

Antonio Liccardo

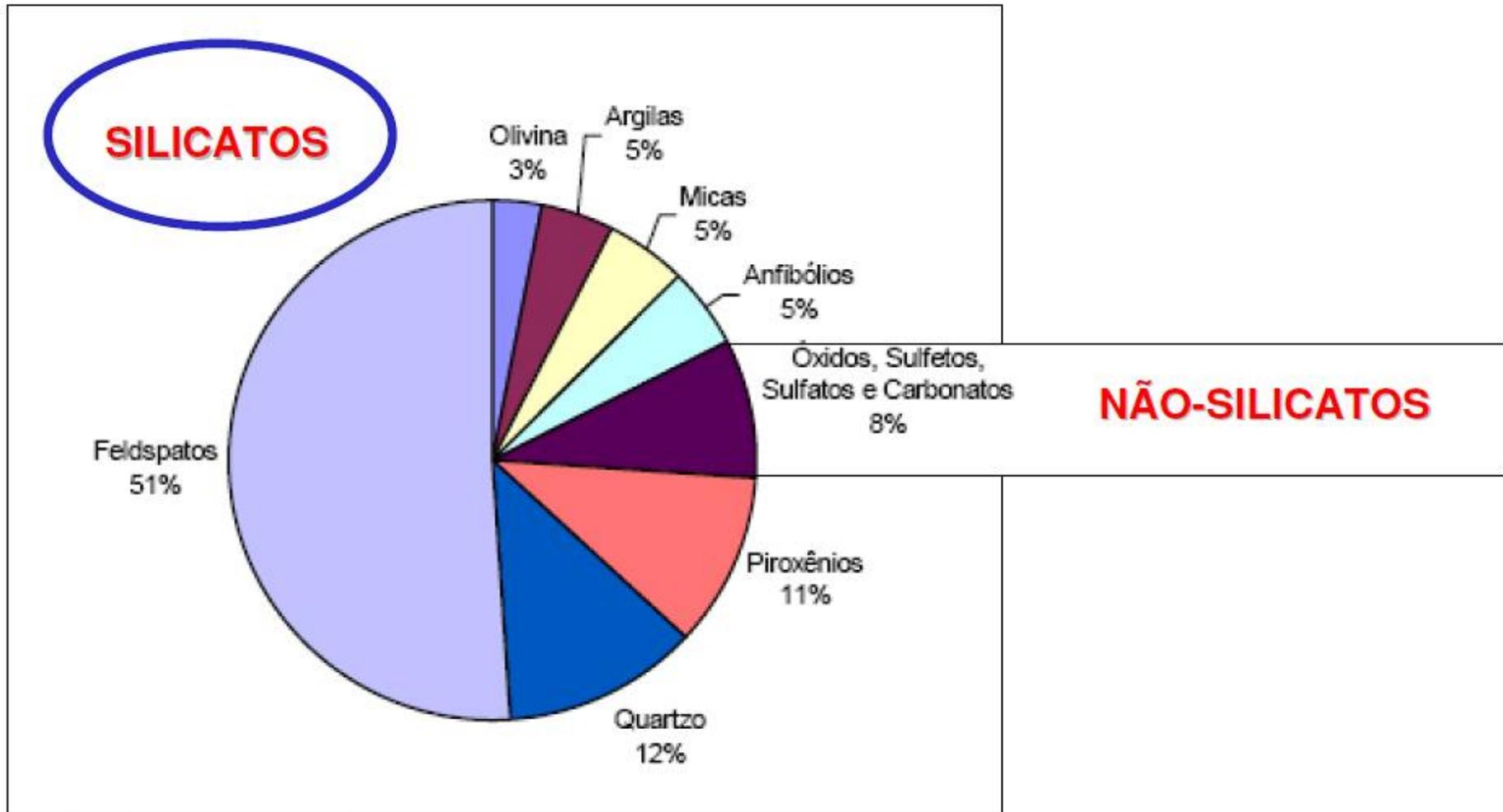
**Mineralogia de silicatos
e sua aplicação na gemologia**

Área de Mineralogia-Gemologia
UFOP

Programação

- O que são silicatos
- Polimerização dos silicatos
- Propriedades físicas e químicas
- Gemas do grupo dos silicatos
- Bibliografia recomendada

- O que são silicatos



Distribuição relativa dos minerais na crosta terrestre

- O que são silicatos

- Silicatos constituem 92% da composição da crosta terrestre.
- A poderosa ligação entre os íons de Si e O é, literalmente o **cimento** que mantém unida a crosta da Terra.
- Ligação **iônica e covalente** (50-50%)
- **Interpenetração** das superestruturas atômicas
- Cada íon de O tem o potencial de ligar-se com outro O ou de entrar em outro agrupamento tetraédrico originando uma **diversidade** de configurações.

