

MINERAIS FORMADORES DE ROCHAS

5
TÓPICO

Christine L. Bourotte

5.1 Introdução

5.2 Minerais

5.2.1 Como se formam os minerais?

5.2.2 Como são classificados os minerais?

5.3 Identificação de minerais

5.4 Rochas e seus Minerais

5.1. Introdução

Ao olharmos uma paisagem, não podemos nos ater somente à vegetação, à fauna e ao seu aspecto geral. A paisagem é fruto de uma longa e contínua história, na qual a dinâmica interna e a dinâmica externa da Terra são os principais atores. Como observadores, deparamo-nos também com os mais diversos materiais geológicos, como as rochas, os minerais, os sedimentos, os solos etc. As rochas são agregados de minerais e são classificadas em três grandes categorias, em função de sua origem: as rochas ígneas, cristalizadas a partir de magmas, as rochas sedimentares, formadas na superfície terrestre pelo acúmulo de sedimentos, e as rochas metamórficas, que resultam da transformação em profundidade das outras rochas. Os minerais constituintes das rochas são espécies cristalinas formadas a partir da associação de elementos químicos.

Toda a matéria do planeta Terra é constituída de elementos químicos. Trata-se dos mesmos elementos químicos que compõem todo o sistema solar e que foram sintetizados desde a formação do Universo (as estrelas são fábricas de elementos químicos) (**ver Módulo I - astronomia**). Contudo, esses elementos não estão distribuídos atualmente de maneira uniforme na Terra, em seus diferentes compartimentos ou geosferas (ver Tópico 3). Assim, o núcleo, o manto, a crosta, a atmosfera, a hidrosfera e a criosfera, por exemplo, possuem materiais com composições químicas características (**Figura 5.1**). Na atmosfera moderna, por exemplo, predominam o nitrogênio e o oxigênio; na hidrosfera, o hidrogênio e o oxigênio; na crosta, o silício, o oxigênio e o alumínio. No manto, o magnésio predomina junto com silício e oxigênio, e o núcleo é constituído por ligas de ferro e níquel.

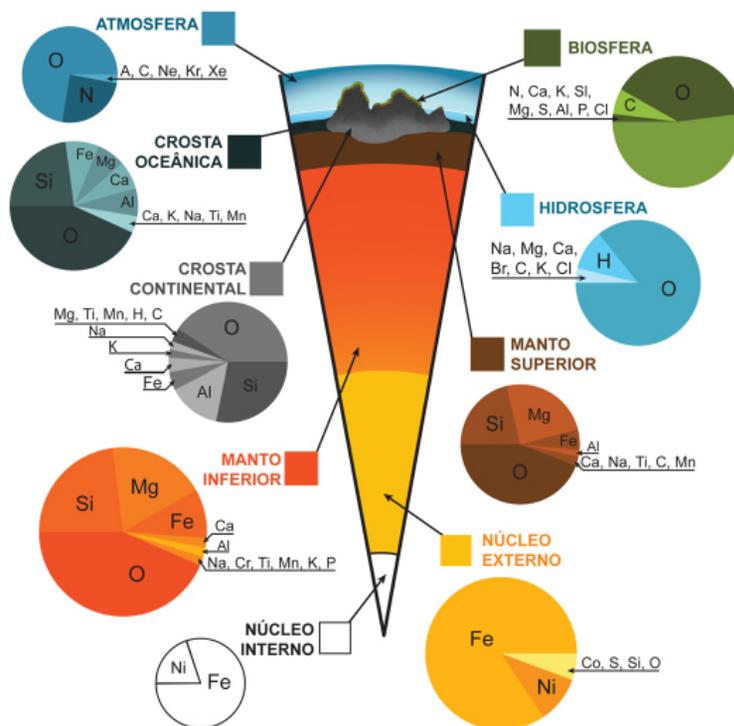


Figura 5.1: composição química das diferentes esferas terrestres.

Na verdade, os elementos químicos ocorrem associados em compostos, constituindo os materiais sólidos naturais como as rochas e os minerais. Por definição, as rochas são agregados de minerais cristalizados durante seus processos de formação, como no caso das rochas ígneas (derivadas do magma) e metamórficas (geradas em profundidade pela ação conjunta da pressão e da temperatura), mas podem ser formadas por fragmentos ou partículas de outras rochas cimentados entre si ou ainda de precipitados a partir de uma solução, como é o caso das rochas sedimentares (**Figura 5.2**).

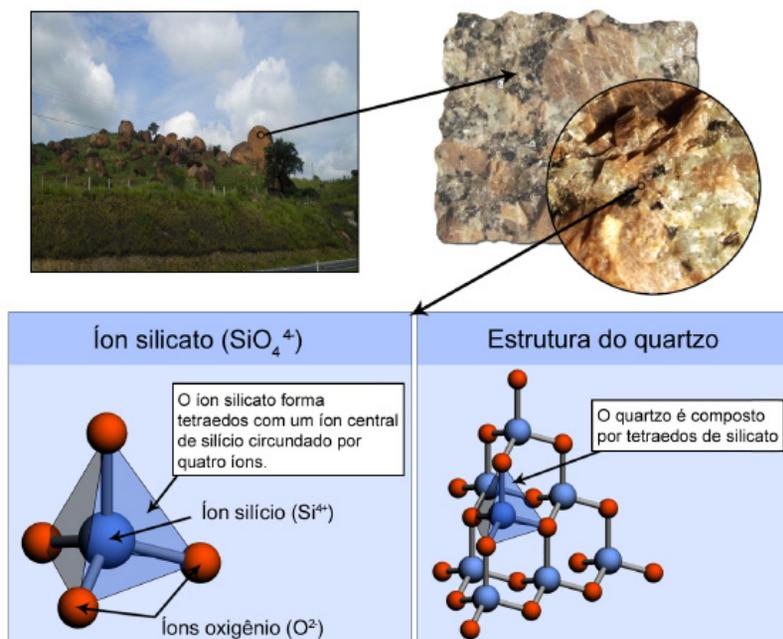


Figura 5.2: na paisagem, as estruturas maiores são formadas por rochas, constituídas por minerais (organização de átomos)

