

Minerais – definições, propriedades físicas e químicas

Prof. Renato de Moraes
Instituto de Geociências da USP
0440100 Geologia Geral – Sistema Terra
rmoraes@usp.br

Mineral - Sólido homogêneo, de ocorrência natural, formado por processos inorgânicos, de composição química definida, mas não fixa, com arranjo atômico altamente ordenado, isto é de estrutura cristalina definida.

A definição de **mineral** implica em material formado por processos geológicos naturais, excluindo materiais formados por processos biológicos ou em laboratórios. Nenhum material amorfo, ou seja, sem definição ou ordenação cristalina de seus átomos, é considerado um mineral.

Todo mineral tem composição química definida dentro de certos limites. Alguns são substâncias puras de composição simples, como o quartzo, cuja composição é SiO_2 , ou a hematita Fe_2O_3 . Outros minerais, como os feldspatos, anfibólios, granadas, micas e piroxênios são soluções sólidas (ver abaixo) e suas composições variam dentro de certos limites.

Cristal - Sólido poliédrico limitado por faces planares e orientadas, que manifestam um arranjo interno ordenado de átomos ou moléculas, não importando se é natural, artificial, inorgânico, ou orgânico.

Os cristais são os minerais que apresentam formas bem definidas e regidas pelas leis cristalográficas.

Os próximos slides mostram em uma tabela periódica os elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre e depois duas barras comparando os elementos mais abundantes na Terra e na crosta terrestre. Perceba que, como o Núcleo da Terra é formado por Fe e um pouco de Ni e perfaz aproximadamente 50% do volume terrestre, o Fe é um importante constituinte da Terra. A crosta terrestre (e no manto também), no entanto é dominada por outros elementos, sendo O e Si os dois mais importantes. Isso implica que a grande maioria dos minerais são do **Grupo dos Silicatos**.

Ligações química, íons (cátions e ânions)

Existem vários tipos de ligações químicas e dependendo do tipo que dominar no mineral, isso irá definir suas propriedades físicas e químicas.

Formação Mineral - Cristalização do magma, crescimento de cristais no estado sólido e precipitação a partir de soluções

A formação de minerais ocorre através de três processos principais: a cristalização do magma (ou lava), crescimento de cristais no estado sólido (durante o

metamorfismo ou diagênese) e precipitação a partir de soluções (nas bacias sedimentares).

Durante o resfriamento do magma (ou da lava em superfície) os íons se combinam e formam os minerais típicos das rochas ígneas. Os primeiros cristais a se formarem do magma estão imersos em uma pasta e não têm problemas de espaço, deste modo, podem formar cristais bem formados com formas bem definidas. Os últimos a serem formados durante a cristalização do magma irão preencher os espaços entre os minerais (cristais) já formados.

Nas rochas metamórficas ocorre o crescimento dos minerais no estado sólido, via reações metamórficas e um mecanismo chamado difusão. As reações metamórficas são reações químicas que ocorrem no estado sólido e demoram muito tempo para ocorrer, mas que por causa de mudanças de temperatura (T) e pressão (P), minerais ou associações minerais (pares ou trios, etc), que ultrapassaram seus limites de estabilidade, reajam entre si para formar novos minerais que são agora mais estáveis nas novas condições P - T reinantes. Tudo isso ocorre por causa da difusão, que é o mecanismo que controla o caminhamento de átomos dentro da estrutura cristalina e é controlada e dependente da temperatura.

Nas rochas sedimentares o principal processo para formação de minerais é via precipitação das soluções, quando ocorre a saturação de sais, sulfatos, carbonatos e fosfatos e outras espécies de íons (cátions mais ânions) que podem estar dissolvidos nas águas e atingir o limite de saturação e se precipitar, como em uma salmoura.

Estrutura do Cristal - Estrutura do mineral é determinada em grande parte pela forma como os ânions estão dispostos e como os cátions se encaixam entre eles. Os ânions são, em geral, maiores que os cátions.

Ocorrem vários poliedros de coordenação, ou seja, unidades básicas em que o centro é ocupado por um cátion e é envolto por vários ânions. Coordenação 4, é um tetraedro, coordenação 6 um octaedro, coordenação 8 um cubo e coordenação 12. Existe uma tabela com os tipos principais de cátions para cada tipo de poliedro de coordenação, sendo que o principal ânion é o oxigênio (O), podendo ainda ocorrer, OH⁻, F, Cl, entre outros.

Os poliedros de coordenação se combinam para formar a estrutura cristalina dos minerais. **A Cristalografia** é o estudo de sólidos cristalinos e os princípios que governam sua estrutura interna, seu crescimento e forma externa.

