

Mineral (Conceitos de)

Celso de Sousa Figueiredo Gomes

Universidade de Aveiro

CITAÇÃO

Gomes, C. S. F. (2022)
Mineral (Conceitos de),
Rev. Ciência Elem., V10(02):033.
doi.org/10.24927/rce2022.033

EDITOR

João Nuno Tavares
Universidade do Porto

RECEBIDO EM

03 de agosto de 2021

ACEITE EM

28 de janeiro de 2022

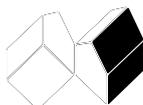
PUBLICADO EM

15 de junho de 2022

COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2022.
Este artigo é de acesso livre,
distribuído sob licença Creative
Commons com a designação
[CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite
a utilização e a partilha para fins
não comerciais, desde que citado
o autor e a fonte original do artigo.

[rce.casadasciencias.org](https://www.casadasciencias.org)



Em Ciências Geológicas, em Ciência de Materiais e em Ciências do Solo consideram-se minerais os sólidos inorgânicos de origem natural que, em regra, são cristalinos, isto é, possuem ordem interna, tridimensional e triperiódica. Este é o conceito *stricto sensu* (s.s.) de mineral.

O tamanho dos minerais é conceptualmente irrelevante, por poder na mesma espécie variar da ordem do micrón até ao metro, o mesmo acontecendo com a forma.

Os minerais podem apresentar-se, ou como cristais individuais de formas regulares limitadas por superfícies planas e espacialmente distribuídas de modo regular ou simétrica, também como agregados de cristais individuais de formas irregulares e macroscopicamente observáveis, ou ainda como agregados de cristais micrométricos ou nanométricos, com ou sem formas regulares, só identificáveis utilizando equipamentos e técnicas especiais (por exemplo, Difractometria de raios X e Difractometria de eletrões) e, só observáveis utilizando também equipamentos e métodos especiais (por exemplo, microscópios de luz polarizada ou de eletrões).

As FIGURAS 1A) e 1B) mostram dois espécimes individuais de calcite, CaCO_3 , amostrados em ocorrências na Serra dos Candeeiros, que exibem formas regulares, romboédrica e escalenoédrica, respetivamente. A FIGURA 1C) mostra, de modo esquemático, a estrutura interna da calcite, constituída por: O (48%), Ca (40%), C (12%).



FIGURA 1. A) Forma romboédrica de calcite caramelada da Serra dos Candeeiros. B) Forma escalenoédrica de calcite caramelada da Serra dos Candeeiros no qual o hábito escalenoédrico é bem evidente e, não obstante, o poliedro de clivagem deste cristal escalenoédrico continuará a ser um romboedro. C) Representação esquemática da estrutura cristalina romboédrica ou trigonal da calcite; o carbono ocupa o centro de triângulos equiláteros, cujos vértices estão ocupados por oxigénios; o cálcio ocupa os vértices e o centro das faces e está representado pelos pontos negros maiores; repare-se que os átomos de cálcio e os grupos de átomos de carbono e oxigénio ocupam posições particulares na rede cristalina, em nós da rede, em posições centrais de planos reticulares e no meio de fiadas reticulares.

As FIGURAS 2A) e 2B) mostram dois espécimes das espécies minerais — diamante e grafite —, respetivamente, constituídos por um único e mesmo elemento químico — o carbono —, que exibem propriedades muito distintas, porque são muito distintos os modos de organização espacial dos átomos de carbono, cúbico maioritariamente nas formas oc-

taedro e dodecaedro, no diamante, hexagonal na grafite, espécies minerais que se dizem polimorfos do carbono.

O diamante é o mineral mais duro conhecido (10 na escala de Mohs, enquanto a grafite está entre os menos duros, 1 na escala de Mohs), e é muito mau condutor elétrico.

O diamante que pode apresentar cor variada (incolor, rosa, verde, azul ou preta) é formado a pressão muito elevada (à volta de 70.000kg/cm²) e a temperatura muito elevada (à volta de 2.000°C), condições que só existem entre 150-200km, isto é, no manto superior do planeta Terra.

O chamado magma kimberlítico, portador ou não de diamantes, pode ascender até à superfície ou próximo da superfície da crosta terrestre através de fraturas de raiz profunda ou de chaminés vulcânicas.

