Antonio Liccardo

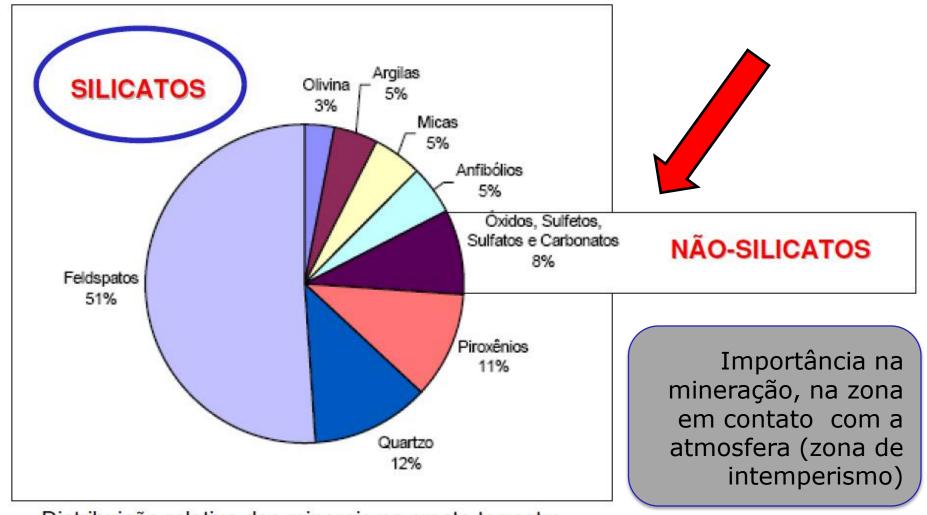
Mineralogia de carbonatos e sulfetos e sua aplicação na gemologia

Área de Mineralogia-Gemologia
UFOP

Programação

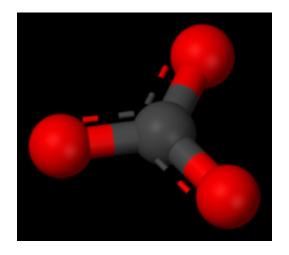
- O que s\(\tilde{a}\) CARBONATOS
- Classificação dos carbonatos
- Gemas e propriedades físicas e químicas
- O que são SULFETOS
- Classificação dos sulfetos
- Gemas e propriedades físicas e químicas
- Bibliografia recomendada

Abundância relativa dos carbonatos e sulfetos



Distribuição relativa dos minerais na crosta terrestre

• O que são CARBONATOS



- Carbonatos resultam da combinação do CO₃-2 com metais e metalóides, ou da reação do ácido carbônico com esses elementos
- Quando o C se une com o O apresenta forte tendência a ligar-se a dois átomos de O, compartilhando dois de seus quatro elétrons de valência com cada um para formar uma unidade química estável (CO₂)
- Outra maneira do C combinar-se com o O resulta no radical CO₃=, quando a relação dos raios iônicos conduz à coordenação 3, gerando uma estrutura triangular, onde três O envolvem o C coordenador central

O que s\(\tilde{a}\) CARBONATOS

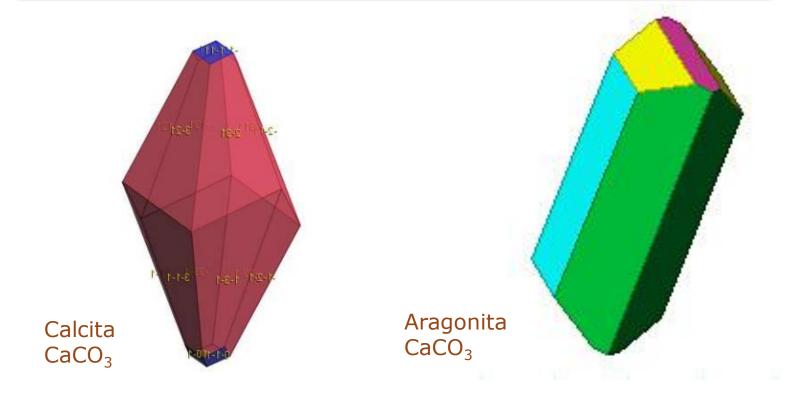
- Cada oxigênio está ligado ao carbono coordenador mais fortemente do que a qualquer outro íon da estrutura
- O radical carbonato em presença do íon H+ torna-se instável e decompõe-se, gerando o CO₂ e produzindo efervescência
- A ligação C-O é algo covalente, mais forte, que a ligação dominantemente iônica do radical com os íons metálicos
- As propriedades físicas dos minerais do grupo da calcita são conferidas basicamente pelos íons metálicos (cor, densidade...) a efervescência acontece em função do ânion