Rochas e minerais, além de constituírem a Terra Sólida, são também a matéria-prima das atividades humanas e dos produtos que a sociedade utiliza, como veremos nos próximos tópicos. Quando esses materiais apresentam um valor econômico são denominados minérios. Rochas e minerais registram também a história da Terra: as rochas sedimentares, por exemplo, contêm fósseis de animais ou plantas, tão importantes para entendermos a evolução da vida, e que ao lado dos minerais e rochas são verdadeiros cronômetros dos eventos geológicos passados. A datação absoluta dos minerais e rochas permite quantificar o tempo em que ocorreram, seja em milhares, milhões ou bilhões de anos.

A importância desses materiais naturais na evolução da humanidade é tamanha que eles são utilizados para denominar fases da nossa civilização, conforme o grau de conhecimento sobre eles e sua utilização como recurso: Idade da Pedra Lascada (ou período Paleolítico, do grego *Palaeos*, antigo, e *lithos*, pedra, 1,8 Ma até 15.000 anos), com uso de obsidiana e sílex; Idade da Pedra Polida (Neolítico, 5.000 a 2.000 anos); Idades do Bronze (1.600 a 900 anos) e do Ferro e uso de minerais não-metálicos em arte, adornos e ornamentos. Assim, pode-se dizer que o desenvolvimento da humanidade esteve sempre relacionado à capacidade de reconhecer os minerais e rochas e fazer uso de suas propriedades.

A ciência que estuda os minerais é a **mineralogia**. Em “Viagem ao centro da Terra” (1864), Jules Verne, através da fala de Alex, sobrinho do Prof. Lidenbrock, professor de mineralogia na Alemanha, menciona algumas maneiras utilizadas para identificar os minerais e classificá-los: *“Apesar de muitas vezes partir as suas amostras e fazer experiências com demasiada brusquidão, ele juntava ao gênio do geólogo a visão do mineralogista. Com o seu martelo, a sua talhadeira de aço, a sua agulha com ímã, o seu maçarico de sopro e o seu frasco de ácido nítrico, era de fato um homem muito forte. Pela resistência a fratura, aspecto, dureza, som, cheiro e gosto de um mineral qualquer, ele o classificava sem hesitar entre as seiscentas espécies conhecidas pela ciência [...]”*. Hoje, conhecemos muito mais espécies minerais do que no século XIX e, com o avanço da tecnologia, existem outros métodos científicos que permitem identificar os minerais, mas essa classificação com base nas propriedades físico-químicas dos minerais é o resultado do desenvolvimento da ciência da Antiguidade até os tempos modernos.

Aristoto (384–322 a.C.) foi o primeiro a dividir o mundo mineral em duas classes: os metais e os fósseis. Teofrasto (em 315 a.C.), como naturalista, descreveu alguns minerais em *De Lapidibus*, levando a descoberta de elementos químicos. Arquimedes foi o primeiro a diferenciar as espécies minerais por sua densidade e dureza. Plínio, o Velho (23–79 d.C.), dedicou quatro volumes de sua História Natural aos minerais e gemas, o que demonstra a importância desses minerais já naquela época.

Na Idade Média, do século X ao século XIV, com o desenvolvimento da alquimia e os trabalhos dedicados aos metais, estabeleceu-se uma primeira classificação em pedras, gemas, minerais, combustíveis e sais. No século XVI, Georg Bauer (apelidado Agricola) publica um tratado, “*De re metalica*”, considerado como o primeiro tratado de mineralogia, no qual faz referência às propriedades dos minerais, tais como cor, brilho, sabor, além da dureza e densidade.

No século XII, Nicolau Steno, ao estudar cristais de quartzo de diferentes formas e tamanhos, descobre a constância dos ângulos e inicia assim os primeiros trabalhos de cristalografia do mundo ocidental. Em 1669, Erasmus Bartholin descobre a dupla refração da luz em um

cristal de calcita. Mas é no século XVIII que a mineralogia conhece seu primeiro grande desenvolvimento: René Just Haüy publica em 1784 um trabalho sobre a estrutura dos cristais, sugerindo que a repetição organizada de pequenos blocos idênticos seria responsável pela forma externa dos minerais; descreve regras de simetria e propõe uma classificação em sete sistemas cristalinos, os mesmos utilizados até hoje. Em 1801, publica um “*Tratado de Mineralogia*”, no qual reúne todos os conhecimentos cristalográficos e mineralógicos da época e detalhada um grande número de espécies minerais encontradas na natureza. Friedrich Mohs classifica os minerais em função da dureza (independentemente da composição química) e estabelece uma escala relativa, utilizada até hoje: a **escala de Mohs**, a ser descrito mais adiante no tópico.

A mineralogia conheceu outra “revolução” quando os minerais começaram a ser estudados ao microscópio (em 1828, William Nicol cria um filtro polarizador de luz que, utilizado no microscópio, permite associar as propriedades ópticas dos minerais à simetria e à composição química dos minerais) e, posteriormente, com a descoberta dos raios X por Gustav Roentgen em 1895. Os trabalhos de Max Von Laue e de William Henri Bragg e seu filho, com a difração de raios X pelos cristais, revelara a estrutura atômica interna dos minerais, técnica também empregada até hoje para o estudo dos minerais. Modernamente, o uso do microscópio eletrônico de varredura, a microsonda eletrônica e a fluorescência de raios X permitiram realizar microanálises de grande precisão, aperfeiçoando o amplo campo da mineralogia.