O valor do diamante natural (assim dito porque como alguns outros minerais pode ser artificialmente produzido) tipo joia depende de vários fatores: Tamanho - determina o peso expresso em quilates ou carates (1 quilate = 200mg); Cor — incolor, rosa, verde, azul ou preta (muito rara); Forma geométrica cúbica — octaedro, dodecaedro, hexaoctaedro, cubo (muito raro), menos ou mais distorcida; Clivagens — quando existem determinam o aproveitamento no diamante tipo joia; Transparência ou Hialinidade; Inclusões — são comuns pequeníssimas partículas de carbono e de óxido de ferro.

A diferença tão forte entre propriedades correspondentes do diamante e da grafite tem por causa o modo muito diferente como os átomos de carbono estão organizados (número de coordenação e natureza das ligações químicas) nas estruturas respetivas.

Os minerais formados por um único elemento químico, geralmente metais caracterizados por brilho metálico, são denominados minerais nativos, tais como: Pt, Au, Ag, Fe, Cu, Mo e Bi. Entre os minerais nativos há alguns sem brilho metálico, tais como: S, As e Sb.

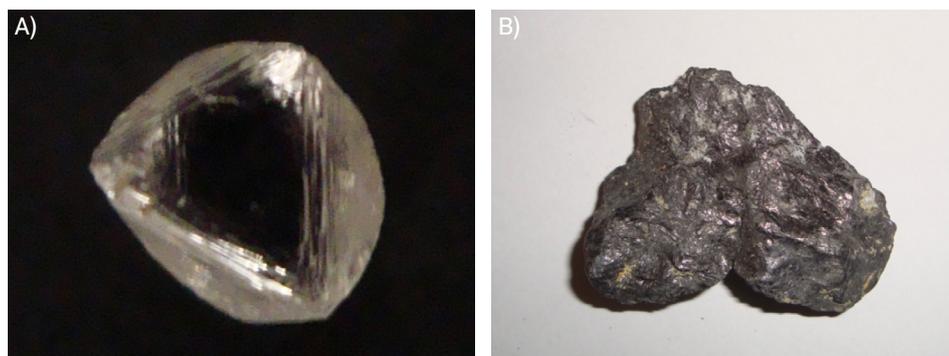


FIGURA 2. A) Os minerais, diamante. B) Mineral grafite. Ressaltando as diferenças de forma, cor, brilho e estrutura.

Importa referir que uma espécie mineral, atualmente estão identificadas cerca de 4500 espécies, compreende todos os minerais individuais constituídos pelos mesmos elementos químicos básicos ou fundamentais e que apresentam a mesma organização interna ou estrutura cristalina, distinguindo-se os ditos minerais individuais na dimensão, forma e cor, e por diferenças de pequena monta, tanto químicas, como estruturais, por efeito da chamada substituição atômica isomórfica que pode ocorrer, em maior ou menor grau, em todos os minerais, e que está condicionada à dimensão dos átomos ou iões e à carga elétrica dos mesmos. Naturalmente, os elementos químicos com dimensões iónicas muito próximas, ainda que com diferente carga elétrica são os que mais facilmente se podem

substituir, como é o caso de Na^+ e Ca^{2+} nos silicatos, levando à formação das chamadas soluções sólidas contínuas ou completas, entre o termo $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ denominado albite e o termo $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ denominado anortite, da série denominada *plagioclases* ou *feldspatos calco-alcálicos*.

Os minerais são formados em ambientes naturais quimicamente complexos, havendo durante a sua formação competição entre os elementos químicos presentes no meio, podendo alguns elementos não essenciais para a formação dum determinado mineral entrar e participar no edifício cristalino respetivo. Os minerais são constituídos por número reduzido de elementos químicos básicos ou fundamentais, em regra não superior a 8 (Lei da Parcimónia), uma vez que a estabilidade física e química dum mineral exige que se verifique compatibilidade e afinidade entre os elementos fundamentais que nele participam.