 $CaCO_3 + 2HCI \longrightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$

O que são CARBONATOS

- Dois grupos isoestruturais:
 Grupo da Calcita e Grupo da Aragonita
- O carbonato de cálcio (CaCO₃) cristaliza-se no sistema trigonal ou ortorrômbico conforme diferenças de pressão e temperatura no ambiente de formação



Classificação de CARBONATOS

Grupo da Calcita

- Calcita CaCO₃
- Dolomita CaMg(CO₃)₂
- Magnesita MgCO₃
- Siderita FeCO₃
- Rodocrosita MnCO₃
- Smithsonita ZnCO₃

Grupo da Aragonita

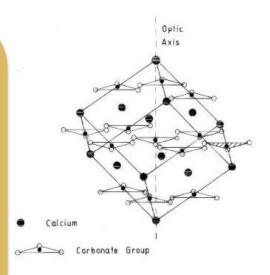
- Aragonita CaCO₃
- Witherita BaCO₃
- Estroncianita SrCO₃
- Cerussita PbCO₃

- Malaquita Cu₂CO₃(OH)₂
- Azurita Cu₃(CO₃)₂(OH)₂

- Composição 53,0% CaO , 44,0% CO₂
- Cristalografia Trigonal Classe Hexagonal escalenoédrica
- -Hábito Prismático, romboédrico ou

Escalenoédrico

- Clivagem Perfeita {1011}
- Partição Ao longo das lamelas de geminação segundo
- Dureza 3
- Densidade relativa 2,72
- Brilho Vítreo a terroso
- Cor branco ou incolor, cinza, vermelho, verde , azul e amarelo.

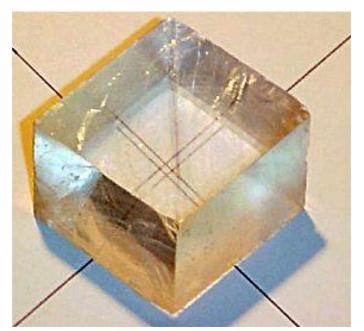




Ocorrência - É um dos minerais mais comuns e disseminados. Ocorre como massas rochosas sedimentares enormes e amplamente espalhadas, nas quais é o único mineral preponderante, sendo o único presente em certos calcários. É um constituinte importante de margas e pelitos calcários. As rochas calcárias formam-se por processos orgânicos e inorgânicos.

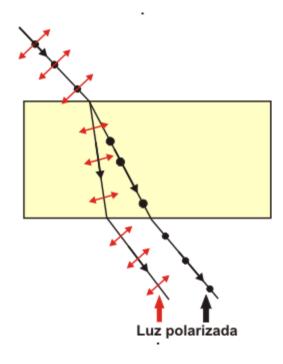








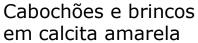
- A calcita apresenta uma forte dupla refração, fenômeno em que um raio de luz se desdobra em duas direções ao atravessar o cristal.
- Este efeito é aproveitado na construção de dicroscópios, equipamento utilizado para observar o pleocroismo das gemas



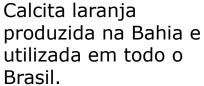
A calcita pode ser encontrada em blocos maciços e de cores variadas.

Frequentemente este material é aproveitado em esculturas e artesanato mineral.















A calcita é o principal constituinte de calcários e mármores especiais para aproveitamento gemológico









Pietra Paesina

Tipo de mármore brechado utilizado em jóias na região da Toscana, Itália Também conhecido como mármore paisagem





O mármore ônix do Paquistão é utilizado como revestimento de luxo e na produção de artefatos, colares e pingentes

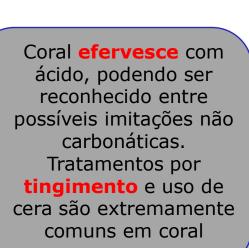








- Substância segregada por animais marinhos que vivem em colônias.
- Carbonato de cálcio -87%
- Carbonato de magnésio 7%
- Matéria orgânica até 3%



