter seu recobrimento em perfeito estado.

Quarteamento da amostra

Quarteamento é o processo pelo qual se extrai da amostra total, uma amostra menor, homogênea e representativa da amostra ensaiada. O quarteamento se faz com a amostra destorroada, podendo ser auxiliado por um repartidor de amostras.

No quarteamento direto, a amostra é colocada sobre uma superfície plana e limpa, misturada intensamente com uma pá, se for grande amostra, ou colher se for uma pequena amostra, e arrumada numa pilha cônica. Esse cone é então achatado, por pressão da pá e a seguir a amostra é dividida em quatro partes. Descartam-se duas partes, situadas diametralmente, misturando-se o material restante e repetindo-se com ele o processo de quarteamento, até obter-se uma amostra homogênea, com o peso necessário aos ensaios.

O repartidor de amostras tem como função dividir em duas partes a amostra que nele for lançada, distribuindo o material em duas bandejas. Assim, a amostra original é colocada

em caçambas, arrumadas em diagonal sobre o separador e o solo é despejado, fazendo-se movimentos de vaivém até esgotar toda a amostra da caçamba.

O material de uma das bandejas é descartado, submetendo-se o solo da outra bandeja à nova separação, até se conseguir uma amostra com o peso desejado.

Pesagem

A amostra representativa, obtida no quartejamento, deverá ter cerca de:

- ✓ 1500g Solos argilosos ou siltosos.
- ✓ 2000 g Solos arenosos ou pedregulhosos.

O peso da amostra representativa, obtido com aproximação de 5 g, deve ser registrado como o peso total da amostra seca ao ar.

Peneiramento da amostra

O peneiramento é a última etapa do processo de preparação da amostra e nele o material é separado para os diferentes ensaios.

É recomendável que, antes do peneiramento, se proceda mais um destorroamento, com a finalidade de desagregar todos os torrões, eventualmente existentes, e assim assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha.

Toda a amostra é passada na peneira com abertura de 2,00 mm (nº 10), destinando-se o material como se segue:

Material retido na peneira (nº 10)

Este material é reservado para a granulometria grossa. Entende-se por granulometria grossa, o processo pelo qual se determinam os diâmetros de partículas superiores a 2,0 mm e sua percentagem na amostra total. Na quantidade que ocorrer.

Material que passa na peneira (nº 10)

Para a determinação da umidade higroscópica, isto é o teor de umidade existente em um solo parcialmente seco. Quantidade aproximada de 50 g. Para a execução da granulometria fina, ou seja, para a determinação dos diâmetros das partículas inferiores a 2,0 mm. Quantidade solos argilosos aproximada de 70 g; solos arenosos ou pedregulhos aproximada de 120 g. Para a determinação da densidade real dos grãos - relação entre o peso e o volume real dos grãos sólidos, referida ao peso específico da água. Quantidade aproximada de 10 g. Após a retirada das quantidades acima referidas, o restante do material deve ser passado na peneira com abertura de 0,42 mm (nº 40), objetivando-se a separação de material para a determinação dos limites de consistência.

Material que passa na peneira (nº 40)

Para determinação do limite de liquidez, isto é o teor de umidade que define a transição do estado líquido para o plástico. Quantidade aproximada de 70 g.

Para determinação do limite de plasticidade, isto é o teor de umidade que define a transição do estado plástico para o semissólido. Quantidade aproximada de 50 g.

Para determinação do limite de contração, isto é o teor de umidade que define a transição do estado semissólido para o estado Quantidade aproximada de 50 g.

Separação de amostras**Separação por meio denso**

A separação por meio denso é um método de classificação gravimétrica, sendo considerado o de maior precisão de corte, o qual baseia-se na diferença de densidade entre um meio fluido e os minerais a serem separados.

O processo de classificação por este método acontece devido ao fato do meio fluido (líquido ou em suspensão) possuir densidade, conhecida e controlada, intermediária à dos minerais considerados para realizar a separação. Esta é a principal diferença entre a separação em questão e a concentração gravimétrica, pois a gravimétrica utiliza-se de ar ou água como meio denso, portanto, como todos os minerais são mais densos, as partículas minerais apresentam a mesma direção e sentido que a aceleração do campo ao realizar a separação. Já a separação por meio denso apresenta dois produtos, um que flutua, devido à sua densidade ser menor que a do meio denso e o outro que afunda por possuir maior densidade que o meio.