A FIGURA 3A) mostra um agregado de pós de dimensão nanométrica e informes à vista desarmada da espécie mineral — caulinite, $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, constituinte fundamental do recurso mineral e mineral industrial denominado caulino, matéria-prima essencial para diversas aplicações, na cerâmica, no papel, em tintas, na borracha, na farmácia, na cosmética etc., amostrado em Alvarães, Viana do Castelo, a FIGURA 3B) mostra que esses mesmos pós informes são realmente pequenos cristais que exibem formas próprias pseudohexagonais.

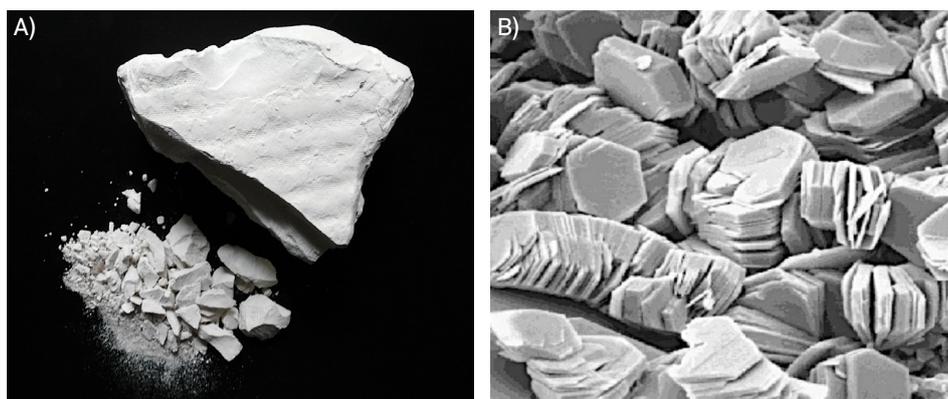


FIGURA 3. A) Fragmento terroso de caulino de Alvarães, refinado ($< 45 \mu\text{m}$) por hidrociclonação e parcialmente desintegrado. B) imagem de "livros" de partículas lamelares, verdadeiros cristais pseudohexagonais de caulinite, no caulino de Alvarães, obtida por MET.

O conceito de recurso mineral engloba todos os minerais ou as substâncias minerais com valor para o homem, no presente ou no futuro. As substâncias minerais possuem características que não satisfazem completamente as características antes referidas no conceito de mineral, por exemplo, não serem sólidas, ou não serem cristalinas, ou ainda não serem inorgânicas, como são os casos do petróleo, do carvão, do gás natural e da água mineral.

Em Geologia um recurso mineral é uma concentração natural de minerais ou de substâncias minerais à superfície ou no interior da crosta terrestre, de tal forma que a extração económica seja praticável ou potencialmente viável, havendo dois tipos de recurso mineral: identificado ou conhecido e não identificado ou não descoberto.

É dado o nome de reserva à porção do recurso identificado a partir da qual pode ser económica e legalmente extraído, em determinada altura, o mineral ou substância mineral utilizáveis. As reservas podendo ser calculadas ou provadas, indicadas ou prováveis e

inferidas ou possíveis, sendo as reservas calculadas ou provadas aquelas cuja tonelagem é calculada a partir das dimensões reveladas nos afloramentos, trincheiras e sondagens e cujo teor é calculado com base nos resultados de uma amostragem detalhada.

Quer o mineral seja não metálico ou metálico, quando o depósito do mineral possui dimensão ou volume e qualidade para o mineral no seu todo, ou em parte (por exemplo, um depósito de sulfuretos no qual só os metais zinco, Zn, e cobre, Cu, interessam) para poder ser extraído, isto é, para o depósito poder entrar em lavra, e o concentrado dos ditos metais possam ser comercializados, esse depósito é denominado jazigo mineral e o mineral passa a chamar-se minério.

O conceito de minério é um conceito dinâmico, podendo um determinado mineral ser hoje considerado um minério e amanhã deixar de o ser. Também um mineral que hoje não é considerado minério poderá vir a sê-lo num futuro mais ou menos distante. No conceito de minério a viabilidade económica da sua exploração, tratamento e concentração é um fator essencial. Ao contrário de outros recursos naturais os recursos minerais não são renováveis.