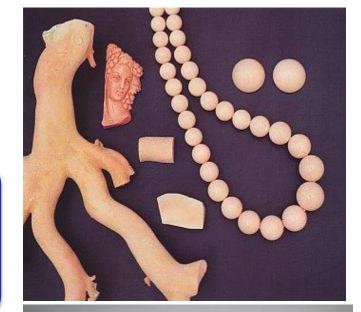






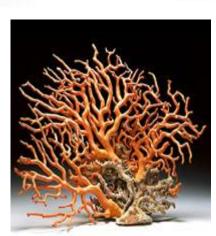
A extração de coral data do ano de 698, com a dominação árabe no norte da África.

> Até 50m de profundidade com temp. 13 a 16 graus - Sul Irlanda, mediterrâneo, ilhas malaias até Japão Itália e Japão





- Pelle d'angelo rosa muito claro
- Rosa pallido
- Rosa vivo
- Secondo colore salmão
- Rosso vermelho
- Rosso oscuro vermelho sangue
- **Arciscuro ou carbonetto**
 - vermelho sangue de boi







A calcita, principal componente dos corais gemológicos, é segregada por pequenos pólipos e acumulada em estruturas irregulares



Corallum rubrum - Itália





Dolomita CaMg(CO₃)₂

Composição - Carbonato de cálcio e magnésio. 30,4% CaO , 21,7% MgO , 47,7% CO₂
Cristalografia - Trigonal Classe - Romboédrica
Hábito - Romboédrico (curvo)
Clivagem - Perfeita {10-11}, com ângulo de clivagem de 73° 45'
Dureza - 3,0 - 4
Densidade relativa - 2,85
Brilho - vítreo a nacarado
Cor - Róseo, incolor, branco, cinzento, verde, castanho e preto

Ocorre principalmente sob a forma de calcário ou mármore dolomítico em porções rochosas extensas, formado a partir de calcários pela **substituição do cálcio pelo magnésio**. Ocorre também como mineral de filão, em veios de zinco ou chumbo em calcários.





Dolomita CaMg(CO₃)₂

Menos solúvel e mais resistente que a calcita, a dolomita é encontrada em grande massas compactas que permitem o entalhe elaborado em pingentes, colares e artesanato mineral. No mercado brasileiro é conhecida como "**pedra mole**" e é a base da maior parte das esculturas e artefatos produzidos no país.





Artesanato mineral de Governador Valadares, MG



- Rodocrosita MnCO₃
- Composição 61,7% MnO , 38,3% CO₂
- Cristalografia Trigonal Classe Hexagonal escalenoédrica
- Hábito Granular a compacta
- Clivagem **Perfeita, romboédrica** {10-11}
- Dureza 3,5 4
- Densidade relativa 3,5 3,6
- Brilho Vítreo
- Cor **Rósea** a castanho-escuro.

Ocorre associada a prata, chumbo, cobre e outros minerais de **manganês**. É um mineral relativamente raro, ocorrendo em veios







Rodocrosita MnCO₃

Facilmente trabalhável, a rodocrosita é cortada em seções transversais ao eixo de **estalactites** valorizando desenhos concêntricos. Seu valor é dado pela intensidade destes desenhos e tonalidade do rosa.





Cabochões, pulseira, colares e chapas de rodocrosita da Argentina. Também é conhecida como Piedra Inca







Rodocrosita MnCO₃



Rodocrosita transparente é rara e quando lapidada proporciona jóias de bom contraste com ouro ou prata, não obstante sua baixa dureza e durabilidade. Gemas transparentes são encontradas no Peru, EUA e Rússia.







Smithsonita ZnCO₃

- Composição 64,8% ZnO, 35,2% CO₂
- Cristalografia Trigonal
- Classe Hexagonal escalenoédrica
- Hábito Reniforme, **botrioidal**, granular, pulverulento
- Clivagem Romboédrica perfeita {1011}
- Dureza 5
- Densidade relativa 4,1 4,5
- Brilho Vítreo
- Cor castanho-sujo, incolor branca,
 vermelha, amarela, azul e rósea
- É um minério de zinco de origem supérgena, encontrado em depósitos de zinco existentes em rochas calcárias





Smithsonita ZnCO₃

Peças lapidadas e entalhadas em smithsonita. Peças transparentes são raras, mas cabochões são comuns em função da dureza e do colorido









- Aragonita CaCO₃
- Composição 56% CaO , 43% CO₂
- Cristalografia **Ortorrômbico**
- Classe Bipiramidal rômbica
- Hábito Piramidal acicular, tabular ou **pseudo-hexagonal**
- Clivagem Imperfeita {010} e {110}
- Dureza 3,5 4
- Densidade relativa 2,95
- Brilho Vítreo
- Cor Incolor, branco, amarelo-pálido e colorida variavelmente.