- O que são silicatos

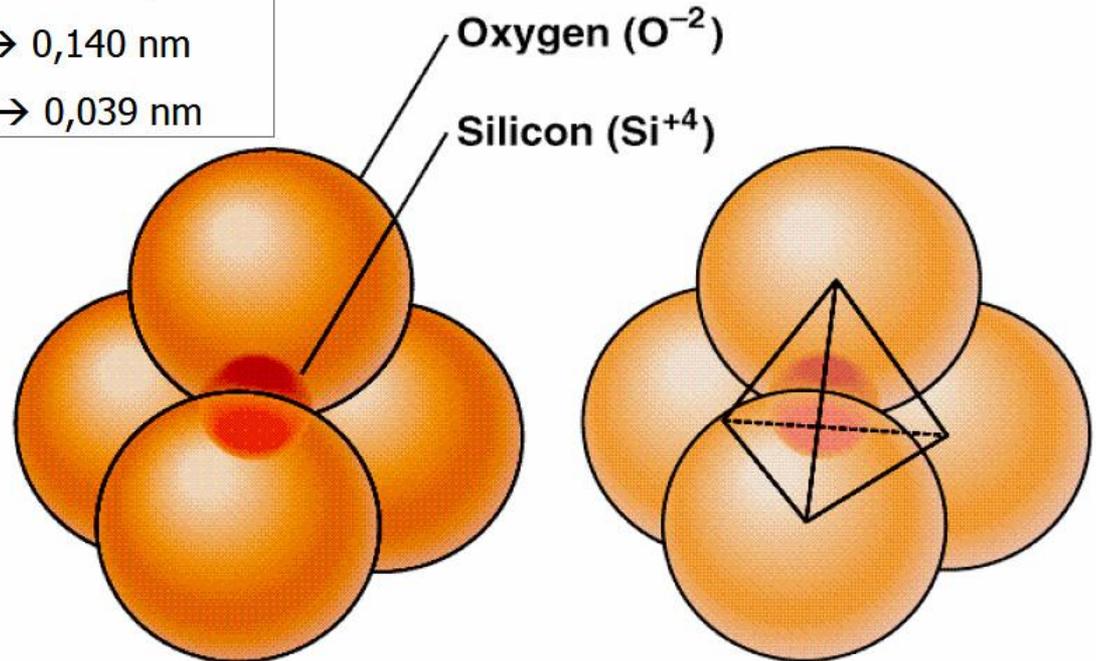
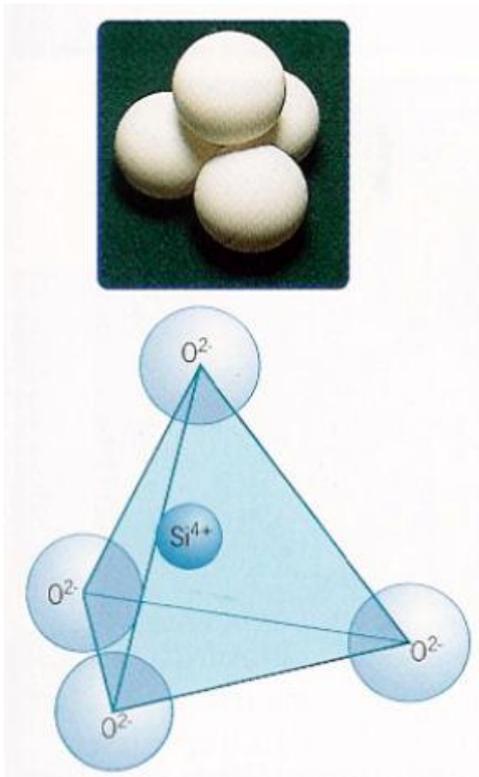
Plummer/McGeary/Carlson *Physical Geology*, 8e. Copyright © 1999, McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights Reserved.

Silicon-Oxygen Tetrahedron

RAIO IÔNICO

$O^{2-} \rightarrow 0,140 \text{ nm}$

$Si^{4+} \rightarrow 0,039 \text{ nm}$



A estrutura básica dos silicatos é o tetraedro $(SiO_4)^{4-}$.

O Si^{4+} localizado na região central, está rodeado por quatro átomos de oxigênio.

- Polimerização dos silicatos

- O aumento de configurações ou agrupamentos é chamado **polimerização**.
- O compartilhamento de oxigênios entre tetraedros adjacentes pode gerar estruturas de um alto grau de **coesão** (ex. quartzo)
- Quanto mais **alta a temperatura** de formação mais **baixo o grau** de polimerização

Coesita - SiO_2 polimorfo de alta pressão do quartzo encontrado em zonas de impacto de meteorito e como inclusão em diamantes





Fig. 16.7 As séries de reação de Bowen.

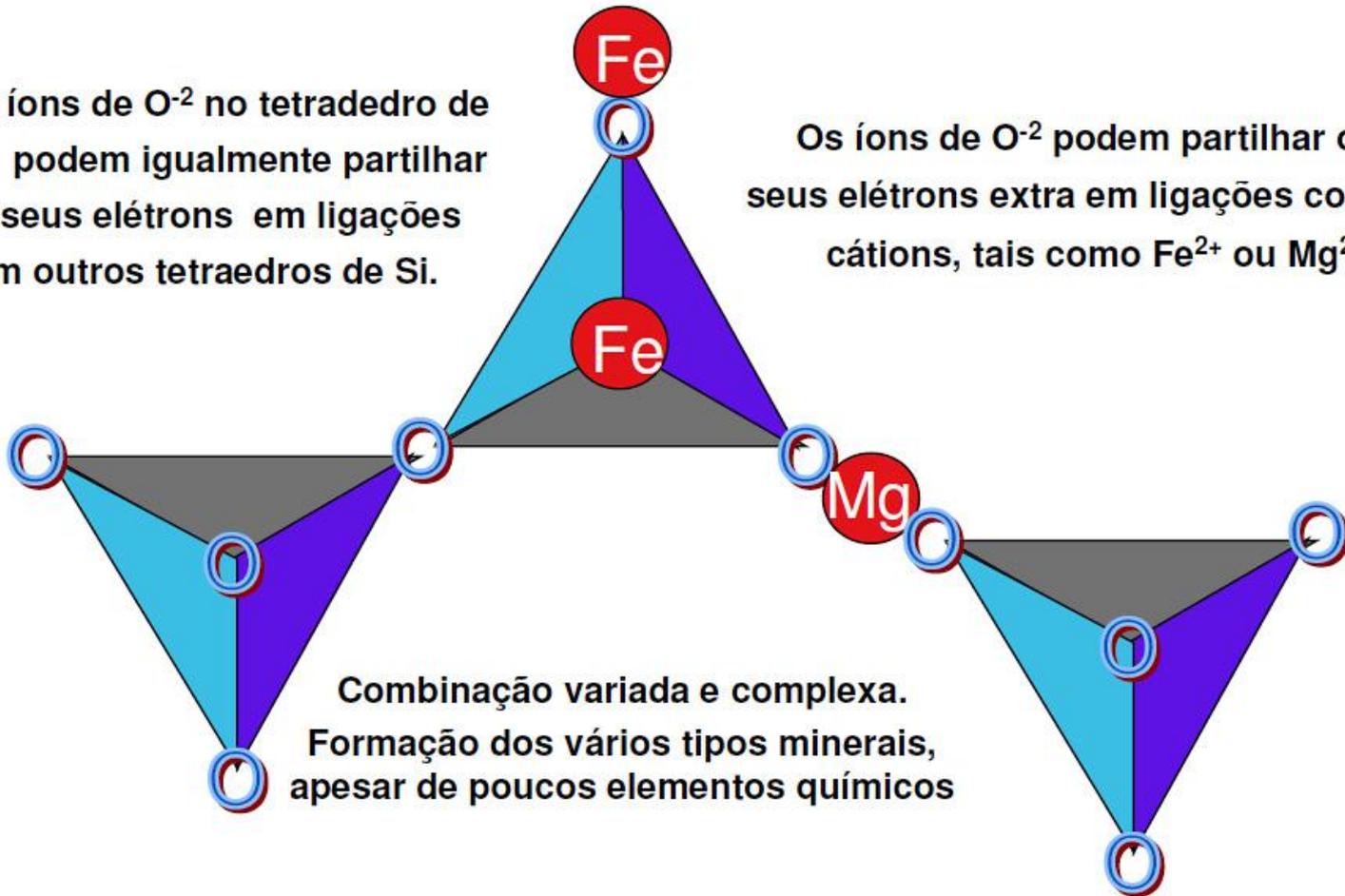
Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

- Polimerização dos silicatos

União dos Tetraedros de Si

Os íons de O^{2-} no tetraedro de Si podem igualmente partilhar os seus elétrons em ligações com outros tetraedros de Si.