Nas Ciências da Vida e da Saúde, em parte nas Ciências Farmacêuticas e, também, nas Ciências da Nutrição, consideram-se minerais também os elementos químicos de origem inorgânica e natural, essenciais, não essenciais, ou até tóxicos para a vida e, também, os sólidos cristalinos formados por efeito da atividade biológica ou celular, como é o caso dos chamados biominerais essenciais que formam os ossos e os dentes, assim como os chamados biominerais patológicos que formam as chamadas “pedras” ou cálculos de rim, vesícula e bexiga, assim como as placas de sais de cálcio que obliteram artérias.

Quando se diz Ciências Farmacêuticas em parte, tal significa que nestas ciências o conceito de mineral compreende, tanto os elementos químicos de origem inorgânica e natural que, por exemplo, participam nos chamados suplementos minerais, como os sólidos inorgânicos e de origem natural que participam como substâncias ativas ou como excipientes em muitos fármacos.

Os minerais tal como o corpo humano são sistemas químicos, havendo entre eles uma singular relação de interdependência, os minerais são fundamentais à vida e qualidade de vida dos humanos e, são os humanos que valorizam e divulgam os minerais. São bem conhecidas as interações, tanto positivas como negativas, de minerais na saúde humana.

A natureza ampla do tipo de minerais que, potencialmente ou efetivamente, podem interagir na saúde humana, justifica o conceito mais abrangente de mineral que recentemente foi proposto pelo autor da presente entrada, o conceito de mineral *lato sensu* (mineral l.s.) de modo a incluir:

1. Os elementos e compostos químicos, naturais, inorgânicos, sólidos e cristalinos que participam na composição de rochas e solos, e que podem também estar presentes em suspensão na água mineral e no ar; alguns destes minerais, particularmente os que estão em suspensão no ar que pode ser inalado e que sendo produzidos tanto naturalmente como industrialmente, podem causar patologias no sistema respiratório cuja severidade depende do grau e do tempo de exposição, patologias de que são exemplos mais comuns a silicose e a asbestose; outros destes minerais podem desempenhar funções positivas em formulações de fármacos e de cosméticos, como substâncias ativas ou excipientes.

2. Os elementos químicos de origem natural considerados bioessenciais que, na forma iônica, são constituintes do alimento sólido ingerido, denominados macronutrientes ou sais minerais e micronutrientes ou oligominerais.
3. Os elementos químicos de origem natural que, na forma iônica, são constituintes da água mineral ingerida, correntemente denominados minerais, estando bem estabelecido o seu papel decisivamente condicionador da saúde humana e da qualidade de vida, as quais podem beneficiar igualmente da aplicação de terapêuticas tais como as denominadas hidroterapia, crenoterapia e talassoterapia.
4. Os elementos químicos de origem natural que, na forma iônica, sendo também correntemente denominados minerais, participam como oligoelementos nas formulações dos chamados suplementos minerais.
5. Os chamados nanominerais caracterizados pela dimensão manométrica das suas partículas são incorporados em cosméticos (cremes, pós, emulsões, pastas dentífricas, batons, sais de banho, protetores solares) e, também em fármacos, alguns estando sendo investigados para serem usados no transporte e aplicação localizada e controlada de fármacos.
6. Os chamados biominerais classificados como, ou bioessenciais para alguns sistemas fisiológicos humanos, tais como ossos e dentes, ou patológicos uma vez que podem causar patologias, tais como litíase (urinária, salivar, renal e biliar) devido à formação dos chamados cálculos ou "pedras", de composição análoga e estrutura cristalina semelhante á de certos minerais, fosfatos, carbonatos e oxalatos.
7. As chamadas argilas especiais, associações naturais de minerais argilosos (filossilicatos hidratados) que desde a Antiguidade são utilizadas como materiais terapêuticos e cosméticos em aplicações internas e também em aplicações externas ou tópicas, denominadas geofagia e lamaterapia / peloterapia, respetivamente.
8. As argilas especiais manipuladas e modificadas com reconhecidas aplicações biomédicas, podendo híbridos argila-medicamento atuar por exemplo como "transportadores e libertadores de medicamentos de modo localizado e controlado".
9. As chamadas areias especiais que são utilizadas sob a forma de banhos de areia, ao ar livre no meio natural ou no interior de spas especializados, em aplicação terapêutica denominada psamoterapia ou arenoterapia.
10. Os elementos químicos de origem natural denominados metais que participam na composição de metaloproteínas e metaloenzimas atuando como catalisadores em reações metabólicas essenciais para a vida e saúde.