É menos estável do que a calcita e muito menos comum. Forma-se dentro de uma estreita faixa de condições fisico-químicas, representada por baixas temperaturas, perto dos depósitos superficiais na presença de cátions grandes e em ambientes de alta pressão.





Aragonita CaCO₃

O principal componente da pérola e da madrepérola são cristais de **aragonita** (84-92%).

Intercala-se uma substância córnea chamada **conchiolina** (4-13% matéria orgânica) e 3-4% de **água**.

A pérola é extremamente sensível a ácidos e outras substâncias, pois o nácar é atacado facilmente e perde água







Aragonita CaCO₃

Classificações de Pérolas

Forma

- Redonda
- Quase redonda
- Semi barroca
- Barroca



Origem

- Ostras em água salgada
- Moluscos em água doce
- Naturais
- Cultivadas

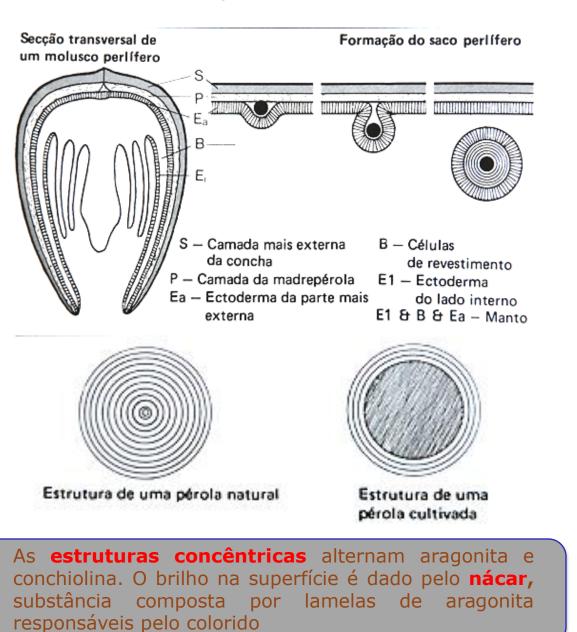
Pérola é a **mais antiga** gema conhecida e tinha como grande atrativo o fato de estar pronta sem necessidade de lapidação.

Durante séculos foi a mais valiosa e foi a primeira gema descoberta no **Novo Mundo**

Comercial

- Oriental natural de ostras do Golfo Pérsico
- Akoya cultivada da ostra Akoya (Pinctada fucata martensii)
- South Sea cultivada na polinésia (Pinctada maxima)
- Biwa cultivada, água doce no Lago Biwa, Japão
- **Negra** natural, Taiti, Pinctada margaritifera
- Madrepérola interior do molusco
- Meia pérola cresceram apenas um lado
- **Blister** natural ou cultivada, grudada na concha
- Mabe blister cultivada na ostra Mabe (Pteria peguim)

Aragonita CaCO₃







- Composição 71,9% CuO , 19,9% CO₂ , 8,2% H₂O
- Cristalografia Monoclínico
- Classe Prismática
- Hábito Botroidal, fibroso
- Clivagem Perfeita {001}
- Dureza **3,0 4**
- Densidade relativa 3,7 4,1
- Brilho Entre adamantino, terroso e vítreo
- Cor Verde brilhante

Associada a azurita, cuprita, cobre nativo óxidos de ferro e vários sulfetos de cobre e de ferro. Ocorre como **minério de cobre supérgeno**. Encontrado em porções oxidadas dos filões de cobre. Pode ocorrer também em veios de cobre em calcários.







Congo e Chile são os mairoes produtores de cobre atualmente e a malaquita é encontrada em agregados maciços, associada a estes depósitos, e utilizada na confecção de artefatos ou lapidada em cabochões.