É de suma importância a escolha e seleção do meio a ser utilizado, afinal, a eficiência do processo depende dele. A maior parte dos minérios apresenta densidade maior que a água, com isso, cria-se o meio denso que pode ser constituído de líquidos orgânicos, suspensões estáveis ou soluções de sais inorgânicos através da dissolução de sais ou pela dispersão em água de material com densidade elevada, como por exemplo, ferro silício. Recomenda-se utilizar este método de concentração para minerais com densidade no intervalo de 0,4 a 19 g/cm³ e 14 granulometrias mais grosseiras, variando entre 0,5 mm e 300 mm, para contribuir na eficiência do processo.

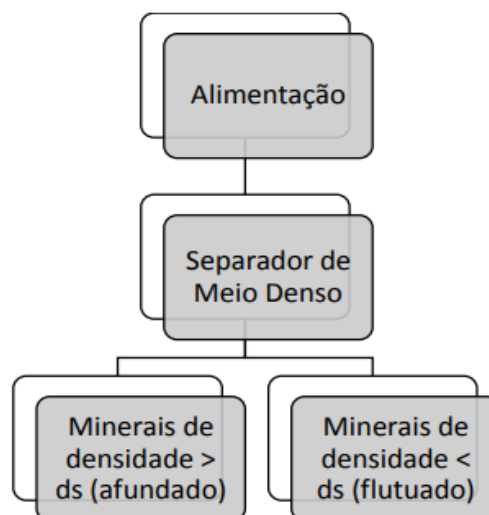


Figura 8: Princípio de separador por meio denso.

Separação magnética

Separação Magnética, também conhecida como Imantação, é um método de separação de misturas heterogêneas sólidas.

Dentre as substâncias misturadas, uma delas apresenta propriedades magnéticas, tais como cobalto, ferro e níquel, o que torna possível a utilização do método. Ela serve para separar misturas sólidas (sólido + sólido). Para tanto, utiliza-se um ímã ou eletroímã, que atraem as substâncias que possuem propriedades magnéticas, separando-as das demais.

A indústria alimentícia beneficia-se desse método para garantir que substâncias com propriedades magnéticas não se misturem com os alimentos (grãos, por exemplo) e os contaminem. Há vários tipos de separadores magnéticos. Eles garantem a eficácia do processo mediante a necessidade de cada tipo de indústria. Outro exemplo de utilidade da separação magnética é o beneficiamento mineral.

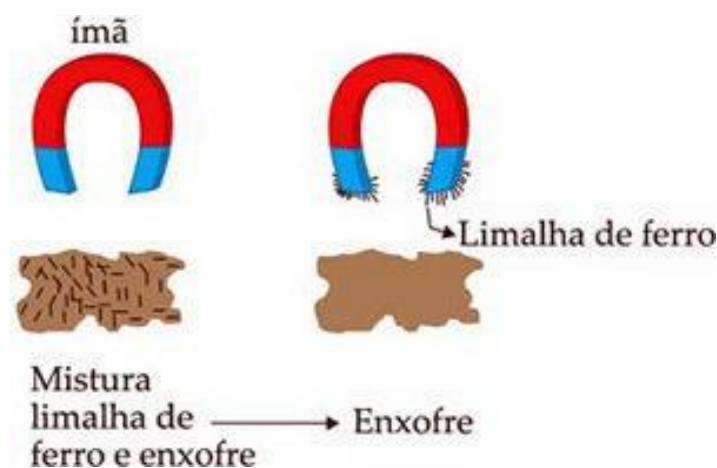
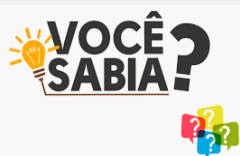


Figura 9: Separação magnética.

**VOCÊ SABIA?*****Caracterização mineralógica***

Em linhas gerais, a caracterização mineralógica possibilita o uso otimizado dos recursos naturais, assim como o aumento dos ganhos financeiros para todos os envolvidos nas etapas, desde a mineralogia até a transformação produtiva das propriedades do minério.