Os elementos químicos naturais são comuns aos minerais e aos seres vivos, igualmente naturais. Por exemplo o carbono (C), que atrás se mostrou ser constituinte fundamental da calcite e do grupo de minerais denominado carbonatos e ocorrer também como elemento nativo no diamante e na grafite, pelas suas características específicas, é um elemento essencial, participando na constituição de muitas e variadas moléculas orgânicas.

O carbono é um átomo muito pequeno que, em função da sua estrutura eletrónica, é capaz de se associar a outros átomos de carbono e também a átomos de oxigénio e azoto, através de ligações químicas simples, duplas e triplas, e formar estruturas em cadeia, abertas ou fechadas e, ainda, em anel. Efetivamente, a química da vida é dominada pela

química dos compostos de carbono. Entre estes, salientam-se os aminoácidos (compostos quaternários de O, H, O, N e, por vezes, S).

As moléculas pequenas (monómeros), constituintes básicos dos aminoácidos, associam-se em macromoléculas (polímeros) denominadas proteínas (por exemplo, a hemoglobina presente nos glóbulos vermelhos e que é responsável pelo transporte de oxigénio dos pulmões a todos os órgãos e tecidos do corpo) e que desempenham funções, estrutural, imunológica, hormonal e enzimática, essenciais à vida. As enzimas são também exemplos de proteínas.

O carbono participa ainda na composição dos lípidos ou gorduras e na composição dos glícidos ou açúcares, tais como glicose, maltose, lactose, e sacarose e, ainda, nos hidratos de carbono que constituem o combustível das células fornecendo-lhes a energia de que necessitam para realizar as suas funções.

O oxigénio é fundamental na composição e estrutura de minerais dos grupos ou classes seguintes: óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos, sulfatos, fosfatos, nitratos, arsenatos, molibdatos, tungstos e vanadatos.

Por sua vez o hidrogénio para além de ser fundamental na composição e estrutura dos minerais pertencentes ao grupo dos hidróxidos, entre também num número muito elevado de minerais que se dizem hidratados, sejam silicatos, sulfatos, fosfatos, etc.

O conceito de mineral, como acontece com outros conceitos, evoluiu ao longo do tempo. Durante um longo primeiro período até ao século XVIII no conceito de mineral foram valorizadas as propriedades físicas — cor, dureza, densidade, risca ou traço, brilho e fusibilidade; num segundo período, a seguir à descoberta da natureza química dos constituintes respetivos — os elementos químicos —, no conceito de mineral foram valorizadas as propriedades químicas; num terceiro período com início na segunda década do século XX, demonstrada a estrutura interna, tridimensional e triperiódica dos minerais através da interação com os raios X, no conceito de mineral passaram a ser valorizadas, conjuntamente, as propriedades químicas e estruturais dos minerais, período que é conhecido por Cristalografia.

Num número relativamente reduzido de materiais inorgânicos naturais a ordem interna é reduzida ou quase inexistente e indetetável, todavia proporcionadora de enorme importância tecnológica, como acontece nos casos dos chamados nanominerais e das chamadas fases fracamente cristalinas que se apresentam na forma de géis e que, por razão da dita importância tecnológica e exigência dos mercados, passaram a ser produzidos industrialmente. Também industrialmente e destinados a mercados e funções específicas que requerem pureza química elevada podem ser produzidos em volumes limitados os chamados análogos minerais ou minerais sintéticos, produção apenas viável para composições químicas muito simples, constituídas por poucos elementos químicos.

A Mineralogia é a ciência básica do conjunto das chamadas Ciências da Terra, entre as quais se destacam a Geologia, a Petrologia, a Geoquímica, a Geofísica, a Paleontologia, a Sedimentologia, a Estratigrafia, a Edafologia, a Geologia Económica, a Geologia do Ambiente, a Hidrogeologia e a Geoarqueologia.