Os íons de O^{2-} podem partilhar os seus elétrons extra em ligações com cátions, tais como Fe^{2+} ou Mg^{2+} .



- Polimerização dos silicatos

Elementos que podem participar na estrutura química dos silicatos:

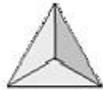
- Alumínio, Magnésio, Ferro, Manganês, Titânio, Potássio, Rubídio, Bário, Berílio, álcalis e terras raras, entre outros.

- Polimerização dos silicatos

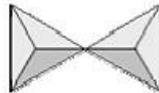
Classe	Arranjo dos Tetraedros SiO ₄	Relação Si:O	Exemplo do mineral
Nesosilicatos	Isolados	1:4	Olivina (Mg,Fe) ₂ SiO ₄
Sorosilicatos	Duplo	2:7	Hemimorfita Zn ₄ (Si ₂ O ₇)(OH)·H ₂ O
Ciclossilicatos	Anéis	1:3	Berilo Be ₃ Al ₂ (Si ₆ O ₁₈)
Inossilicatos	Cadeias (simples)	1:3	Enstatita, Mg ₂ (Si ₂ O ₆)
	Cadeias (duplas)	4:11	Tremolita Ca ₂ Mg ₅ (Si ₈ O ₂₂)(OH) ₂
Filossilicatos	Folhas	2:5	Talco, Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂
Tectossilicatos	Estruturas tridimensionais	1:2	Quartzo, SiO ₂

- Polimerização dos silicatos

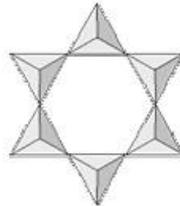
Nesosilicatos: tetraedros isolados SiO_4



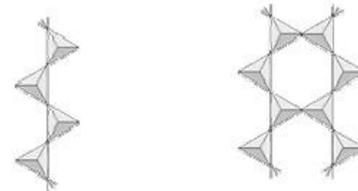
Sorosilicatos: duplas de tetraedros Si_2O_7



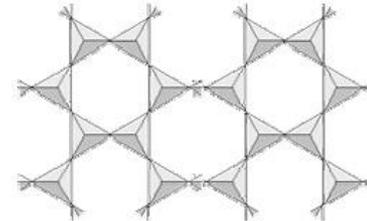
Ciclossilicatos: anéis de tetraedros SiO_3



Inossilicatos: cadeias simples de tetraedros SiO_3
cadeias duplas de tetraedros



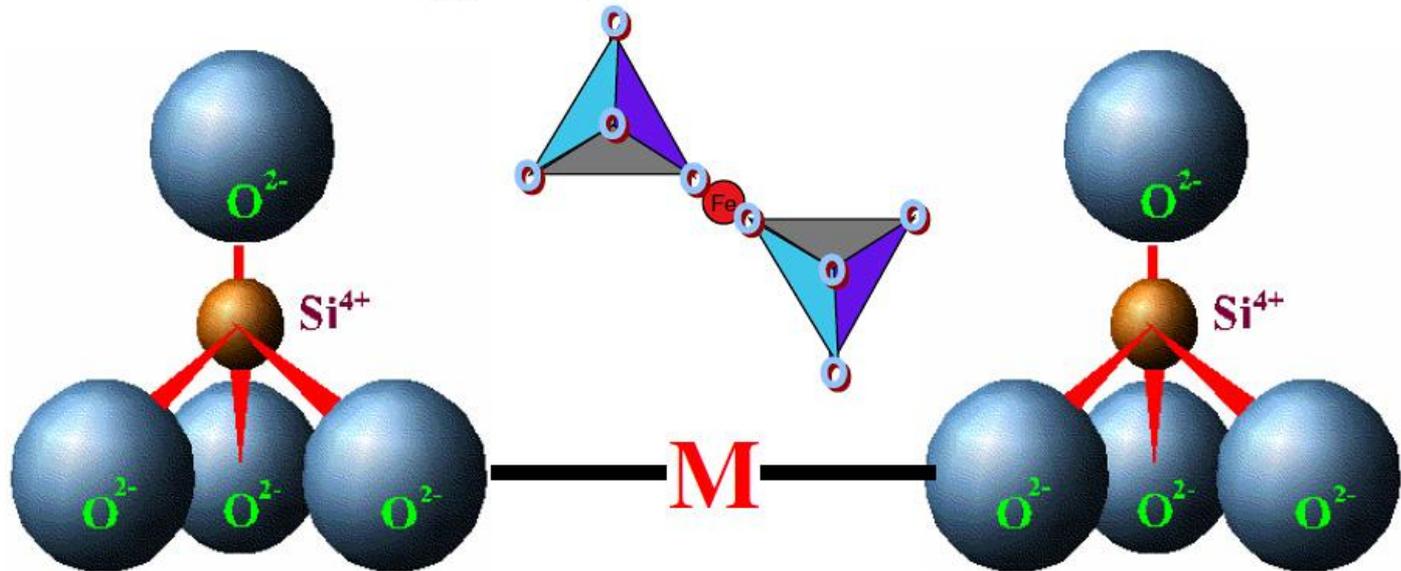
Filossilicatos: folhas de tetraedros Si_2O_5



