

Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Departamento de Mineralogia e Petrologia
Fundamentos de Mineralogia
Prof. José Affonso Brod

INTRODUÇÃO, CONCEITO DE MINERAL, CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS MINERAIS

A mineralogia é a ciência que estuda os minerais, o que são eles, como são formados e onde ocorrem. Uma vez que os minerais estão por toda parte (são as substâncias formadoras das rochas, solos e sedimentos) e fornecem uma grande parte das matérias primas usadas em aplicações tecnológicas e industriais, o potencial de aplicação deste conhecimento é vasto. Na verdade, com exceção das substâncias orgânicas, os demais materiais que usamos ou com os quais convivemos no dia a dia são todos minerais ou de origem mineral.

Embora sejam substâncias extremamente comuns, estabelecer um conceito claro e preciso de mineral não é uma tarefa fácil. Abaixo estão listadas algumas das muitas definições já propostas:

- Mineral é um sólido homogêneo natural, inorgânico, com uma composição química definida e um arranjo atômico ordenado (Mason et al. 1968)
- Mineral é um corpo produzido por processos de natureza inorgânica, tendo usualmente uma composição química definida e, se formado sob condições favoráveis, uma certa estrutura atômica característica, a qual está expressa em sua forma cristalina e outras propriedades físicas (Dana & Ford, 1932)
- Minerais são substâncias inorgânicas naturais, com uma composição química e propriedades físicas definidas e previsíveis (O'Donoghue, 1990)
- Minerais podem ser distinguidos uns dos outros pelas características individuais que são uma função direta dos tipos de átomos que eles contém e dos arranjos que estes átomos fazem no seu interior (Sinkankas, 1996)
- Mineral é um composto químico que é normalmente cristalino e que foi formado como resultado de processos geológicos. (Nickel, 1995)

O conceito mais aceito, e que utilizaremos neste curso é o de Klein & Hurlbut (1999):

“Um mineral é um sólido, homogêneo, natural, com uma composição química definida (mas geralmente não fixa) e um arranjo atômico altamente ordenado. É geralmente formado por processos inorgânicos”.

Vejamos algumas implicações deste conceito em maior detalhe, abaixo:

- Sólido: as substâncias gasosas ou líquidas são excluídas do conceito de mineral. Assim, o gelo nas calotas polares é um mineral, mas a água não. Algumas substâncias que fogem a esta definição ainda assim são objeto de estudo do mineralogista. É o caso do mercúrio líquido, que pode ser encontrado na natureza, em determinadas situações. Nestes casos, a substância é chamada de mineralóide.
- Homogêneo: algo que não pode ser fisicamente dividido em componentes químicos mais simples. Este conceito é obviamente dependente da escala de observação, uma vez que algo que é aparentemente homogêneo a olho nu pode ser constituído de mais de uma substância, quando observado em escala microscópica.
- Natural: exclui as substâncias geradas em laboratório ou por uma ação consciente do homem. Quando estas substâncias são idênticas em composição e propriedades a um mineral conhecido, o nome deste mineral pode ser usado, acrescido do adjetivo “sintético” (por exemplo, esmeralda sintética). Acima, consideramos o gelo das calotas polares como um mineral. Entretanto, para seguir o conceito de mineral à risca, o gelo que fabricamos na geladeira não constitui um mineral.
- Composição química definida: significa que um mineral é uma substância que pode ser expressa por uma fórmula química. Por exemplo, a composição do ouro nativo é Au, a do quartzo é SiO_2 , a da calcita é CaCO_3 , e assim por diante. Entretanto em muitos minerais é possível a substituição de um ou mais elementos da fórmula original por outros. Assim, a dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ admite a substituição de Mg por quantidades variáveis de Fe e Mn, e a esfalerita ZnS admite a substituição de Zn por quantidades variáveis de Fe. Em muitos casos, a composição química dos minerais pode variar dentro de certos limites, sem que seja necessário alterar o nome do mineral. Em outros casos as variações são tão grandes que caracterizam uma espécie mineral distinta.
- Arranjo atômico ordenado: implica na existência de uma estrutura interna, onde os átomos ou íons estão dispostos em um padrão geométrico regular. Este padrão obedece às regras de simetria que você estudou na disciplina de cristalografia, e os sólidos assim constituídos pertencem a um dos sistemas cristalinos: triclínico, monoclínico, ortorrômbico, tetragonal, hexagonal (trigonal) e isométrico. Sólidos que possuem tal arranjo interno ordenado são chamados de cristalinos. Os que não o possuem são chamados de amorfos, e fogem à classificação estrita de mineral, compondo o grupo dos mineralóides.
- Inorgânico: aqui o termo “geralmente” é incluído por Klein e Hurlbut no conceito, para permitir o enquadramento de substâncias que atendem a todos os requisitos acima, mas são geradas naturalmente por (ou com a ajuda de) organismos. Estes minerais são chamados de biogênicos e, à exceção da sua origem, são idênticos aos minerais equivalentes formados por processos inorgânicos. O exemplo mais comum de mineral biogênico é o carbonato de cálcio (CaCO_3) presente nas conchas de moluscos na forma dos minerais calcita, dolomita ou vaterita. Alguns outros exemplos incluem alguns sulfetos, sulfatos, fosfatos, fluoretos, óxidos, enxofre nativo e formas amorfas de SiO_2 .