A Mineralogia estuda os minerais, as suas propriedades físicas e químicas, a sua génese, a sua classificação ou sistemática, a sua exploração e processamento mineiro e impactes ambientais correspondentes e, ainda, as suas aplicações industriais. Efetivamente, a Mineralogia é a ciência básica e mais antiga das Ciências da Terra.

São do médico e naturalista alemão Georgius Agricola (1494-1555), considerado o pai da Mineralogia, os primeiros livros, *De Natura Fossilium* ou "Os Fósseis Naturais" (1548) e *De Re Metallica* ou "Da Natureza dos Metais" (1556), escritos em latim, onde são descritos alguns minerais, a sua exploração mineira e o seu processamento metalúrgico. O nome Georgius Agricola é o nome latinizado do nome germânico Georg Bauer. O livro *De Re Metallica* foi publicado um ano depois da morte de Georgius Agricola.

Curiosamente, os livros referidos para além de salientarem o interesse aplicado dos minerais para o homem, referiam também os efeitos negativos que alguns minerais tinham na saúde humana, seja o caso do veneno forte que representava o arsénio para os mineiros que exploravam depósitos de minerais portadores de arsénico, ou o caso das poeiras minerais respiradas pelos mineiros e que causavam doenças pulmonares.

Envenenamentos causados por As, Pb e Hg chamados, respetivamente, arsenicose, plumbismo ou saturnismo e mercuriose ou hidrargirismo, eram de ocorrência comum entre os Romanos.

Os minerais mais venenosos conhecidos de Gregos e Romanos eram os minerais de arsénio, auripigmento (As_2S_3) e realgar (AsS), cujos pó podiam ser letais quando inalados. Soluções destes minerais, sem cheiro e sabor, eram intencionalmente utilizadas como veneno, com vários exemplos na Itália Renascentista. A espécie As(III) é mais tóxica que a espécie As(V). Na natureza o As ocorre em sulfuretos e está muito associado a Au e Ag. Compostos de arsénio participam em formulações de herbicidas, pesticidas, fungicidas e raticidas. Posteriormente, foi identificado que o cinábrio (HgS) principal mineral de mercúrio, e que a galena (PbS) principal mineral de chumbo, eram igualmente fortemente tóxicos.

Muito cedo, porventura desde a aurora da Antiguidade, o homem primeiro empiricamente e muito mais tarde na base de princípios e métodos científicos descobriu que certos produtos naturais chamados minerais, quando ingeridos ou aplicados topicamente tinham efeitos curativos em certas doenças digestivas e dérmicas, tais como: melhorar doenças e intoxicações do trato digestivo, curar feridas e parar hemorragias e produzir também efeitos benéficos no cuidado e tratamento da pele, cosmético e dermocosmético.

O uso de minerais para fins terapêuticos é conhecido desde as culturas mais remotas, na Antiga China e na Mesopotâmia (3000-2000 a.C.) com referências nas famosas placas de argila de Nippur (~2500 a.C.), no Antigo Egipto no igualmente famoso papiro Ebers (~1500 a.C.), na Antiga Grécia e Antiga Roma.

As placas de Nippur, Mesopotâmia, contêm referência a argila como remédio para curar feridas expostas e para parar os chamados "fluidos corporais".

O papiro de Ebers, o texto médico mais antigo conhecido, refere a argila como remédio para doenças, tais como: diarreia, disenteria, ténia ou bicha solitária, lombriga, feridas e abscessos. Também, ainda na Antiguidade, o homem descobriu que alguns minerais, quando eram extraídos de minas e depois processados, podiam por inalação de poeiras e fumos, atuar como verdadeiros venenos [Hipócrates (460-355 a.C.) e Galeno (129-201 d.C.)].

Atualmente, no âmbito da Mineralogia, há uma disciplina muito interessante denominada Mineralogia Ambiental que contempla os efeitos positivos e negativos do ambiente geológico e dos recursos geológicos (minerais em particular) e sua exploração, na saúde do homem.

Os minerais e, em particular os metais, estão presentes na nossa vida quotidiana, embora a maioria de nós não se aperceba de tal; efetivamente, não podemos viver sem eles.