Malaquita sempre foi explorada também como um importante **pigmento**.

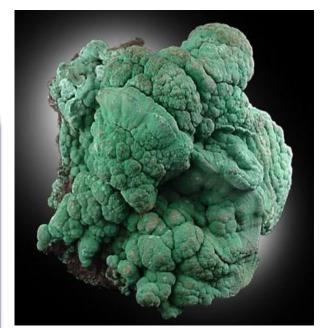
Fêmur humano fóssil substituído por malaquita em sedimentos carbonáticos enriquecidos em cobre, encontrado em Dakota, EUA, 1971

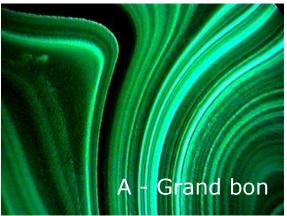






A malaquita é utilizada na confecção de inúmeros artefatos e fatias ou chapas para revestimentos de peças artísticas. Sua classificação comercial depende da intensidade de verde e dos padrões texturais formados.





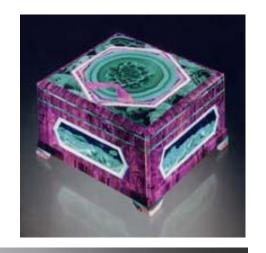








Museu Hermitage, em São Petersburgo, Rússia, expõe a Sala da Malaquita. O museu situado no Grande Palácio de Inverno, residência dos czares russos, foi fundado em 1764 como museu privado de Catarina, a Grande. Os móveis e colunas em malaquita mostram a intensa produção deste material gemológico nos Urais, na época.







- Azurita Cu₃(CO₃)₂(OH)₂
- Composição 69,2% CuO , 25,6%
 CO₂ , 5,2% H₂O
- Cristalografia Monoclínico
- Classe Prismática
- Hábito Complexo, podendo apresentar grupos **esféricos e**

radiados

- Clivagem Ausente
- Dureza 3,5
- Densidade relativa 3,77
- Brilho Vítreo
- Cor Azul-celeste intenso

_

Associado a cuprita, cobre nativo óxidos de ferro e vários sulfetos de cobre e de ferro. Ocorre como minério de cobre supérgeno. Encontrado em porções oxidadas dos filões de cobre ou em veios de cobre que penetram em calcários



• Azurita $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

Raramente encontrada em cristais, a azurita quase sempre está associada à malaquita e são comuns agregados maciços que podem ser entalhados













Azurita Cu₃(CO₃)₂(OH)₂

É conhecida como gema e como pigmento desde a civilização egípcia e foi muito utilizada em pinturas até o renascimento

Cabochões para montagem de jóias. Manchas de malaquita são apreciadas nesta gema









O que s\u00e3o SULFETOS

Importante classe de minerais onde estão incluídos a maioria dos minérios.

Fórmula geral – A_mX_n

A = elementos metálicos

X = elementos não-metálicos

Não se pode generalizar a estrutura dos sulfetos, ainda que se possa dividir em pequenos grupos estruturais

A maioria tem ligação iônica, porém vários apresentam as propriedades dos metais e ligação metálica ao menos em parte.

Classificação dos sulfetos

Sulfetos

Teluretos

Arsenietos

Antomietos

Os minerais desse grupo originamse pela combinação do S, As, Se e Te, com metais e metalóides.

Sulfetos podem ser utilizados para a obtenção do enxofre elementar ou o SO₂, resultando na obtenção do ácido sulfúrico ou sulfídrico



• Gênese e características

Sulfetos originam-se da cristalização dos **magmas com H₂S** na fase fluida, quanto maior a pressão de H₂S, maior a quantidade de sulfeto

Também originam-se pela **desgaseificação** dos magmas **em profundidades** e no fundo oceânico, dificilmente formando-se na superfície nos tempos atuais devido à atmosfera oxidante

Na superfície terrestre, durante a formação das rochas sedimentares (sedimentação ou diagênese), o sulfeto pode formar-se desde que o **ambiente seja redutor** (anóxido), podendo formar-se devido a putrefação da matéria orgânica.