5.2. Minerais

Uma espécie mineral tem um conceito bem diferente daquele que é dado a uma espécie animal ou vegetal. A definição de um **mineral** tem como base principal a sua composição química e estrutura cristalina. Assim, por definição, um mineral é um **sólido cristalino** (estrutura interna ordenada) com **composição química** bem definida, formado por processos **inorgânicos naturais**. Como tal, os minerais são constituídos de átomos ou elementos químicos unidos entre si por ligações químicas. Contudo, na natureza, os minerais de uma mesma espécie podem apresentar variedades que se distinguem pelo formato, pela cor ou por uma pequena alteração na sua composição química.

Os átomos dos elementos químicos são a base das espécies minerais, cuja combinação confere uma composição química característica a cada espécie mineral (**Tabela 5.1**). Alguns minerais são formados por átomos de um único elemento. É o caso, por exemplo, do ouro (apenas ouro – Au) ou do diamante (apenas carbono – C). Os átomos também se unem de maneira ordenada, formando uma rede cristalina tridimensional e dando formas geométricas características aos

minerais. Os átomos menores (silício, cloreto, por exemplo) se alojam nos interstícios deixados pelo empacotamento dos átomos maiores (oxigênio, sódio, por exemplo), formando uma associação geométrica ou cela unitária, que representa a composição química do mineral e que se repete no espaço, gerando a estrutura cristalina do mineral.

Os elementos químicos das diferentes esferas terrestres (ver **Figura 5.1**) serão os constituintes dos principais minerais formadores de rochas características dessas esferas. Assim, na crosta terrestre, os principais elementos são Si, O e Al e um pouco de K, enquanto, no manto, Fe e Mg estão presentes em maiores quantidades, além de Si, O e um pouco de Ca, Na e Al (ver Tópico 3).

Por outro lado, a estrutura dos cristais depende de como os átomos estão ligados uns aos outros. Do ponto de vista químico, podemos fazer a distinção entre diferentes tipos de ligação química: iônica, covalente e metálica. Na ligação química iônica, há uma troca de elétrons entre os ânions e os cátions. Na ligação química do tipo covalente, os elétrons da camada mais externa são compartilhados, enquanto, nas ligações metálicas, os elétrons se movimentam de maneira aleatória ao redor dos cátions metálicos. (ver o Módulo I – química)

Elemento	Símbolo	% em nº de átomos	Características
Oxigênio	O	60,2	Elemento mais abundante na crosta terrestre. É um átomo grande com duas cargas negativas, que, associado com átomos menores de carga positiva, constitui um grupo aniônico, o qual serve de base para a classificação da maioria dos minerais.
Silício	Si	20,3	Associado com o oxigênio, constitui o grupo do quartzo e o grupo atômico estrutural do grupo dos silicatos.
Alumínio	Al	6,2	Presente nos minerais como cátion individual ou como substituto de parte do silício em alguns silicatos (aluminossilicatos).
Hidrogênio	H	2,9	Com o oxigênio, forma o grupo hidroxila (OH) e água (H ₂ O).
Sódio	Na	2,5	Abundante nos feldspatos. Responsável pela salinidade do oceano (NaCl).
Cálcio	Ca	1,9	Presente em quase todas as classes de minerais.
Ferro	Fe	1,9	Presente na maioria das classes de minerais.
Magnésio	Mg	1,8	Abundante nos silicatos, com o ferro forma os silicatos ferromagnesianos.
Potássio	K	1,3	Átomo grande comum em feldspatos e micas.
Titânio	Ti	0,2	Existe principalmente em forma de óxidos.

Tabela 5.1: Abundância dos principais elementos na crosta terrestre e sua importância na constituição dos minerais

Existem também substâncias semelhantes a um mineral, mas que não atendem a todos os critérios da definição. Essas substâncias são denominadas **mineralóides**. É o caso, por exemplo,

de substâncias originadas por atividades ou processos biológicos (animal ou vegetal), que, portanto, não são de origem inorgânica, como a pérola, o âmbar, o carvão natural, o marfim e as conchas. Outras substâncias, que não apresentam estrutura cristalina (os átomos não são ordenados), são classificadas como amorfas e, portanto, não são minerais. É o caso do vidro e da opala (**Figura 5.3**).



Figura 5.3: Exemplos de mineralóides. Algumas espécies não são consideradas minerais, pois não atendem a todos os critérios de definição (não são inorgânicos ou não possuem estruturas cristalinas) e são chamados de mineralóides. Entretanto, há exceções: o mercúrio e o gelo glacial.

Mas existem duas exceções à regra: o gelo natural, encontrado em geleiras, por exemplo, e o mercúrio (líquido); apesar de não contemplarem os critérios da definição de mineral, são definidos como tal pelos mineralogistas (**Figura 5.3**).

5.2.1. Como se formam os minerais?

Os minerais podem se formar por cristalização devido à evaporação lenta e gradual de uma solução (como o sal precipitado nas salinas, que constitui o mineral halita, um cloreto de sódio) ou devido à diminuição de temperatura e/ou pressão. Podem ainda cristalizar em uma sequência de minerais condicionada ao resfriamento do magma, ou por precipitação de gás ou vapor vulcânico como, por exemplo, ocorre no caso do enxofre em regiões com atividade vulcânica (**Figura 5.4**). Como todos esses processos cristalinos resultam da associação de elementos químicos, a cristalização de um mineral depende da disponibilidade de elementos químicos no ambiente de cristalização, das condições adequadas de temperatura e pressão e de tempo.