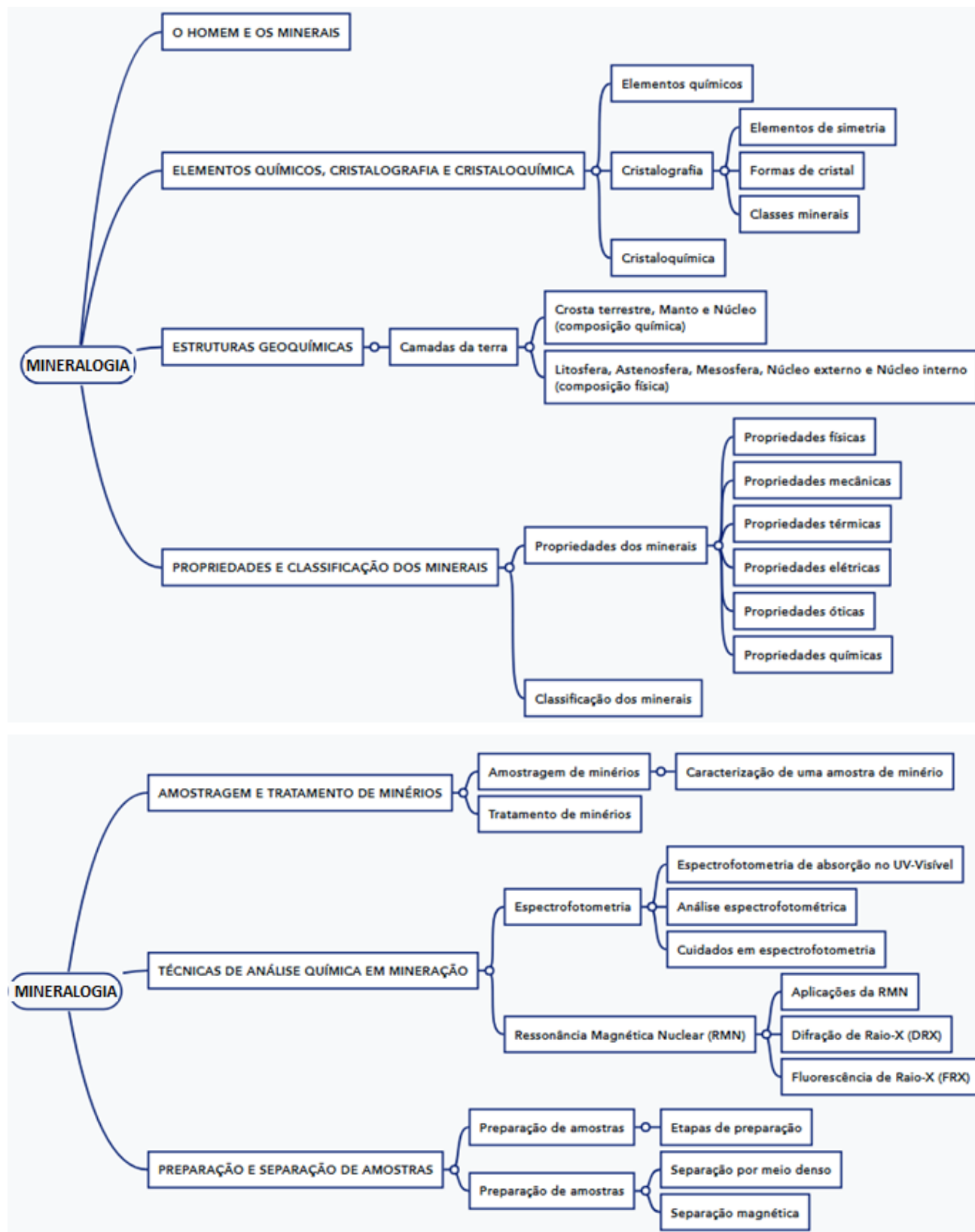
Esta análise, profunda ou generalizada, permite conhecer o valor econômico do material, a demanda de mercado e também auxilia no desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades dos consumidores. Além disso, a caracterização proporciona a diminuição de resíduos e poluentes expostos na natureza para diminuir os impactos.

Outro fator de grande importância é a minimização de custos. Ou seja, conhecer ao máximo o minério proporciona às empresas a oportunidade de identificar a melhor forma, e mais barata, para aproveitar os recursos explorados sem, com isso, comprometer a qualidade dos produtos fornecidos.