Principais sulfetos



Arsenopirita FeAsS Argentita Ag₂S Bornita Cu₅FeS₄ Calcopirita CuFeS₂ Calcocita - Cu₂S Cinábrio HgS Covelita - CuS Galena PbS Pentlandita – (Fe,Ni)₉S₈ Pirita FeS₂ Marcasita - FeS₂ Molibdenita – MoS₂ Pirrotita – Fe_{1-x}S Realgar AsS Ouropigmento – As₂S₃ Estibnita Sb₂S₃ Esfalerita/Blenda ZnS Wurtzita ZnS

Marcasita - FeS₂

- -Cristalografia **ortorrômbico**, 2/m 2/m
- Hábito: cristais normalmente tabulares {010}
- Algumas vezes prismáticos {001}. Freqüentemente geminados.
- Geralmente em **formas radiais**. Formas estalactíticas com um centro com estrutura radial e coberto com grupos de cristais irregulares. Também globular e reniforme.
- Dureza: 6,0 6,5
- Peso específico: 4,89
- Brilho: metálico
- Cor: amarelo bronze pálido até quase branco na superfície de fratura. Oxida para amarelo a marrom.
- Traço: preto acinzentado.

Polimorfo de pirita. O campo de estabilidade de pirita e marcasita não está bem definido, mas considerando as ocorrências geológicas marcasita parece indicar mais baixa temperatura de formação do que pirita.





-Cristalografia: isométrico, 2/m

- Hábito: frequentemente em cristais, as formas mais comuns incluem o **cubo, o piritoedro** e o octaedro. Também maciço, granular, reniforme, globular, estalactítico.

- Fratura: conchoidal - Dureza: 6,0 - 6,5

- Peso específico: 5,02

- Brilho: metálico

- **Cor: amarelo** pálido, pode ser mais escura devido à oxidação

- **Traço: preto** amarronzado a esverdeado.

- Composição: Fe 46,6 %, S 53,4%.Pode conter pequenas quantidades de Au e Cu como impurezas microscópicas.

- A estrutura da pirita pode ser considerada como uma estrutura modificada da estrutura do NaCl com Fe na posição do Na e S2 na posição do Cl.

- Pirita altera facilmente para óxidos de ferro, geralmente limonita. Cristais pseudomorfos de pirita são comuns.











Agregados de pirita têm sido entalhados e polidos para uso gemológico, mas também na forma de pequenos cristais furados, como em pulseiras ou colares.







Erroneamente chamada de marcassita no mercado joalheiro, a pirita pode ser facetada em pequenas peças redondas. O facetamento ocorre na coroa da gema, substituindo a mesa, já que a pirita não é transparente. O brilho resulta da reflexão metálica do polimento.











A oxidação rápida da pirita resulta em perda do brilho e descolamento das gemas em caso de uso de cola





O uso de "marcassitas" em joalheria teve seu ápice no período do Art Dèco, no início de século XX. Perdurou até os anos 70, mas atualmente está em desuso





Calcopirita CuFeS₂

-Cristalografia Tetragonal, 2 m

- Hábito: apresenta um aspecto tetraedral com dominância do diesfenóide. **Geralmente maciça**.

- Dureza: 3,5 - 4,0

- Peso específico: 4,1 - 4,3

- Brilho: metálico

- Cor: amarelo, frequentemente oxida apresentando uma coloração bronze ou **iridescente**.

- Traço: preto esverdeado

- Composição Cu 34,6 %, Fe 30,4% e S 35,0

- Estrutura derivada da estrutura da esfalerita onde metade do Zn está substituído por Cu e a outra metade por Fe, esse efeito leva ao duplicamento da célula unitária.

Calcopirita é a principal fonte de cobre para os minerais secundários malaquita, azurita, covelita, calcocita e cuprita. Concentração de cobre em zonas de enriquecimento supergênico são freqüentemente o esultado de tal alteração e remoção de cobre em solução com sua deposição subsequente.