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DE MINERAIS

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Conforme visto acima, a definição de mineral implica em “uma composição química definida (mas geralmente não fixa)”.

Para determinar com segurança a composição química de um mineral é necessário fazer uma análise química em laboratório. Diversos métodos analíticos (análise por via úmida, fluorescência de raios-x, microsonda eletrônica, espectrometria de absorção atômica, ICP-MS, etc.) podem ser utilizados para tanto, e cada um tem características e aplicações específicas que estão fora do escopo do curso de Fundamentos de Mineralogia. Os resultados da análise química quantitativa de minerais e rochas são geralmente expressos em proporção relativa ao peso do material analisado. Assim, os elementos (ou óxidos) mais abundantes na amostra podem ser expressos em termos de “percentagem em peso”, enquanto elementos que estão presentes em quantidades muito pequenas são normalmente expressos em “ppm”. (partes por milhão, também relativamente ao peso do material analisado).

A tabela abaixo (Klein & Hurlbut, 1999, p. 240) ilustra um resultado de análise química quantitativa de um sulfeto.

	1	2	3	4
	% em peso	Peso atômico	Proporção atômica	Razões Atômicas
Cu	34,30	63,54	0,53982	≈ 1
Fe	30,59	55,85	0,54772	≈ 1
S	34,82	32,07	1,08575	≈ 2
Total	99,71			

A julgar pelos resultados da coluna 1, poderíamos interpretar o mineral como tendo proporções iguais de Cu, Fe e S. Esta interpretação pode ser justificada do ponto de vista de percentagem em peso, mas não reflete a real proporção de átomos de cobre, ferro e enxofre na fórmula do mineral. Isto ocorre porque os três elementos possuem pesos atômicos diferentes (coluna 2). Assim, um átomo de enxofre pesa pouco mais que a metade de um átomo de ferro e quase a metade de um átomo de cobre. A verdadeira proporção entre os átomos de cobre, ferro e enxofre na fórmula do mineral pode ser obtida dividindo-se os valores das percentagens em peso (coluna 1) pelo respectivo peso atômico de cada elemento (coluna 2), fornecendo as proporções atômicas da coluna 3. A partir destes valores, é possível deduzir que existem, aproximadamente, 1 átomo de Cu e 1 átomo de Fe para cada 2 átomos de S no mineral em questão. É possível, agora, representar a fórmula química do mineral como CuFeS_2 , que corresponde ao mineral calcopirita. Note que, na calcopirita, a proporção de Cu:Fe:S é 1:1:2, mas a proporção dos metais para o não-metal é $(\text{Cu}+\text{Fe}):S = 2:2 = 1:1$. A proporção entre os metais e os não-metais é frequentemente usada como um critério para separar tipos químicos dentro de uma classe de minerais, como veremos mais adiante.