Como qualquer passo estratégico de uma empresa, a caracterização mineralógica é uma excelente ferramenta para garantir o alcance dos objetivos da organização e, por isso, deve ser levado a sério em todos os seus estágios.

Sessões Especiais

MAPA DE ESTUDO



SÍNTESE DIRETA

1. MINERAIS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS

- **Primários e Secundários:** Primários são formados por magma ou lava, enquanto os secundários derivam de alterações químicas em rochas.

2. IMPORTÂNCIA DOS MINERAIS NA CROSTA TERRESTRE

- **Abundância dos Elementos:** O oxigênio e o silício dominam, seguidos por elementos como ferro, cálcio e magnésio. Elementos raros aparecem em concentrações mínimas, sendo economicamente relevantes quando exploráveis.
- **Rochas e Minerais Econômicos:** Rochas são formadas por agregados de minerais. Minerais com valor econômico são chamados de minerais, encontrados em jazidas.

3. HISTÓRIA HUMANA E RECURSOS MINERAIS

- **Uso Primitivo:** Desde o Paleolítico, minerais como o sílex foram usados em ferramentas e armas, marcando o progresso tecnológico.
- **Metalurgia:** A Idade do Bronze e a Idade do Ferro ilustram a evolução no uso de metais, que influenciou o desenvolvimento cultural e econômico.
- **Mineração e Sociedade:** A mineração tem raízes mitológicas (Prometeu) e continua sendo essencial para construção, energia e agricultura.

4. ELEMENTOS QUÍMICOS E ESSENCIALIDADE

- **Essencialidade:** Depende da função biológica do elemento e de sua acessibilidade. Exemplo: o ferro é essencial, mas sua forma oxidada dificulta a utilização.
- **Adaptabilidade Biológica:** A disponibilidade e utilização de elementos mudaram conforme a evolução do ambiente terrestre.

5. CRISTALOGRAFIA E CRISTALOQUÍMICA

- **Sistemas Cristalinos:** Agrupamento dos cristais com base em sua simetria em seis sistemas: isométrico, hexagonal, tetragonal, ortorrômbico, monoclinico e triclínico.
- **Elementos de Simetria:** Inclui planos, eixos de rotação, e inversão, que definem como classes e formas dos cristais.

- **Formas de Cristais:** Variedade de formas externas, como prismas, pirâmides e romboedros, determinadas por arranjos atômicos.

6. CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS MINERAIS

- **Crítérios de Classificação:** Baseiam-se no ânion ou grupo aniônico dominante.
- **Classes Minerais:** Inclui elementos nativos, sulfetos, óxidos, carbonatos, nitratos, fosfatos, sulfatos e boratos, cada qual com exemplos específicos.

7. PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS

Propriedades Físicas

- **Cor:** tipos de colorações dos minerais:
 - ✓ **Minerais Idiocromáticos:** possuem cor própria. Exemplo: ouro (é sempre amarelo) e prata (é sempre branca).
 - ✓ **Minerais Alocromáticos:** possuem cor accidental. Exemplo: berilo (verde é esmeralda, azul é água-marinha).
 - ✓ **Policromismo:** fenômeno em que um mineral alocromático apresenta diversas colorações simultaneamente.
- **Brilho:** É o efeito da reflexão da luz sobre a superfície do mineral:
 - ✓ **Vítreo:** semelhante ao vidro.
 - ✓ **Metálico:** como o de metais.
 - ✓ **Adamantino:** similar ao brilho do diamante.
- **Transparência:** Capacidade de o mineral permitir a passagem da luz:
 - ✓ **Transparentes:** permitem a luz atravessar completamente (ex.: esmeralda).
 - ✓ **Translúcidos:** permitem a luz atravessar parcialmente (ex.: ônix).
 - ✓ **Opacos:** não permitem a passagem de luz (ex.: jaspe).
- **Tenacidade:** É a resistência do mineral à ruptura, ligada à coesão interna de suas moléculas:
 - ✓ **Tenaz:** resiste a fortes impactos (ex.: ferro).
 - ✓ **Frágil:** quebra facilmente.