Entre os chamados minerais e rochas industriais, também chamados minerais não metálicos por não serem fonte de metais, alguns são identificados de seguida: agregados (areia e cascalho), argilas especiais (caulino, bentonite, argila fibrosa de *sepiolite* e/ou *palygorskite*, *ball clay*, *fuller's earth* e argila comum utilizada para materiais de construção e para olaria), calcário, dolomia, talco, feldspato, quartzo, bauxite, asbestos, etc., participam em aplicações fundamentais, dependendo das suas propriedades físicas e químicas, em indústrias tais como: construção, cimento, cerâmica, plástico, vidro, refratários, papel, tintas, borracha, fertilizantes, pesticidas, absorventes, cosméticos, fármacos, etc. Outros minerais, os chamados minerais metálicos, são fonte de metais, e denominados minérios de ferro, de cobre, de ouro, de zinco, de terras raras, etc.

A título de curiosidade é interessante saber que num *smartphone*, equipamento atualmente tão comum e importante, 40 metais participam no seu fabrico, sendo os principais Cu (13.7g), Ag (0.189g), Au (0.028g), Pd (0.014g). Em 2015 a Samsung produziu 83,2 milhões de *smartphones* e a Apple produziu 61,2 milhões de *smartphones*, que no total utilizaram 7.913 toneladas de Cu e 16 toneladas de Au. Outros 9 metais essenciais, os metais de transição Y, La, Ce, Pr, Nd, Gd, Tb, Er e Dy, pertencentes ao grupo dos chamados Elementos Terras Raras (ETR) ou (REE em Inglês) são referidos como Lantanídeos na Tabela Periódica.

Os ETR são caracterizados por raras propriedades físicas e químicas, em particular propriedades magnéticas e óticas, participam nos ecrãs de *smartphones*, tablets, computadores, televisores, discos duros, ligas especiais, iluminação fluorescente e LED, veículos elétricos híbridos, conversores catalíticos, cerâmica, vidro, equipamentos de imagiologia médica e, várias outras importantes aplicações, por exemplo, em fósforos (materiais que emitem luz quando expostos a elétrons ou radiação ultravioleta (UV), dos quais o európio (Eu) é um bom exemplo por estar presente nas notas de euro, precisamente na marca anti-contrafação, a qual emite luz vermelha quando exposta a luz UV.

No total de 15, os ETR são classificados em 2 grupos: leves (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu e Gd); pesados (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu e Y). Na crosta terrestre os ETR ocorrem principalmente em carbonatitos, rochas magmáticas hiperalcalinas e alcalinas, e placers dos minerais monazite (ETR, Th,Ca,Sr)(P,Si,S)O₄ e xenótimo (ETR, Zr)(P,Si)O₄.

Magnetes baseados na liga Nd-Fe-B são os magnetes permanentes mais potentes presenteemente conhecidos. Atualmente, a produção e mercado de ETR, sob a forma de óxidos (CeO₂, Nd₂O₃, Eu₂O₃, Dy₂O₃, Y₂O₃...) é muito dependente da China que controla 95% do mercado global, razão porque os ETR constituem recursos minerais "críticos" ou "estratégicos" devido de alto risco e vulnerabilidade do seu fornecimento.

Presentemente, para além dos ETR, outros metais tais como: lítio (Li) na forma de salmoura, muito dependente dos "salares", desertos de sal, do Chile, da Argentina e da Austrália que é o maior produtor de lítio na forma de minerais espodumena, petalite, ambligonite e lepidolite extraídos de rocha granítica macrocristalina chamada pegmatito; cobalto (Co) na forma de cobaltite muito dependente da República Democrática do Congo (RDC); platina (Pt) e crómio (Cr) muito dependentes da África do Sul; titânio (Ti) na forma de rútilo muito dependente da Austrália; e tântalo (Ta) e nióbio (Nb) ou colúmbio (Cb) na forma de tantalite-columbite muito dependentes do Brasil, são igualmente considerados minerais "críticos" ou "estratégicos", o último termo com conotação militar.