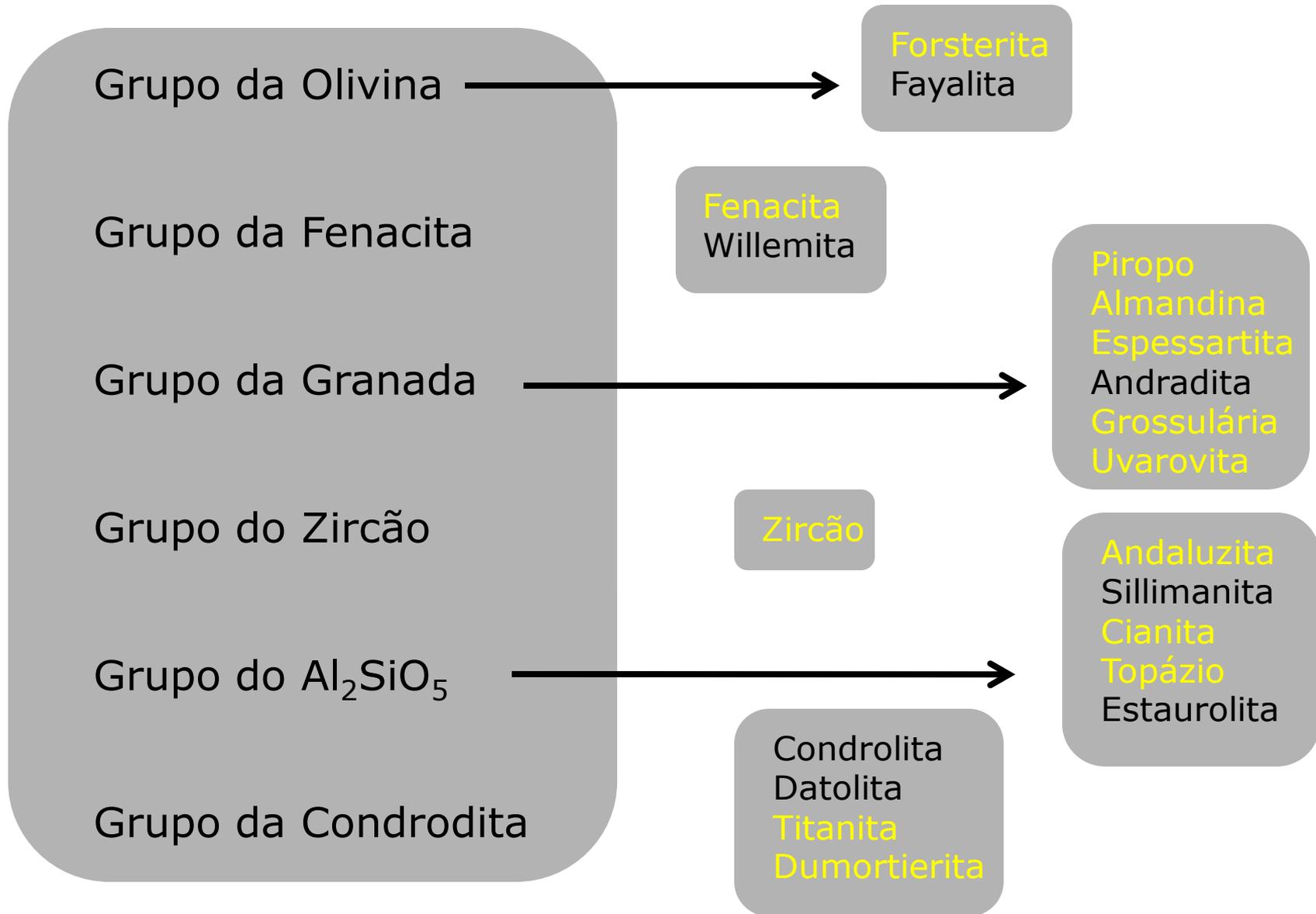
Tectosilicatos: arranjo tridimensional SiO_2

1) Nesossilicatados (Neso=ilha)

- Na estrutura dos minerais pertencentes a este grupo, os tetraedros ocorrem isolados, sem nenhum contato direto com os outros.
- As ligações tetraedro-tetraedro se fazem através de metais: Mg, Fe, Ca e Al



• Nesossilicatos



• Nesossilicatos

Olivina $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

Ocorre principalmente em rochas ígneas básicas, ultrabásicas e mármores magnesianos. Principal constituinte do manto superior e da crosta oceânica. **Mineral de fácil decomposição**

Crisólita - Peridoto

Fenacita - $\text{Be}_2(\text{SiO}_4)$



Zircão - ZrSiO_4
Jacinto



• Nesossilicatos

GRANADA $-(Ca,Mg,Fe,Mn)_3(Al,Fe,Cr)_2(SiO_4)_3$

- Aparece em rochas **metamórficas**, associadas com hornblenda e augita.
- É resistente ao intemperismo
- Tipos ricos em Ca alteram-se mais rapidamente do que os tipos ricos em Fe, Mg, Al.
- Exemplo de mineral **isoestrutural**, não obstante a quantidade de elementos que podem participar de sua estrutura



Piropo - Mg



Espessartita - Mn



Grossulária - Ca

Uvarovita - Ca e Cr



Almandina - Fe

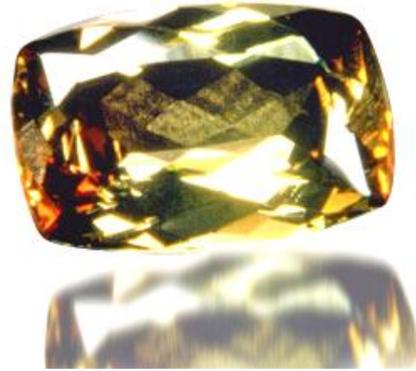


Tsavorita - Ca



• Nesossilicatos

Andaluzita – Al_2SiO_5
Pleocroísmo forte



Quiastolita – Pedra cruz
Inclusões carbonosas

Titanita (Esfênio) –
 $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$
IR alto - dispersão