- **Dureza:** Refere-se à resistência ao risco:
 - ✓ Muito moles: riscados pela unha (ex.: talco).
 - ✓ Duros: não riscam vidro.
 - ✓ Duríssimos: riscam todos os minerais (ex.: diamante).
- **Fusibilidade:** Capacidade de fusão sob calor:
 - ✓ **Fácil fusão:** funde à chama de uma vela.
 - ✓ **Difícil fusão:** requer altas temperaturas.
 - ✓ **Infusível:** funde acima de 1700°C (ex.: quartzo).

Propriedades Mecânicas

- **Flexibilidade:** dobra sem quebrar (ex.: amianto).
- **Elasticidade:** retorna à posição original após flexão (ex.: mica).
- **Maleabilidade:** pode ser reduzido a lâminas (ex.: ouro).
- **Ductilidade:** pode ser reduzido a fios (ex.: platina).
- **Sectilidade:** pode ser cortado (ex.: prata).
- **Plasticidade:** pode ser moldado (ex.: gesso).
- **Graficidade:** deixa traço (ex.: grafite).

Propriedades Térmicas

- **Dilação:** minerais amorfos e cristalizados no sistema cúbico se dilatam isotropicamente. Outros apresentam dilatação anisotrópica.
- **Condutibilidade:** varia conforme a estrutura cristalina.

Propriedades Elétricas

- **Piroeletricidade:** eletrização por calor ou atrito.
- **Piezoeletricidade:** eletrização por compressão (ex.: calcita e turmalina).

Propriedades Ópticas

- **Refração:** desvio de um raio luminoso ao passar de um meio transparente a outro.
 - ✓ **Simplex:** um único raio refratado (ex.: minerais amorfos).
 - ✓ **Dupla:** dois raios refratados (ex.: calcita).

Propriedades Químicas

- **Exame por via úmida:** utiliza ácidos (clorídrico, nítrico, sulfúrico) para provocar reações.

- **Exame por via seca:** utiliza fogo para identificar colorações específicas na chama (ex.: sódio é amarelo, cálcio é vermelho).

8. CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS

- **Elementos Nativos:** Formados por um único elemento químico.
- **Sulfetos:** Combinações de metais com enxofre, arsênio ou telúrio.
- **Sulfossais:** Compostos de prata, cobre e chumbo combinados com enxofre e outros elementos.
- **Óxidos:** Combinação de metais com oxigênio.
- **Hidróxidos:** Contêm hidroxila (OH) e, às vezes, moléculas de água.
- **Haloides:** Contêm elementos como Cl, F, I e Br.
- **Silicatos:** Compostos por elementos como Al, Fe, Ca, Na, K e Mg combinados com silício e oxigênio.
- **Carbonatos:** Incluem o radical CO_3 .
- **Sulfatos:** Contêm o radical SO_4 .
- **Fosfatos:** Contêm o radical PO_4 .
- **Tungstatos:** Contêm o radical WO_4 .
- **Nitratos:** Contêm o radical NO_3 .
- **Boratos:** Contêm grupos aniônicos formados por boro e oxigênio.
- **Arseniatos:** Contêm o radical AsO_4 .
- **Molibdatos:** Contêm o radical MoO_4 .
- **Vanadatos:** Contêm o radical VO_4 .

9. TÉCNICAS DE ANÁLISE QUÍMICA EM MINERAÇÃO

- **Espectrofotometria no Ultravioleta-Visível (UV-Vis):** A espectrofotometria utiliza a interação da luz com a matéria para medir a concentração de soluções. A luz, como radiação eletromagnética, permite transições eletrônicas entre orbitais de diferentes energias.

Componentes de um Espectrofotômetro

- ✓ **Fonte de Luz:** Lâmpada de deutério (radiação UV) e tungstênio (luz visível).
- ✓ **Monocromador:** Gera luz monocromática.
- ✓ **Cubeta:** Contém a amostra, geralmente feita de quartzo.

- ✓ **Detector:** Mede a fração de luz transmitida pela amostra.

Etapas da Análise Espectrofotométrica

- ✓ Preparar a amostra (quebra e solubilização em solvente).
- ✓ Realizar leitura em branco com o solvente puro.
- ✓ Filtrar a amostra e realizar a leitura de absorbância.