Minerais que apresentam cristais bem desenvolvidos, com faces externas bem definidas e que refletem o ordenamento interno dos átomos, são raros e, por isso, são tão valiosos procurados por colecionadores. Os cristais bem formados, com



Figura 5.4: precipitação de enxofre de fumarolas em região vulcânica.

faces bem definidas delimitadas por arestas, apresentam uma simetria (com planos, eixos e centros de simetria), o que permite organizá-los em sete principais sistemas cristalinos (Tabela 5.2).

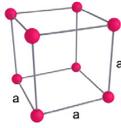
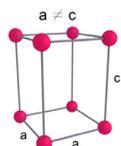
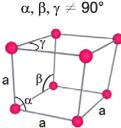
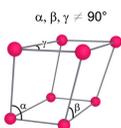
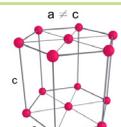
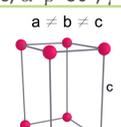
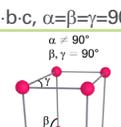
Sistema cristalino		Exemplo
Cúbico	 <p>$(a=b=c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ)$</p>	 <p>Fluorita (CaF)</p>
Tetragonal	 <p>$(a=b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ)$</p>	 <p>Rutilo (TiO₂)</p>
Trigonal	 <p>$(a=b=c, \alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ)$</p>	 <p>Calcita (CaCO₃)</p>
Triclínico	 <p>$(a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ)$</p>	 <p>Cianita (Al₂SiO₅)</p>
Hexagonal	 <p>$(a=b \neq c, \alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ)$</p>	 <p>Apatita Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃</p>
Ortorrômico	 <p>$(a \neq b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ)$</p>	 <p>Topázio Al₂SiO₄(F,OH)₂</p>
Monoclínico	 <p>$(a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ)$</p>	 <p>Gipsita CaSO₄·2H₂O</p>

Tabela 5.2: Sistemas cristalinos

5.2.2. Como são classificados os minerais?

Existem cerca de 4.000 espécies minerais conhecidas, mas algumas formam a maioria das rochas. Os minerais são geralmente classificados com base no radical aniônico (parte negativa da molécula básica do mineral: por exemplo, cloreto, fosfato, sulfato, silicato etc.) dominante em sua fórmula química. Por ser o silício o elemento químico mais abundante na Terra, seu radical

aniônico (silicato) é o constituinte principal dos minerais. Em função dessa característica, na classificação usual em mineralogia, faz-se a distinção entre os silicatos e os não-silicatos.

Na crosta terrestre, oxigênio e silício são os elementos químicos mais abundantes. Juntos, formam os silicatos (cerca de 90% dos minerais pertence a esse grupo), construídos a partir de um átomo de silício e quatro átomos de oxigênio, formando um tetraedro de SiO_4 (**Figura 5.5**). Esses tetraedros podem se unir e formar estruturas atômicas diferentes e, assim, originar minerais silicáticos diferentes. Além disso, o tetraedro de SiO_4 é eletricamente negativo,

mas pode se tornar neutro ao incorporar, em sua estrutura, cátions de carga positiva como o cálcio (Ca^{2+}), o potássio (K^+), o sódio (Na^+), o alumínio (Al^{3+}), o magnésio (Mg^{2+}), e o ferro (Fe^{2+} ou Fe^{3+}), por exemplo (*Ver Tabela periódica – QUIMICA*).

A **Tabela 5.3** apresenta a classificação dos silicatos, de acordo com a geometria da associação de tetraedros (tetraedros isolados, em cadeias simples, em cadeias duplas, em folha ou em arranjo tridimensional).

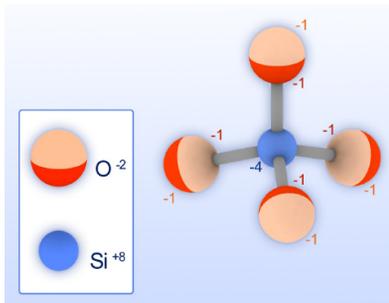


Figura 5.5: O tetraedro de sílica (SiO_4) e a distribuição de suas cargas.

Grupo	Estrutura	Exemplo	Grupo	Estrutura	Exemplo
Tetraedros isolados (Nesosilicatos)	Mg^{2+} ou Fe^{2+}	grupo da olivina ($\text{Fe, Mg})_2\text{SiO}_4$	Cadeia dupla (Inossilicatos)	Cadeia dupla	grupo dos anfibólios
Anéis (Ciclossilicatos)		Berilo, turmalina	Folhas de tetraedros (Filossilicatos)	Folhas	Micas, argilominerais
Cadeia simples (Inossilicatos)	Cadeia simples	grupo dos piroxênios ($\text{Ca, Fe, Mg}) \text{Si}_2\text{O}_6$	Estrutura em 3D (Tectossilicatos)		Feldspatos e quartzo

Os principais **silicatos**, como espécies minerais encontradas nas rochas, são, por exemplo:

- **olivina**, um silicato de Fe e Mg, frequente nas rochas ígneas e no manto terrestre;

- **piroxênios** e anfibólios (silicatos de Ca, Na e Fe, Mg), minerais escuros encontrados em rochas ígneas da crosta oceânica; e no manto.
- **micas** (biotita, de cor escura, e muscovita, de cor clara), silicatos em folhas comuns em rochas ígneas e metamórficas (a muscovita é a popular “malacaxeta”, utilizada como resistência nos ferros de passar antigos);
- **feldspatos**, os minerais mais abundantes da crosta continental, com muito alumínio em sua composição; esses aluminossilicatos de K e Na são feldspatos alcalinos e os de Na e Ca são feldspatos calcossódicos ou plagioclásios.
- **quartzo**, o único mineral comum inteiramente composto de silício e oxigênio (SiO_2);
- **granada**, com estrutura semelhante à da olivina, encontrada em rochas metamórficas principalmente;
- **argilominerais**, que são produtos do intemperismo de outros silicatos ou, eventualmente, de metamorfismo. A maioria se encontra nos solos e são comuns em rochas sedimentares. A caulinita é o argilomineral mais comum.