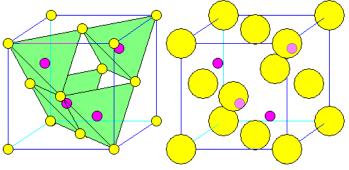


Sua semelhança com a pirita pode levar à confecção de eventuais artefatos ou cabochões, mas seu uso em gemologia é restrito



Esfalerita/Blenda ZnS

- -Hábito: **Tetraedros, dodecaedros e cubos** são formas comuns, mas os cristais são freqüentemente altamente complexos, mal formados ou em agregados arredondados, mostram geminação polissintética em {111}.
- Geralmente encontrados em **massas quebráveis**, de granulação fina a grosseira. Compactos, botrioidais, criptocristalino.
- Clivagem: {011} perfeita, mas a maioria dos cristais é muito fina para que a clivagem possa ser observada.
- Dureza: 3,5 4,0
- Peso específico: 3,9 4,1
- Brilho: não metálico e resinoso a sub-metálico, também adamantino.
- Cor: incolor quando puro, e verde quando quase puro. Geralmente amarelo, preto, marrom, ficando mais escuro com o aumento do teor de Fe. Também vermelho.
- -Transparente a translúcido.
- Traço: branco a amarelo e marrom
- Composição: Zn 67% e S 33% quando puro. Quase sempre contém Fe.
- A estrutura da esfalerita é similar à estrutura do diamante, com metade dos átomos de carbono substituídos por Zn e a outra metade por S.



Sphalerite ZnS



Esfalerita/Blenda ZnS

Cristais transparentes e puros são **raros** em esfaleritas.

A esfalerita tem índice de refração muito alto (2,368-2,371) o que lhe confere uma **dispersão** excepcional quando lapidada.

Sua **clivagem perfeita** costuma ser um entrave para o facetamento.

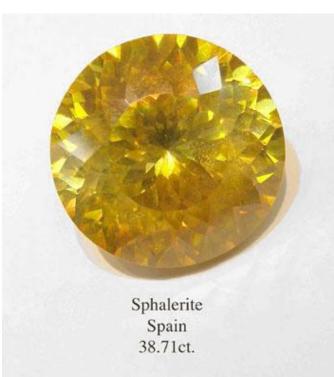






Esfalerita/Blenda ZnS

Blendas lapidadas apresentam variação de cores em torno do amarelo-castanho. A variedade dourada escura é conhecita como esfalerita-mel









Bornita Cu₅FeS₄

- -Composição : Cu 63,3%, Fe 11,2% e S 25,5% para Cu₅FeS₄ estequiométrico, mas ocorre extensa solução sólida no sistema Cu-Fe-S
- Cristalografia: tetragonal, 2m (abaixo de 228 oC), isométrico 4/m 2/m (acima de 228 oC).
- Hábito: A mais comum forma do mineral é tetragonal. Cristais octaédricos, odecaédricos e pseudo-cúbicos são raros.

Geralmente maciço

- Dureza: 3

- Peso específico: 5,06 – 5,08

- Brilho: metálico

- Cor: bronze amarronzado em superfície fresca, mas **oxida rapidamente para tons azuis e roxos** e finalmente para preto.
- Traço: preto acinzentado.
- Alteração: altera facilmente para covelita e calcocita.



É comum a associação de bornita com outros sulfetos como a calcopirita e a esfalerita



Bornita Cu₅FeS₄

Bornita são comercializadas com potencial gemológico, nos EUA, como **Peacock Stone** (pedra pavão)







Lapidações de bornita são raras e sempre em cabochão. Seu efeito colorido é resultante da oxidação e não se mantém no polimento



• Participação de carbonatos e sulfetos em outras gemas

Lápis Lázuli







Os carbonatos e óxidos gemológicos

- Carbonatos, apesar de sua baixa dureza, se prestam a trabalhos de entalhe muito elaborados e são utilizados frequentemente em jóias de prata e colares.
- A **baixa dureza** geral permite entalhes com abrasivos mais baratos e mão-de-obra mais fácil. Materiais macios permitem **curvas mais plásticas** e definidas.
- Entre as gemas orgânicas a participação de carbonatos é de grande relevância. Pérola e coral estão entre as gemas mais valorizadas e importante.
- Sulfetos apresentam baixo aproveitamento como gemas.
 Pirita é utilizada eventualmente facetada, com baixa durabilidade.
- Mais raramente, a esfalerita é encontrada com qualidade gemológica, mas é considerada gema de coleção

Para saber mais...

- Dana, J. D. (1981). Manual de Mineralogia. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 2 vols.
- Hurlbut Jr. C.S. & Switzer G.S. 1980.
 Gemologia. Barcelona, Omega. 243p.
- Klein C. & Hurlbut Jr. C.S. 1993.
 Manual of Mineralogy. 21. ed. New York,
 John Wiley & Sons. 681p.