Uma curiosidade, até a estrutura dos vírus é investigada pela cristalografia!

Sistemas Cristalinos - Os sistemas cristalinos são baseados em referência espacial (sistema de eixos com ângulos interaxiais e constantes lineares variáveis) para posicionar os elementos de simetria e elementos morfológicos dos cristais (faces, eixos, planos).

Existem 7 Sistemas Cristalinos: cúbico, tetragonal, trigonal, hexagonal, ortorrômbico, monoclinico, triclínico.

Cada um dos sete sistemas cristalinos tem uma relação de tamanho e ângulos interaxiais característica e é isso que irá determinar as formas dos cristais. As faces dos cristais podem ser representadas por coordenadas parecidas com as cartesianas, mas aqui terão três índices, pois cada sistema tem três eixos.

Minerais - Nomenclatura

Para nomear os minerais não existe regra, muitos têm a terminação ITA, como calcita ou pirita. Muitos minerais são batizados em homenagem a um local, por exemplo a muscovita, de Moscou (onde era usada nas janelas), ou para homenagear uma pessoa, seu descobridor ou um cientista famoso sillimanita (Benjamin Silliman), coutinhoita (José Moacyr Vianna Coutinho, ex-professor do IGc-USP), ou por um elemento químico específico, barita, por alguma propriedade física, magnetita, e assim por diante. Não há uma regra específica!!!!!!

Classificação dos minerais - Minerais com mesmo radical aniônico apresentam propriedades físicas e morfológicas muito mais semelhantes entre si do que minerais com o mesmo cátion.

Assim, a classificação dos minerais é baseada em seu radical aniônico, e isso foi seguido da Química Inorgânica.

- **Classes** – baseado no ânion dominante (são 12 classes)
 - **Famílias** – são divisões de tipos químicos
 - **Grupos** – reúnem minerais com características químicas e cristal químicas
 - Os grupos são formados por **espécies**

Existem 12 as classes minerais: elementos nativos, sulfetos, sulfossais, óxidos, haletos, carbonatos, nitratos, boratos, fosfatos, sulfatos, tungstenatos e silicatos.

A maior classe de todas é a dos silicatos e isso ocorre pois os tetraedros (poliedro de coordenação o básico dos silicatos, com um Si cercado por 4 O) conseguem se polimerizar em diversos tipos diferentes de cadeias, formando diferentes famílias e grupos de silicatos.

Propriedades Físicas – Identificando os Minerais

A identificação **dos minerais mais comuns** é feita por suas propriedades físicas: dureza, clivagem, cor, cor do traço, brilho, hábito, densidade, fratura. Alguns ensaios químicos simples podem ser usados.

Dureza - é a resistência que a superfície lisa da face do mineral oferece ao risco (resistência à abrasão). Isso é uma propriedade vetorial que depende da estrutura cristalina do mineral.

A Escala de Mohs foi criada em 1812 pelo mineralogista alemão Friedrich Vilar Mohs com dez minerais comuns e de diferentes durezas existentes na crosta terrestre. Dez minerais utilizados como padrões e ela é uma escala relativa, sendo que

o mineral com maior dureza risca os de menor dureza (não se refere à magnitude absoluta em cada um deles). Veja o slide com os minerais da Escala de Mohs.

Para testarmos a dureza, simplesmente pegamos uma amostra de um mineral com uma ponta e tentamos riscar a superfície de um mineral desconhecido. Por comparação estabelecemos, se um mineral tem dureza entre 6 e 7, por exemplo. Até a dureza 5, não é muito complicado riscar uma superfície, mas daí em diante, muitas vezes precisamos realmente exercer certo esforço físico para riscar a superfície de um mineral de dureza 7 com um de dureza 8.

Existem escalas de dureza absolutas, como a de Vickers, com essa escala podemos ver que as durezas absolutas de quartzo (7), corundum (9) e diamante (10) absolutas seriam, respectivamente, 1000, 2000 e 10000. Existem outras escalas de dureza absoluta que usam outros valores.

<https://www.youtube.com/watch?v=9r7C5SD14Hw>

Clivagem é a tendência de um mineral quebrar-se em direções preferenciais, paralelamente à planos atômicos específicos, sendo consistente com a simetria do mineral e relacionada à estrutura cristalina. A superfície de clivagem é uma superfície de quebra e um mineral pode não ter clivagem pode ter um ou mais planos de clivagem. Quando existe mais de um plano de clivagem, a relação angular (o ângulo entre os planos de clivagem) é característico e, às vezes, diagnóstico, de alguns minerais.