Os principais **minerais não-silicáticos** são menos abundantes, mas são de grande importância, visto que muitos têm valor econômico e estratégico. Podemos classificá-los em:

- **carbonatos** (formados pelo radical aniônico CO_3^{2-}), cujas espécies mais comuns são a calcita (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), principais constituintes de rochas sedimentares (calcário e dolomito). São muito empregados como corretivo de solo e utilizados na fabricação de cimento, por exemplo; eles têm um papel importante no ciclo do carbono (estocam CO_2) e são os principais constituintes das conchas e dos fósseis;
- **haleto** (Cl^- , F^- , Br^-) – formam os evaporitos (halita, NaCl ou sal de cozinha, silvita, KCl) ou são encontrados em filões hidrotermais (fluorita, CaF_2 , utilizada como fundente na indústria);
- **óxidos** (O^{2-}) – a maioria dessas espécies minerais, formadas com os elementos de transição, é uma fonte importante de metais, como é o caso, por exemplo, da hematita (Fe_2O_3), da cromita (CrO_4), do rutilo (TiO_2). Amagnetita (Fe_3O_4), que registra o magnetismo terrestre, é importante para os estudos de paleomagnetismo das rochas. No manto, os óxidos de silício formam, por exemplo, a perovskita ($\text{Mg,Fe}(\text{SiO}_3)$);
- **sulfatos** (SO_4^{2-}) – são geralmente formados por precipitação química (em ambientes oxidantes). As espécies mais comuns são a anidrita (CaSO_4), a barita (BaSO_4) e a gipsita ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) utilizada na fabricação de gesso.

- **sulfetos** (S^{2-}) – formam importantes minerais de minérios como a pirita (FeS_2), a calcopirita ($CuFeS_2$) e a galena (PbS), por exemplo;
- **fosfatos** (PO_4^{3-}), cuja espécie mais comum é a apatita [$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$], são a fonte quase única de fósforo com aplicação na agricultura e na indústria.
- **elementos** nativos são espécies que ocorrem como elementos puros, como o ouro (Au), a platina (Pt), o cobre (Cu), a prata (Ag), o mercúrio (Hg), o diamante (C) e o enxofre (S), por exemplo.

5.3. Identificação de minerais

As propriedades físicas dos minerais dependem de sua composição química e estrutura cristalina e é com base nessas propriedades que podemos identificar os minerais.

Quando pensamos em minerais, vêm à mente geralmente os cristais perfeitos, como aqueles exibidos em museus com belas formas, como cubos, prismas, pirâmides etc. Mas só raramente os cristais apresentam uma estrutura externa geometricamente perfeita. Em função dessa característica, as espécies minerais podem ser classificadas de acordo com a sua forma externa, ou seja, o seu hábito, além de outros aspectos físicos particulares: cor, brilho, transparência, traço, fratura, clivagem, dureza e outras propriedades (magnética, elétrica, fotoluminescência).

- **Hábito** – é o formato geométrico externo característico que um mineral apresenta. Pode ser laminar, como o caso das micas (muscovita – $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), prismático [apatita – $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$], fibroso (crisotila – $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), tabular (barita – $BaSO_4$) ou equidimensional (granada almandina – $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$), havendo ainda outros hábitos caracterizados como ilustrado na **Figura 5.6**. Entretanto, nem todos os minerais apresentam um hábito característico, que permita utilizá-lo como critério de classificação.



Figura 5.6: Hábitos cristalinos de minerais

Observando uma rocha, cristais perfeitos ou fragmentos de minerais, deparamo- nos também com espécies minerais de diversas cores, brilhos e transparências.

- **Cor** – é o que geralmente mais chama a atenção ao se observar um mineral. Trata-se, porém, de um critério ambíguo na identificação de um mineral, uma vez que um mesmo mineral pode apresentar várias cores, como é o caso do quartzo, por exemplo (**Figura 5.7a**). A cor se deve à absorção seletiva de luz e varia em função da presença de certos elementos químicos (Fe, Cr, Cu, Ti, V, Mn etc.), presentes apenas como impurezas, não sendo, assim, elementos essenciais na composição original do mineral. Entretanto, alguns minerais apresentam uma cor muito característica, útil na identificação (malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{CO}_3$) verde, enxofre (S) amarelo, azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) azul, rodocrosita (MnCO_3) rosa) (**Figura 5.7b**). Portanto, ao tentar identificar um mineral, é necessário considerar outras propriedades.