Cuidados

- ✓ Calibrar e manusear o equipamento adequadamente.
 - ✓ Evitar interferências da luz ambiente.
 - ✓ Utilizar cubetas limpas e não contaminadas.
 - ✓ Garantir que apenas compostos que absorvem luz sejam analisados.
- **Ressonância Magnética Nuclear (RMN):** A RMN é baseada na interação da radiação de ondas de rádio com núcleos atômicos em um campo magnético intenso (B_0). Analisa a frequência de ressonância e o tempo de relaxação nuclear.

Aplicações

- ✓ Determinação estrutural de compostos orgânicos e inorgânicos.
- ✓ Análises quantitativas e caracterizações físico-químicas.

Tipos de Experimentos RMN

- ✓ **Alta Resolução (RMN-AR):** Campos magnéticos altos (5 a 20 Teslas).
- ✓ **Baixa Resolução (RMN-BR):** Campos magnéticos baixos (<2 Teslas), focados no tempo de relaxação.

Difração de Raios X (DRX)

Baseia-se nos padrões de difração característicos de cada substância cristalina, permitindo identificar a composição química de amostras minerais.

Fluorescência de Raios X (FRX)

Usa o fenômeno da fluorescência para identificar elementos químicos em uma amostra, estabelecendo suas proporções. Muito utilizada para controle de qualidade e análises exploratórias.

10. PREPARAÇÃO E SEPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Etapas de Preparação

1. **Secagem:** Pode ser feita ao ar, com luz infravermelha ou em estufa (à 60°C).
2. **Destorroamento:** Desagregação de partículas sem reduzir seu tamanho natural.
3. **Quarteamento:** Extrai amostras menores e representativas por meio de divisão cônica ou repartidor de amostras.
4. **Pesagem:** Realiza-se com precisão de 5 g.
5. **Peneiramento:** Separa materiais conforme a granulometria.

Métodos de separação

- **Separação por Meio Denso:** Baseia-se na densidade entre o meio fluido e os minerais. Minerais menos densos flutuam, enquanto os mais densos afundam.
- **Separação Magnética:** Técnica de imantação que utiliza ímãs ou eletroímãs para separar substâncias magnéticas (ferro, níquel, cobalto) de misturas sólidas.

MOMENTO QUIZ

1. **Ciência interessada no estudo das relações entre a composição química, a estrutura interna e as propriedades físicas da matéria cristalina:**

- a) Cristalografia.
- b) Cristaloquímica.
- c) Cristalogenia.
- d) Cristalologia.
- e) Cristalofísica.

2. **Compreende a segunda camada, possui 2.900 quilômetros de extensão e conserva uma temperatura elevada que atinge 3.400°C. O minério responsável pela formação dessa camada da Terra é o magma, constituído por silício e magnésio. Do que estamos falando?**

- a) Núcleo.
- b) Crosta.
- c) Mesosfera.
- d) Atmosfera.
- e) Manto.

3. Etapa que antecede a realização dos ensaios de caracterização (o processo consiste em SECAR, DESTORROAR, QUARTEAR, PESAR e PENEIRAR):

- a) Preparação de Amostras.
- b) Separação por meio denso.
- c) Separação magnética.
- d) Peneiramento.
- e) Ressonância magnética.

4. É baseada no aumento de energia em função do aumento da frequência da radiação incidida:

- a) Ressonância magnética.
- b) Separação magnética.
- c) Espectroscopia.
- d) Raio x.
- e) Separação por meio denso.

5. É a última etapa do processo de preparação da amostra e nele o material é separado para os diferentes ensaios:

- a) Preparação de Amostras.
- b) Separação por meio denso.
- c) Separação magnética.
- d) Peneiramento.
- e) Ressonância magnética.

Gabarito

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

Referências

ARAUJO, R, P.; SEPARAÇÃO DE MINERAIS POR MEIO DENSO: UMA REVISÃO DA LITERATURA. Catalão. 2015.

Madureira Filho, J. B., Atencio, D., & McReath, I. (2000). Minerais e rochas: constituintes da terra solida. In *Decifrando a terra* (p. 27-42). São Paulo.

TRAJANO, R.B. Princípios de Tratamento de Minérios. 1966.

CHAVES, A. P. Teoria e Prática de Tratamento de Minérios, Vol I. Editora, São Paulo, Signus Editora, 1996.

DANA, J.D. 1984 - Manual de mineralogia. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 643p.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1981 - Minerais Constituintes das Rochas - Uma Introdução. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 558p.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.