Cianita – Al_2SiO_5
Dureza desigual



Dumortierita
 $(\text{Al,Fe})_7\text{O}_3(\text{BO}_3)(\text{SiO}_4)$



- **Nesosilicatos**

Topázio $\text{Al}_2[(\text{F},\text{OH})_2\text{SiO}_4]$



Topázio Imperial – Ouro Preto

American Golden Topaz - MG



Topázio azul –
Coronel Murta - MG

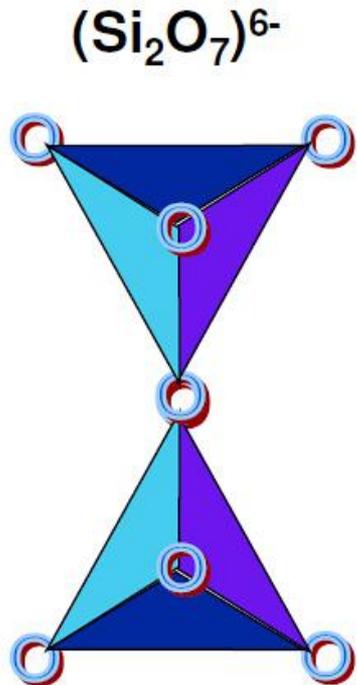


Tratamento
em topázio
incolor



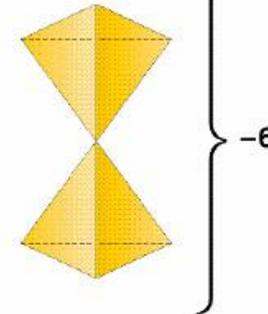
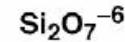
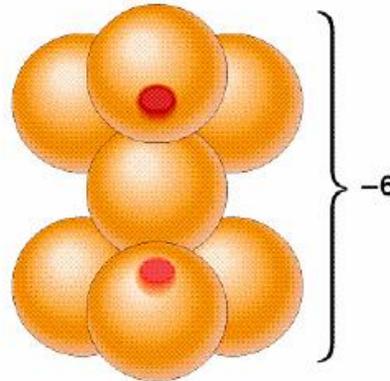
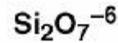
2) Sorossilicatados (soro=par)

- Esses minerais têm as unidades tetraédricas ligadas aos pares por um oxigênio em comum



Plummer/McGeary/Carlson, Physical Geology, 8e. Copyright © 1999, McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights Reserved.

Two Tetrahedron Sharing an Oxygen Atom



• Sorossilicatos



Hemimorfita –
dureza 4,5

Hemimorfita



Lawsonita

Prehnita

Grupo do Epidoto

Idocrásio



Clinozoisita

Zoisita

Epidoto

Alanita



Tanzanita – tratamento
térmico



Rubi na zoisita



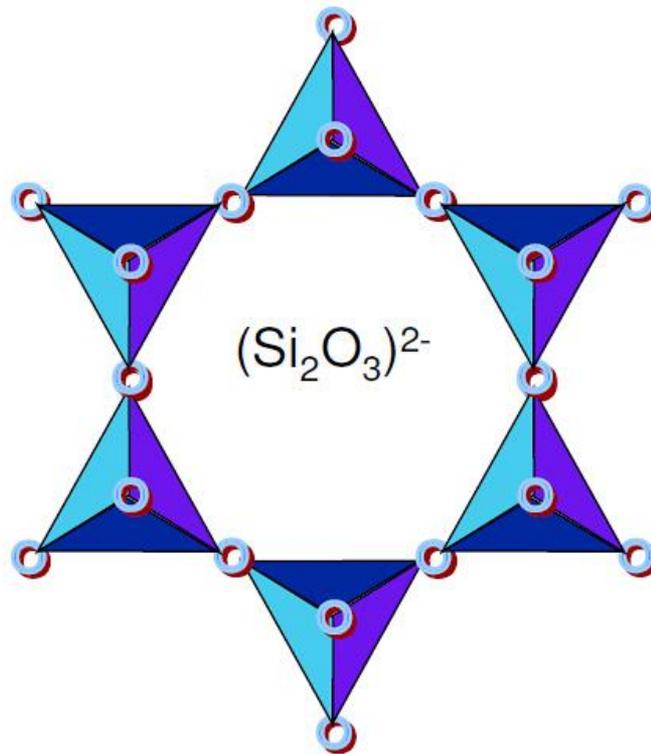
Vesuvianita



Vesuvianite
Canada
2.81ct.

3) Ciclossilicatos (ciclo=círculo)

As unidades tetraédricas formam anéis ou cadeias fechadas



Tetraedros ligados por oxigênios em comum, formando estruturas circulares características

• **Ciclossilicatos**



Cordierita - $Mg_2Al_3(AlSi_5O_{18})$

Pleocroísmo forte



Cordierita

Iolita, safira d'água

Água marinha

Morganita

Esmeralda

Heliodoro

Bixbita

Goshenita

Grupo do Berilo

$Be_3Al_2(Si_6O_{18})$

Turmalina

Schorlita - Fe

Elbaíta - $Na(Li_{1.5}, Al_{1.5}Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$

Dravita - Mg

Cromodravita - Cr, Mg

Olenita

Buergerita - Fe

Povondraíta

Vanádiodravita

Liddicoatita

Uvita - Mg

Feruvita

Rossmanita

Foitita

Magnesiofoitita

Rubelita

Verdelita

Indicolita

Acroíta

Melancia

Paraíba

Dravita

Axinita

Crisocola



• Ciclossilicatos

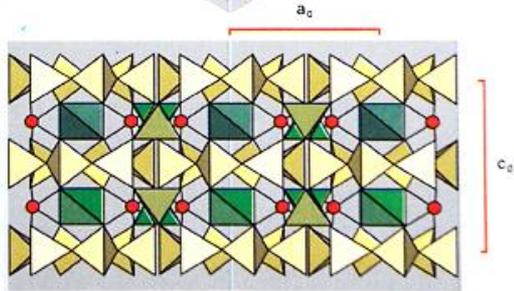
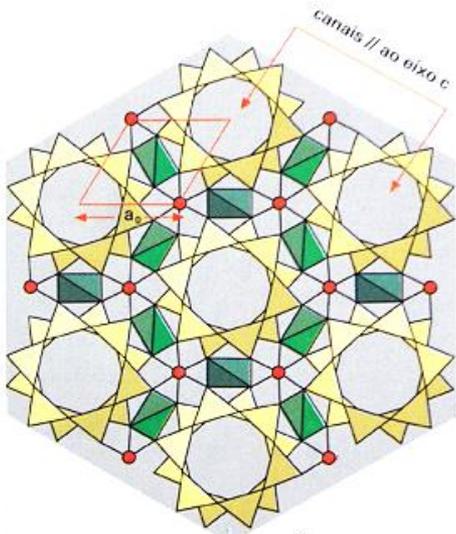


Esmeralda e água marinha são as gemas mais importante entre os silicatos. Fe e Cr são os cromóforos



• Ciclossilicatos

Estrutura cristalina reflete-se nos hábitos prismáticos. Em berilos são comuns canalículos vazios ao longo do eixo c. Estes tubos quando visíveis são “defeitos” em água marinhas.



• Ciclossilicatos



Morganita, heliodoro,
goshenita, bixbita e
berilo verde.