Clivagem não é face cristalina ou superfície de crescimento, é uma face de quebra, um plano de fraqueza no qual o mineral sempre irá se quebrar. Assim quando ocorrer a quebra, vários planos paralelos são ativados. A calcita tem três e forma um padrão romboédrico, a muscovita tem um e solta folhas muito finas. A qualidade com a qual o plano de clivagem se parte (e acaba refletindo a luz) é também um tipo de classificação clivagem, que pode ser proeminente, perfeita, muito boa, boa ou ruim. Então na clivagem usamos, o número de planos, o ângulo entre eles e a sua qualidade.

<https://www.youtube.com/watch?v=1SGC3VBQZY0>

<https://www.youtube.com/watch?v=RJM45Xd34ek>

Tenacidade é a medida da coesão de um mineral, ou seja, a sua resistência a ser quebrado, esmagado, dobrado ou rasgado.

- **Classificação Qualitativa:**
 - **Quebradiço:** o mineral se rompe ou é pulverizado com facilidade
 - **Maleável:** o mineral pode ser transformado em lâminas, por aplicação de impacto
 - **Séctil:** o mineral pode ser cortado por uma lâmina de aço
 - **Dúctil:** o mineral pode ser estirado para formar fios
 - **Flexível:** o mineral pode ser curvado, mas não retorna à sua forma original após o esforço
 - **Elástico:** o mineral pode ser curvado, mas volta à sua forma original após o esforço

Interação com a luz – existem algumas propriedades que estão associadas com a luz

- Propriedades dos minerais que indicam como eles interagem com a luz

Cor - Resposta do olho ao intervalo da luz visível do espectro eletromagnético. O que interpretamos como cor do mineral é o resultado da absorção seletiva de determinados comprimentos de onda (λ) da luz que atravessa o mineral. Os λ s não absorvidos tornam-se dominantes no espectro que emerge do mineral e a combinação desses λ s é o que se percebe como cor. Se a luz não é absorvida, o mineral é incolor.

Minerais idiocromáticos têm cores próprias, constantes, inerente à composição química, por exemplo o enxofre ou ouro.

Minerais alocromáticos (acróicos) quando puros são incolores (acróicos) e assumem diversas cores em função da presença de impurezas, variações na composição química ou imperfeições no retículo cristalino quartzo e fluorita.

Cor de traço é a cor do pó fino de um mineral e observamos isso atritando o mineral numa placa de porcelana não polida (até dureza 6 a 7). Os minerais de dureza mais alta não têm cor de traço, pois riscam a cerâmica.

Embora cor do mineral possa ser variável, cor de traço é relativamente constante. A propriedade é especialmente importante em **minerais de brilho metálico (óxidos e sulfetos)**;

Brilho é a capacidade de **reflexão** da luz incidente pela superfície do mineral. Existem alguns livros que classificam o brilho de forma muito detalhada e que acabam sendo bastante subjetiva. Uma maneira simples é dividir os minerais entre brilho metálico (que lembra o brilho dos metais) e não metálico.

- **brilho metálico**
- *(com a aparência brilhante de metal)*
 - Reflexão >75% da luz incidente
 - Característico de minerais dominados por ligações metálicas ou parcialmente metálicas
 - Geralmente apresentam cor de traço escuro
- **brilho não metálico**
- *(sem a aparência de metal)*
 - Característico de minerais dominados por ligações iônicas ou covalentes
 - Geralmente apresentam cor de traço claro

Transparência é a capacidade do mineral de ser atravessado pela luz.

- **Transparente:** é possível ver contornos de objetos através do mineral
- **Translúcido:** há passagem de luz, mas não é possível distinguir contornos de objetos
- **Opaco:** não permite a passagem da luz, mesmo em seções delgadas

Magnetismo de um mineral é uma propriedade atômica que depende da somatória dos momentos magnéticos dos elétrons constituintes (relacionado ao número quântico spin), e que vai fazer com que o mineral tenha magnetismo natural ou não.

- Classificados em
 - Diamagnéticos
 - Paramagnéticos
 - Ferromagnéticos
 - Ferrimagnéticos
- Minerais comuns distinguíveis por imã de mão:
 - Magnetita – Fe_3O_4
 - Pirrotita – $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$

<https://www.youtube.com/watch?v=7nacSPqZg8U>

Hábito - Forma geométrica externa (aparência geral) dos indivíduos de uma mesma espécie mineral.