Considere agora o caso da esfalerita (ZnS). A esfalerita admite quantidades variáveis de Fe substituindo o Zn e, portanto, formando uma solução sólida parcial com FeS. A fórmula química de soluções sólidas é freqüentemente expressa numa forma semelhante a esta: (Zn,Fe)S, que indica que o mineral é um sulfeto de zinco e ferro, mas contendo proporções variáveis dos dois metais. Na verdade, outros elementos, como manganês e cádmio, também podem entrar na estrutura da esfalerita, porém em quantidades subordinadas. A tabela abaixo mostra o resultado de uma análise química (percentagens em peso) de esfalerita rica em ferro (Klein & Hurlbut, 1999, p. 241):

	1	2	3
	% em peso	Peso atômico	Proporção atômica
Fe	18,25	55,85	0,327
Mn	2,66	54,94	0,048
Cd	0,28	112,41	0,002
Zn	44,67	65,38	0,683
S	33,57	32,07	1,047
Total	99,43		

Neste caso, o total de cátions na fórmula do mineral é de 1,060 (coluna 3, Fe+Mn+Cd+Zn). Note que a proporção de cátions para o enxofre é de aproximadamente 1:1, como na esfalerita pura (ZnS). Como o mineral é uma solução sólida, uma representação mais adequada da fórmula seria (Zn,Fe,Mn,Cd)S. Nos casos em que se dispõe de uma análise química quantitativa, é possível expressar a fórmula exata para aquele mineral específico. Para o sulfeto da tabela acima esta fórmula seria:



Os índices da fórmula acima foram obtidos dividindo a proporção atômica de cada cátion (coluna 3) pelo total de cátions (1,060) e multiplicando por 100. Estes índices representam, portanto, as percentagens de ZnS, FeS, MnS e CdS na fórmula do mineral analisado.

Como a maior parte dos minerais contém grandes quantidades de oxigênio, muitas vezes é mais conveniente expressar a análise química de um mineral como percentagem em peso de óxidos (como CaO, MnO, SiO₂, etc) ao invés de percentagem em peso de elementos químicos puros. Nestes casos, o cálculo da fórmula do mineral segue um método semelhante ao descrito acima, porém os pesos moleculares dos óxidos são utilizados, em lugar dos pesos atômicos dos elementos.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS MINERAIS

Minerais que possuem um mesmo ânion (ou grupo aniônico) dominante apresentam mais semelhanças entre si do que os que são formados pelo mesmo cátion dominante. Assim, um carbonato de cálcio apresenta muito mais semelhanças com um carbonato de magnésio do que com um sulfato de cálcio. Além disso, minerais que possuem o mesmo ânion (ou grupo aniônico) dominante costumam ocorrer juntos, ou em ambientes geológicos semelhantes (por exemplo, cloretos de sódio e de potássio em evaporitos,

carbonatos de cálcio e de magnésio em rochas calcárias, sulfetos de ferro e de cobre em veios hidrotermais, e assim por diante).

Por estas razões, os minerais são agrupados em classes segundo o seu ânion ou grupo aniônico (por exemplo, carbonatos, fosfatos, silicatos, etc.), e o estudo dos minerais durante o curso de Fundamentos de Mineralogia também obedecerá a este agrupamento. Cumpre ressaltar, entretanto, que a correta classificação dos minerais não se baseia somente na composição, mas também na estrutura interna de cada mineral (por exemplo, CaCO_3 cristalizado no sistema ortorrômbico é o mineral aragonita, enquanto a forma trigonal de CaCO_3 é a calcita).

Os minerais dentro de uma classe podem ainda ser subdivididos em famílias, de acordo com o tipo químico, grupos, de acordo com a similaridade estrutural, e espécies (minerais com mesma estrutura, mas com composição química diferente, como os membros de uma série isomórfica). As classes de minerais são

- elementos nativos
- sulfetos
- sulfossais
- óxidos
 - simples e múltiplos
 - hidróxidos
- halogenetos
- carbonatos
- nitratos
- boratos
- fosfatos
- arseniados
- vanadatos
- sulfatos
- tungstatos
- silicatos

BIBLIOGRAFIA

Bloss, F.F., 1994. Crystallography and crystal chemistry: An introduction. Washington, Mineralogical Society of America, 545p.

Klein, C & Hurlbut, C.S., 1999, Manual of Mineralogy. New York, John Wiley & Sons, 21st edition, 596p.