• Ciclossilicatos



Indicolita

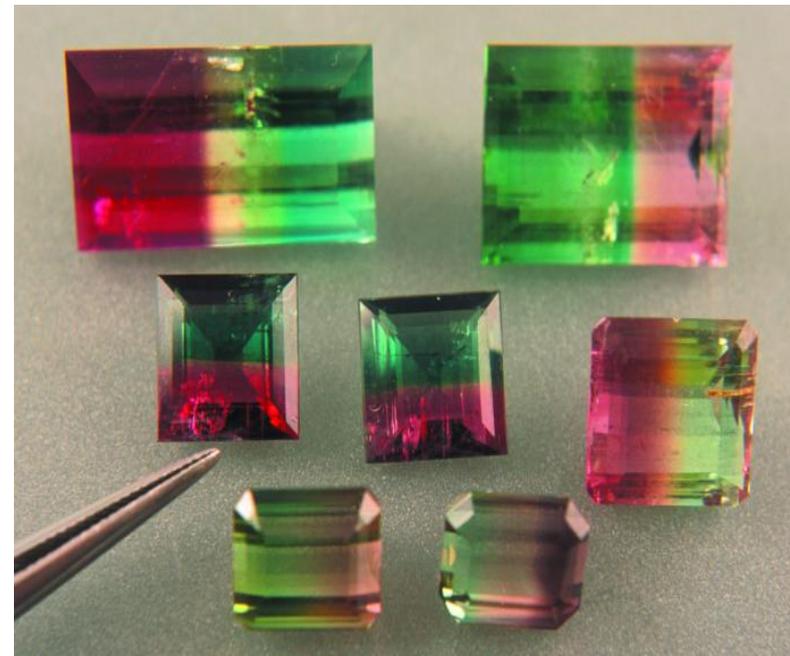
Acroite



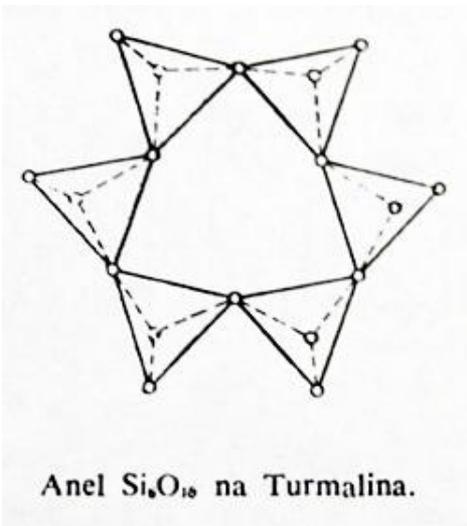
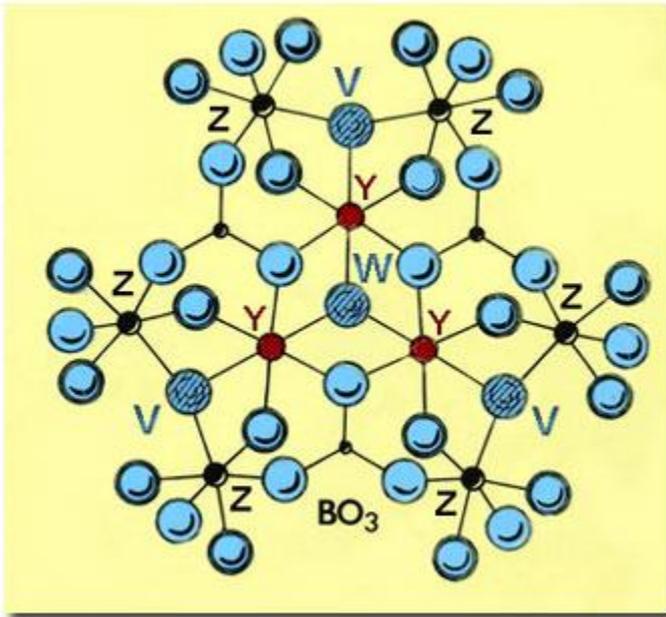
Verdelita