Essa é uma propriedade física muito importante, pois alguns minerais têm hábitos diagnósticos ou muito característicos, como o hábito cúbico da pirita (mais sua cor amarelo latão), ou hábito em fibras de algumas serpentinas, ou de prismas curtos da hornblenda (anfibólio cálcico com alumínio) contra os prismas longos da actinolita (anfibólio cálcico sem alumínio), ou o hábito placóide das micas.

<https://www.youtube.com/watch?v=s-OScthvomQ>

Minerais isoestruturais são minerais com o mesmo tipo de estrutura cristalina, mas com composição química diferente ou variável dentro de certos limites. Sinônimo de isomorfismo (termo em desuso). Galena, halita e silvita são isoestruturais.

Solução Sólida - Estruturas cristalinas em que um ou mais sítios iônicos são ocupados por diferentes elementos químicos em proporções variáveis. Depende do tamanho relativo de átomos, íons ou grupos iônicos envolvidos e da carga do íon envolvido na substituição (valência eletrostática).

Algumas soluções sólidas são dependentes ainda da temperatura (às vezes da pressão) em que a substituição ocorre. As substituições podem ser simples ou acopladas.

Por exemplo a olivina tem a fórmula $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ em que Fe e Mg se substituem entre os dois membros finais forsterita (Mg_2SiO_4) e faialita (Fe_2SiO_4). Como Fe e Mg apresentam a mesma valência (2^+) e raios iônicos semelhantes (Mg – 0.72 Å, Fe^{2+} – 0.78 Å) a substituição é simples, pois para cada íon de Mg que é tirado da solução sólida, um de Fe entra e não existe mudança na carga total do mineral. Dentro do limite entre os dois membros finais da forsterita e da faialita, a composição da olivina pode variar.

Na solução sólida com substituição acoplada, elementos com valências diferentes são trocados e para haver o balanço de cargas equilibrado, outros sítios da estrutura devem ser envolvidos para a manutenção da neutralidade elétrica se já alcançada. Um exemplo típico é do plagioclásio, um tipo de feldspato, em que Na (1^+ ,

1.18 Å) e Ca (2^+ , 1.12 Å) se substituem, respectivamente, nos membros finais albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Os raios não são muito diferentes, mas as cargas são. Assim, para cada átomo de Na substituído por Ca, é retirado um de Si (4^+) e para cada Ca que entra, vem um Al (3^+) junto, de modo que sempre 5 cargas são usadas.

Uma solução sólida não pode ser “vista a olho nu”, ela ocorre em escala molecular e com análises químicas é que pode ser identificada, as quais são feitas em laboratórios, normalmente usando um aparelho chamado microsonda eletrônica.

Polimorfos - Minerais com a mesma composição química, mas estrutura diferente.

- diamante e grafite (C)
- andalusita, cianita e sillimanita (Al_2SiO_5)
- quartzo α , β , cristobalita, tridimita, coesita, stichovita (SiO_2)

Polimorfos são importantes, já que cada um deles indica condições específicas de temperatura e pressão, de modo que uma vez identificados em uma rocha, podemos ter uma ideia em que campo de T e P a rocha foi formada.

Questionário

- 1) Defina mineral.
- 2) Defina cristal.
- 3) Todo mineral forma cristal?
- 4) Quais os principais processos formadores de minerais?
- 5) O que é sistema cristalino? O que os definem? Quantos são e como são diferenciados?
- 6) No que é baseada a nomenclatura dos minerais?
- 7) Como os minerais são classificados?
- 8) Como os silicatos são classificados? (Isso vocês vão ter que procurar)
- 9) O que são as propriedades físicas dos minerais?
- 10) O que é clivagem, como ela é classificada, e como se usa essa propriedade na identificação dos minerais?
- 11) Por que não usamos as cores dos minerais para classificá-los?
- 12) O que é cor de traço? Como usamos essa propriedade para identificar os minerais?
- 13) O que é hábito? Cite 10 minerais diferentes com hábitos característicos.
- 14) O que é dureza? O que é escala de Mohs? Quais são os minerais que a constituem com suas durezas e fórmulas químicas?
- 15) O que é solução sólida? Dê exemplos de soluções sólidas simples e acopladas (diferentes das usadas na aula).
- 16) O que são geminações?
- 17) Quais os minerais que reagem espontaneamente com HCl? Como isso funciona?
- 18) O que é brilho? Como classificamos o brilho dos minerais?
- 19) Qual a diferença entre clivagem e fratura? Todos os minerais têm clivagem?
- 20) O que é magnetismo? Qual a diferença entre os minerais diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos e ferrimagnéticos?
- 21) O que são poliedros de coordenação? Como funcionam na organização da estrutura dos minerais?