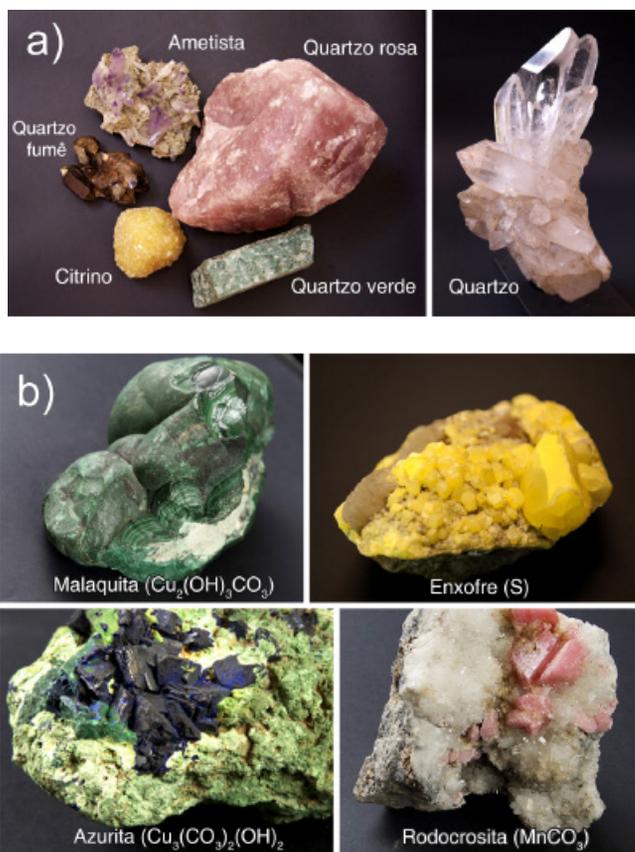


Figura 5.7: a) variedades de quartzo (ametista roxa, citrino amarelado, fumê etc.) b) malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{CO}_3$) verde, enxofre (S) amarelo, azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) azul, rodocrosita (MnCO_3) rosa.

• **Brilho** – é a propriedade do mineral de refletir a luz. O brilho pode ser classificado em metálico e não-metálico. Contudo, objetos comuns também podem refletir a luz com intensidades diferentes, alguns brilham muito mais ou muito menos do que outros. O copo de vidro não tem o mesmo brilho que um copo de plástico, nem uma folha de papel alumínio comparada com uma moeda. Podemos aplicar essas mesmas observações aos minerais. Aqueles que se apresentam com brilho metálico são geralmente dourados, prateados ou acobreados. Os minerais com brilho não-metálico possuem várias distinções em analogia ao brilho de objetos comuns. Por exemplo: brilho vítreo (vidro recém-quebrado), brilho gorduroso (brilho do óleo), brilho perolado (brilho da pérola), satinado (brilho da seda), ceroso (brilho da cera) etc. (Figura 5.8).

BRILHO METÁLICO



GALENA (PbS)

BRILHO NÃO METÁLICO (VÍTREO)



QUARTZO (SiO_2)



REALGAR (AsS)

Figura 5.8: Brilhos metálico e não-metálico dos minerais.

• **Transparência** – é a capacidade do mineral em deixar passar a luz. Pode ser transparente (vemos através dele como através do vidro da janela), translúcido (deixa parcialmente passar a luz, como quando olhamos através do vidro embaçado) e opaco (não deixa passar a luz). (Figura 5.9).



Figura 5.9: Transparência dos minerais.

Se a cor de um mineral deve ser considerada com cautela em qualquer tentativa de classificação, por ter uma boa dose de subjetividade, a cor do mineral reduzido a pó torna-se um bom critério de desempate entre espécies minerais parecidas, isto porque a cor pode variar de um mineral a outro, mas a cor do seu traço, geralmente, não muda.

- **Traço** – é a cor característica do pó que um mineral deixa ao ser riscado sobre uma superfície de porcelana (ou quando pulverizado). Por exemplo: o traço avermelhado da hematita ou cinza escuro da pirita (**Figura 5.10**).

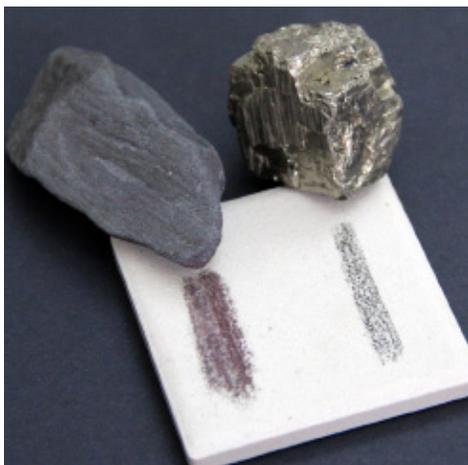


Figura 5.10: Traço avermelhado da hematita (Fe_2O_3) (a) e cinza escuro da pirita (FeS_2) (b).



Figura 5.11: Fratura conchoidal do quartzo (SiO_2).

Um mineral, ao ser quebrado, pode apresentar superfícies irregulares ou planas, que podem também ser utilizadas como critério de identificação. Ele pode também ser mais fácil ou mais difícil de quebrar, o que reflete a coesão da estrutura (quanto mais fortes as ligações químicas, mais resistente). São critérios que podemos também utilizar na tentativa de identificar um determinado mineral. Os termos geralmente utilizados são fratura, clivagem e dureza.

- **Fratura** – é a forma irregular apresentada na superfície do mineral ao ser quebrado. O quartzo apresenta uma fratura denominada conchoidal (como a forma de uma concha) com ranhuras concêntricas (**Figura 5.11**).
- **Clivagem** – é uma superfície regular plana que o mineral apresenta ao ser quebrado; a presença de clivagens reflete a estrutura interna ordenada dos minerais, que apresenta um ou alguns planos de fraqueza. A mica apresenta uma clivagem perfeita, pois podemos separar partes finas e planas como folhas, reflexo de sua estrutura interna foliada (**Figura 5.12**).



Figura 5.12: clivagem perfeita da mica (filossilicato).

- **Dureza** – é a resistência apresentada por um mineral ao ser riscado (resistência à abrasão). Geralmente, utiliza-se uma escala relativa com 10 minerais padrões: a **escala de Mohs (Figura 5.13)**. O mineral mais resistente é o diamante, seguido pelo coríndon, e, por serem resistentes, eles são utilizados como abrasivo na indústria e revestem cabos de corte (fio diamantado), utilizados na extração de rochas ornamentais, por exemplo.