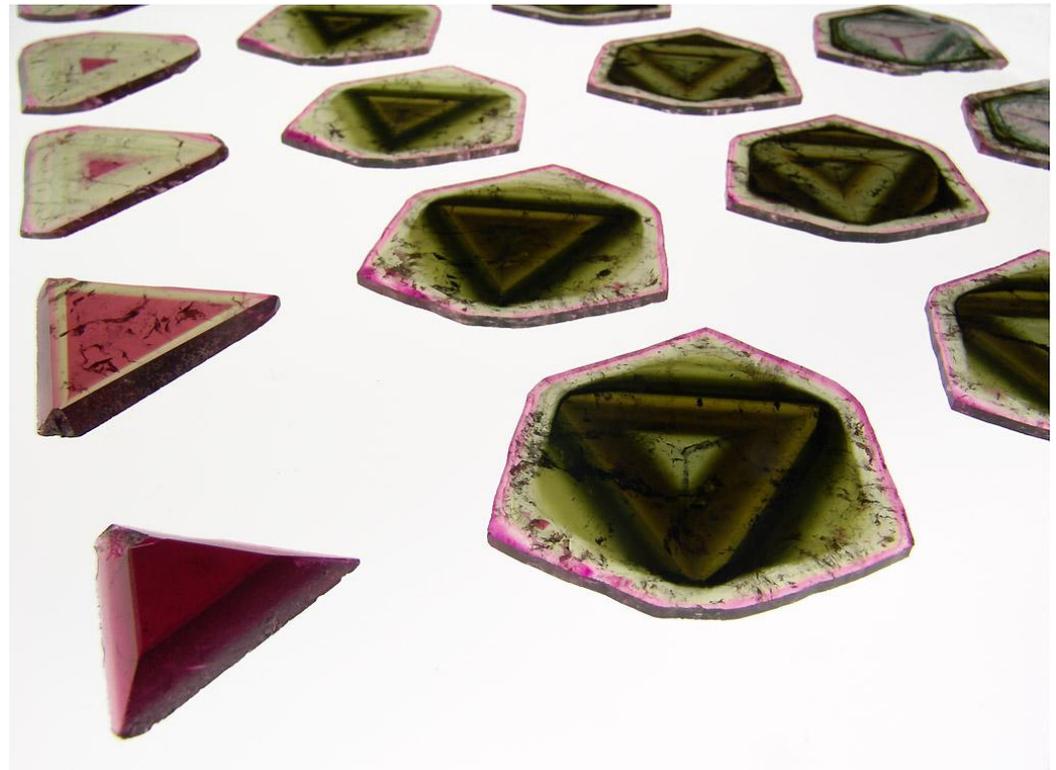
Melancia



• Ciclossilicatos



Estrutura cristalina da turmalina formada em torno de anéis Si₆O₁₈



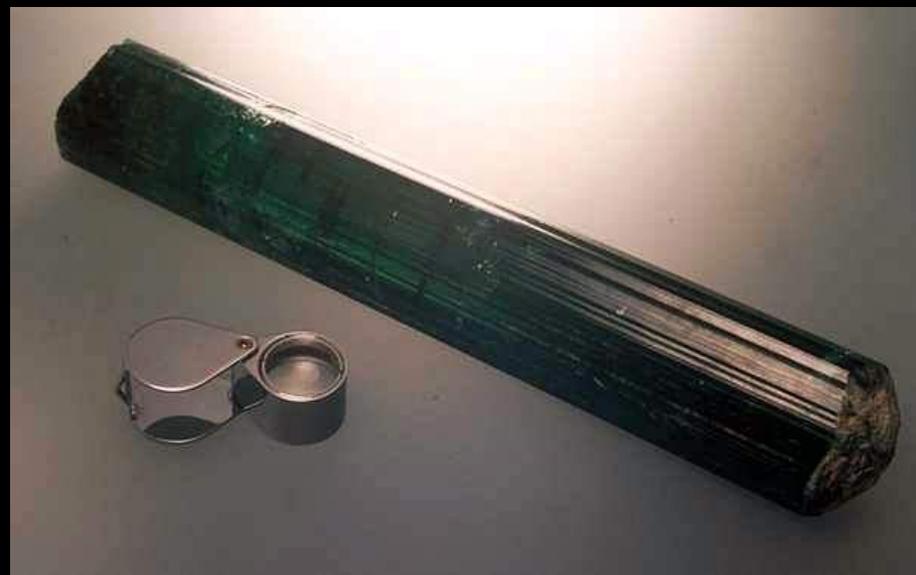
A complexidade química da turmalina reflete-se num zoneamento de cor dentro do próprio cristal – lâminas de turmalina melancia - Madagascar

- **Ciclossilicatos**

Zoneamento de cor pode ocorrer ao longo do eixo c ou ao longo do eixo a

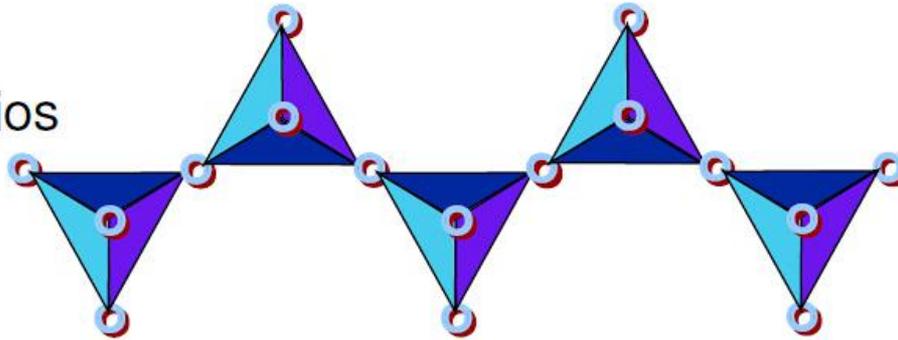


Turmalina multicolorida dos pegmatitos de Madagascar. Abaixo megacristal de turmalina verde de Araçuaí - MG

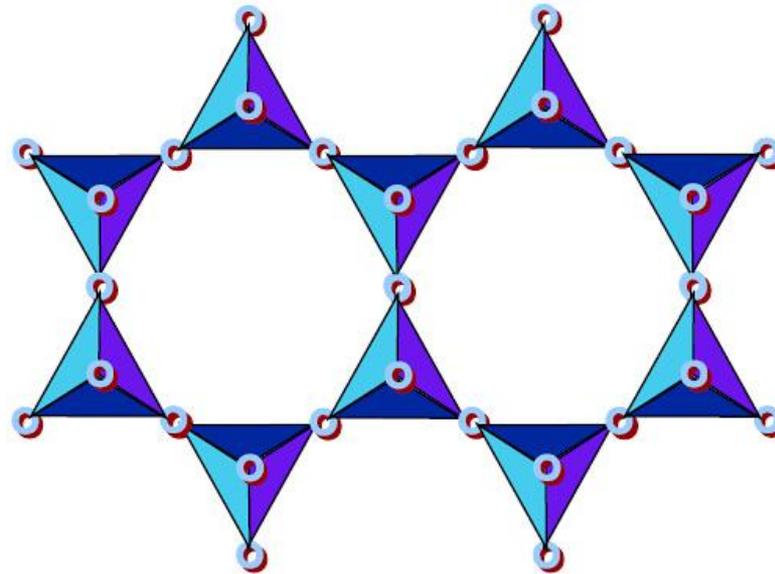


4) Inossilicatos (ino= corrente)

Cadeia simples
Grupo dos Piroxênios



Cadeia dupla
Grupo dos Anfibólios



- Inossilicatos

Cadeias simples - piroxênios

Cadeias duplas - anfibólios



Crocidolita

Enstatita
Hiperstênio
Diopsídio
Hedenbergita
Espodumênio
Jadeíta - **Jade**
Egirita
Augita
Rodonita
Wollastonita
Pectolita - Larimar

Antofilita
Tremolita
Actinolita
Riebeckita
Arfvedsonita
Hornblenda
Nefrita - **Jade**