No caso do lítio (Li), o mais leve de todos os metais, que vinha sendo utilizado em fármacos para tratamento da chama doença polar, e nas indústrias vidreira, cerâmica e metalúrgica

gica, passou recentemente a ser metal de referência para a mobilidade elétrica essencial para a chamada transição energética, através de baterias de íão-Li recargáveis. Austrália (48%), Chile (32%), China (17%) e Argentina (8%) são propriamente os únicos produtores de minerais de lítio, essencialmente silicatos. Os concentrados obtidos na indústria mineira têm de ser processados utilizando ácido sulfúrico em refinarias para obter os produtos finais, carbonato de lítio e hidróxido de lítio, que têm de ser processados ainda com recurso aos metais Ni e Co e a solventes especiais para produzir os chamados elétrodos de bateria e os eletrólitos das células. Atualmente, as refinarias estão essencialmente na China (45%), Chile (32%) e Argentina (20%) e os produtores de baterias estão maioritariamente na China (217GWh), e também nos EUA (47GWh), Coreia do Sul (21GWh) e Japão 14GWh). Fica claro a dependência da Ásia em termos de produção de baterias de íão de lítio.

Na base do atual conhecimento, Portugal nas serras do Barroso, da Argemela e de Arga, possui cerca de 10% das reservas europeias de minerais de lítio. No Barroso o mineral de lítio é a espodumena, $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, teoricamente com 8,1% de LiO_2 , associado a outros minerais, particularmente feldspatos e quartzo. O teor de Li no concentrado mineral obtido após processamento mineiro andarão entre 2-3%. E, a polémica pro e contra a exploração, extração e refinação do recurso mineral está instalada na sociedade portuguesa, como vem acontecendo relativamente a outros recursos naturais, particularmente minerais. Ao longo da história o desenvolvimento das comunidades humanas sempre esteve dependente da exploração dos recursos naturais, recursos minerais incluídos. A ciência e a tecnologia, melhor do que nunca podem reduzir ao mínimo os naturais impactos negativos no ambiente e na saúde.

Há minerais que são ditos metálicos pelo facto de refletirem a luz de modo semelhante ao dum metal polido. Outros minerais, o maior número, por não refletirem a luz como o fazem os minerais metálicos, são considerados não metálicos.

No brilho não metálico há distintos descritores: acetinado, vítreo (caso da calcite da Serra dos Candeeiros), adamantino, nacarado, resinoso, ceroso e gorduroso.

Importa referir que certos elementos químicos de origem inorgânica e natural, por isso minerais, alguns dos quais são essenciais à vida, possuem propriedades próprias dos metais, mas que, ao contrário da maioria dos metais, não ocorrem isoladamente na natureza por serem fortemente reativos combinando-se rapidamente com outros elementos químicos, por exemplo com o oxigénio quando expostos ao ar ou à água. São os casos dos metais alcalinos potássio (K), sódio (Na), lítio (Li), rubídio (Rb) e céσιο (Cs) que, pelo facto das respetivas estruturas eletrónicas possuírem 1 único eletrão na camada mais externa, na procura de estabilidade, cedem o indesejado eletrão único a outro elemento químico presente no ambiente.

Os processos de formação de minerais, isto é, de mineralogénese, são os mesmos que levam à formação de cristais, isto é, de cristalogénese, os quais se resumem às quatro possibilidades seguintes:

1. Solução → Cristal (precipitação)
2. Vapor → Cristal (sublimação)
3. Fusão → Cristal (congelamento)
4. Cristal A → Cristal B (transformação)

Para que estas possibilidades se possam concretizar é necessário que a energia livre dos cristais formados seja inferior à energia livre dos sistemas produtores de cristais.

BIBLIOGRAFIA

¹ CARRETERO, I. & POZO, M., *Mineralogia Aplicada: Salud y Medio Ambiente*, Thomson Editors, Spain. 2007.

² GALÁN HUERTOS, E., *Mineralogia Aplicada*, Sociedad Española de Mineralogia, Editorial Sintesis, Madrid. 2003.

³ GOMES, C. S. F., *Minerals latu sensu and Human Health: Benefits, Toxicity and Pathologies*, Springer Nature, 668p, 2021, ISBN: 978-3-030-65705-5.

⁴ GOMES, C. S. F., *Minerais Industriais: Matérias Primas Cerâmicas*, Instituto Nacional de Investigação Científica, ISSN 972-667-115-9. 1990.

⁵ KLEIN, C. & DUTROW, B., *Manual of Mineral Science*, 23th edition, John Wiley & Sons. 2007.