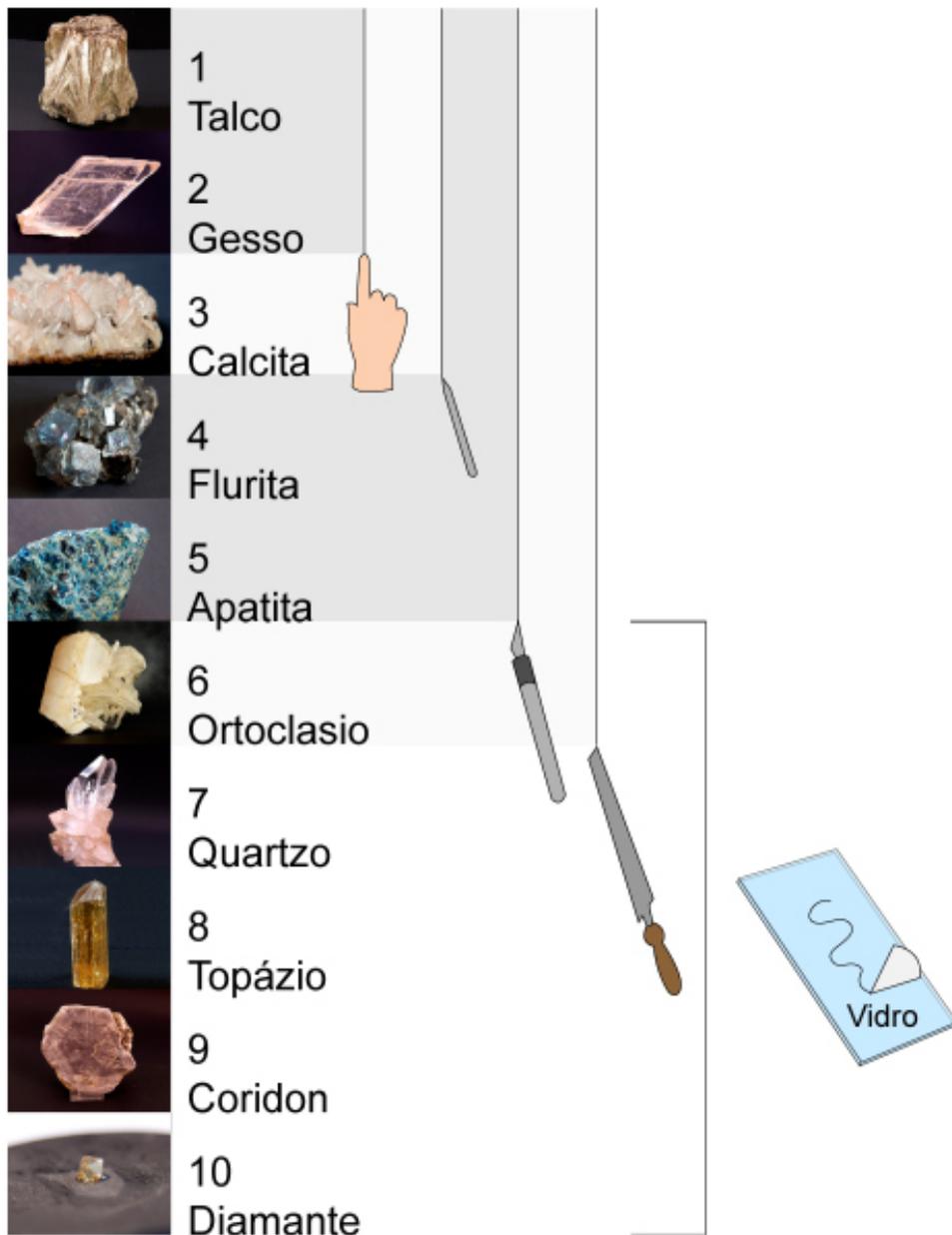


Figura 5.13: Escala de Mohs

- **Propriedades** magnéticas, elétrica, fotoluminescência (fluorescência e fosforescência). Alguns minerais são sensíveis ao campo magnético e são atraídos por um ímã. É o caso, por exemplo, da magnetita (Fe_3O_4) (Figura 5.14a). Outros têm propriedades elétricas em

função, principalmente, do tipo de ligação química que une os átomos constituintes dos minerais: minerais que possuem ligações metálicas são bons condutores de eletricidade, ao passo que minerais que têm ligações iônicas ou covalentes são isolantes ou semicondutores. Minerais condutores que não possuam centro de simetria podem produzir eletricidade por aquecimento (piezoelectricidade) ou compressão (piezoelectricidade), cujos exemplos mais comuns são a turmalina e o quartzo, respectivamente. Essa propriedade do quartzo é muito importante na indústria eletrônica. Alguns minerais, quando irradiados por radiação ultravioleta, emitem luz. Esse fenômeno é denominado fluorescência (nome que faz referência ao mineral fluorita, que apresenta essa propriedade) (Figura 5.14b). Se a emissão de luz dura ainda alguns instantes após o fim da exposição à radiação, o fenômeno associado é a fosforescência. É o caso, por exemplo, da scheelita (CaWO_4).



Figura 5.14: a) atração da magnetita; b) fluorescência da fluorita.

5.4. Rochas e seus Minerais

A maioria dos minerais que mencionamos ao longo deste tópico constitui as principais **rochas** presentes em nosso planeta, também na Lua, nos outros planetas rochosos do Sistema Solar (Mercúrio, Vênus, Marte) e nos asteroides. Quando observamos as rochas que ocorrem comumente na superfície como, por exemplo, aquelas que são utilizadas como materiais para construção e ornamentação das construções, frequentemente polidas, de forma a deixar evidentes suas características visuais, podemos perceber a variedade de cores e estruturas: há estruturas que nos fazem imaginar que passaram por esforços ou por fases de fusão, pois apresentam faixas onduladas ou irregulares, diferenciadas pelas cores e dimensões dos minerais que as constituem.

Outras são relativamente homogêneas, mostrando grãos minerais distribuídos mais ou menos regularmente e que podem ter dimensões muito ou pouco variáveis. Outras variações ainda podem ser observadas no aspecto macroscópico das rochas, e essas observações apoiam as interpretações sobre a origem das rochas.

As rochas podem ser agrupadas em três grandes famílias, em função de sua origem: as rochas ígneas, cristalizadas a partir de magmas, as rochas sedimentares, formadas na superfície terrestre e as rochas metamórficas, que resultam da transformação em profundidade das outras rochas. Essas rochas são partes integrantes de um ciclo, o **ciclo das rochas**, que ocorre no interior e na superfície da litosfera, definindo ambientes e processos formadores de rochas com características diferentes (**Figura 15**). Por sua vez, cada grupo de rochas possui estruturas, texturas e composições características de acordo com sua origem, e são estas as características que podem, muitas vezes, ser observadas a olho nu, permitindo a interpretação preliminar de sua origem. A cada um dos três tipos corresponde um ambiente geológico muito diferenciado.

No ambiente magmático, as temperaturas são elevadas, geralmente superiores a 700°C, e a pressão é variável, o que controla o vulcanismo ou plutonismo. As rochas produzidas nesse ambiente são oriundas da cristalização de magmas. Suas diferenças provêm de sua composição química e da velocidade de resfriamento, que lhes conferem texturas características.

No ambiente sedimentar, os processos ocorrem na superfície da litosfera, em temperatura e pressão baixas, em contato com a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera. As rochas sedimentares são formadas a partir do soterramento e consolidação de depósitos de materiais minerais ou por precipitação a partir de soluções aquosas.

No ambiente metamórfico, o campo de temperatura e pressão é muito mais amplo, mas a temperatura não pode exceder 700°C, pois entraria no campo de fusão das rochas, ou seja, no campo magmático. As rochas metamórficas são rochas preexistentes, que foram deformadas e transformadas por terem sido submetidas a elevações de temperatura, pressão e/ou circulação de fluidos.

Assim, a dinâmica interna e a dinâmica externa da Terra regem os processos de formação de rochas, interligados pelo ciclo das rochas e que serão detalhados nos próximos tópicos, e que na global estão ligados à Tectônica de Placas.

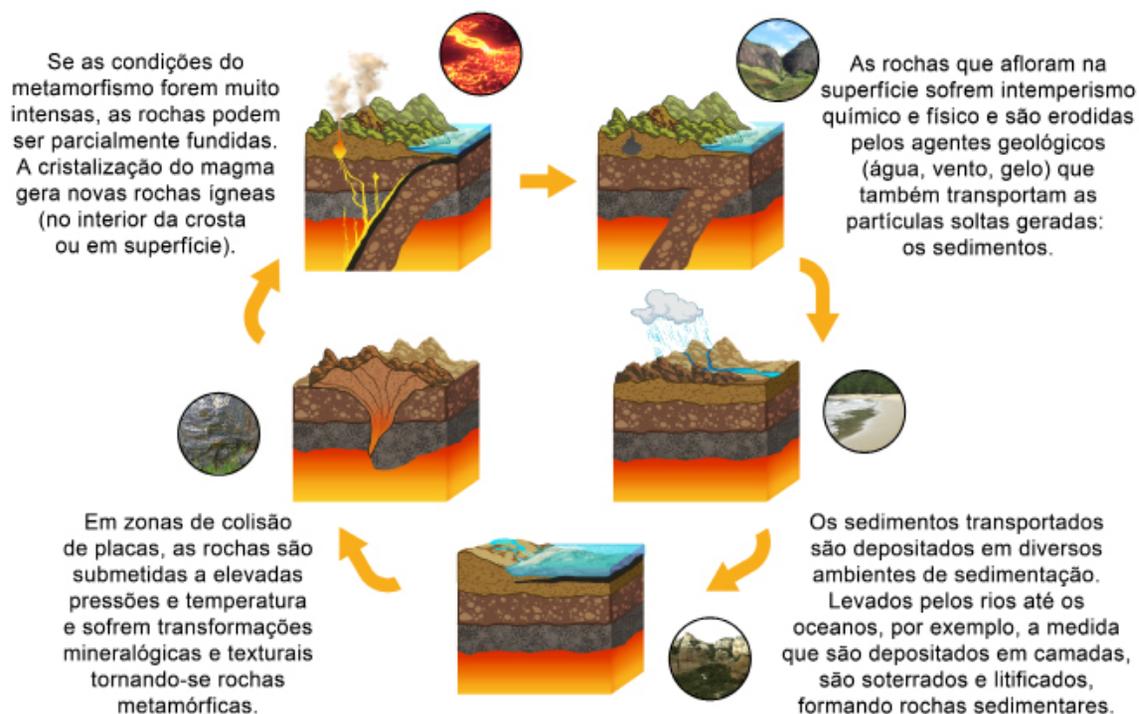


Figura 5.15: O ciclo das rochas, ilustra as diversas etapas e possibilidades de transformação de um tipo de rocha em outro. Assim, a crosta está em constante evolução devido à dinâmica das placas tectônicas.

Bibliografia

- BARTORELLI A. & CORNEJO C. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. São Paulo: Solaris, 2009.
- GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H; PRESS, F et al. **Para Entender a Terra**. Trad. Rualdo Menegat (coord.) et alii. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J.; TASA, D. **Earth** – an introduction to physical geology. New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- TEIXEIRA *et al.* **Decifrando a Terra**. 2ª Ed.. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009.