Olho de gato de actinolita

- Inossilicatos

Piroxênios - $XY(Si,Al)_2O_6$

X = Ca, Na, Fe, Mg, Zn, Mn e Li

Y = Cr, Al, Fe, Mg, Mn, Sc, Ti, V



Muiariquitã
de jade

Rodonita - $(Mn,Ca,Fe)SiO_3$

Pectolita – Larimar - $Ca_2NaHSi_3O_9$



Imagen facilitada por
en www.ciao.es

Jadeíta ou Nefrita - Jade
Silicatos de Sódio e Alumínio



CHINA CULTURE.ORG
中国文化网

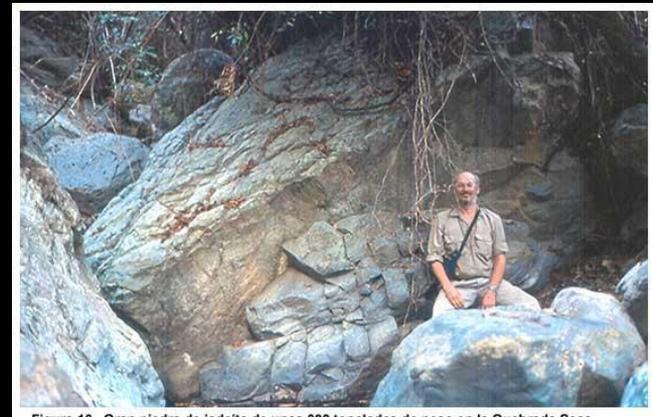
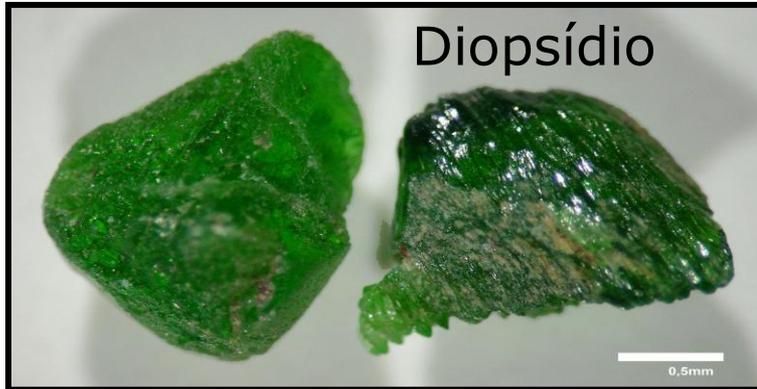


Figura 16. Gran piedra de jadeíta de unas 300 toneladas de peso en la Quebrada Seca.

- Inossilicatos

Diopsídio - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$



Cromodiopsídio - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

Espodumênio - $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$



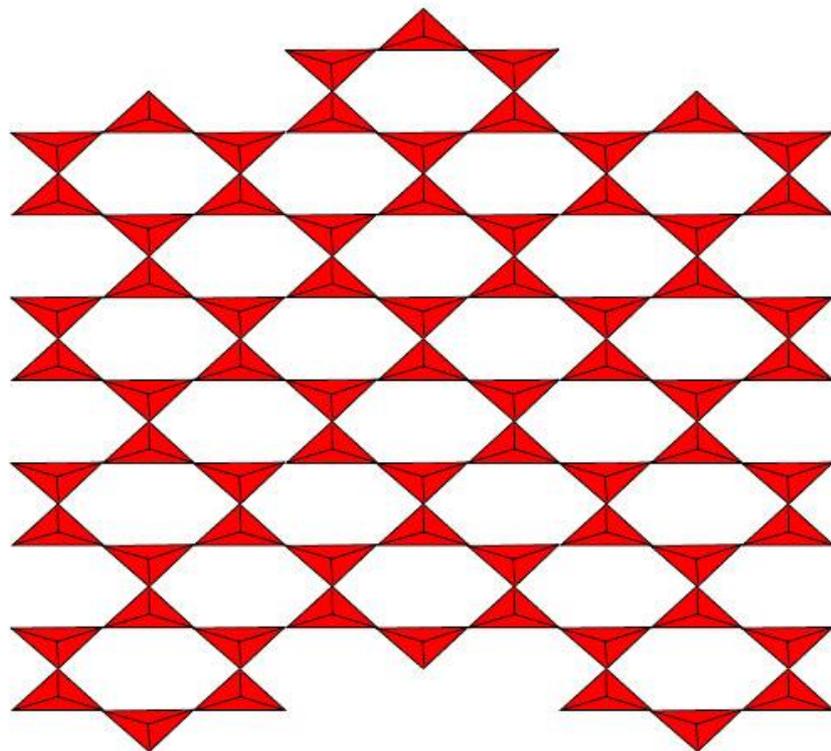
Kunzita

Hiddenita

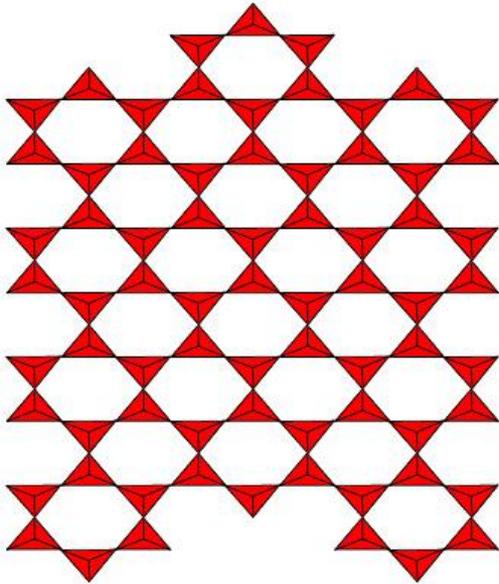
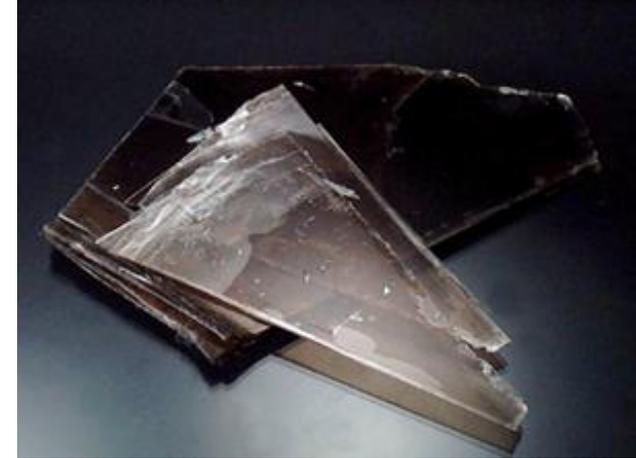


5) Filossilicatos (filo= lâmina)

Tetraedros arranjados em folhas,
formando camadas



- Filossilicatos



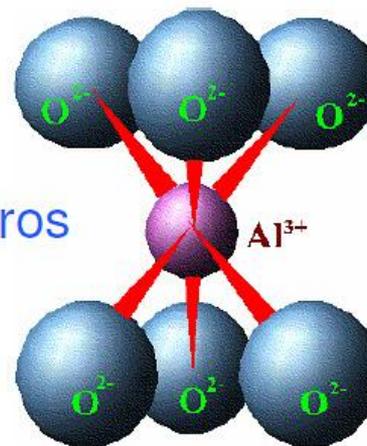
Também apresentam octaédros

5.1. GRUPO DAS MICAS

Estrutura em lâminas, formando camadas

5.2. GRUPO DOS ARGILOMINERAIS

Fração coloidal do solo



RAIO IÔNICO

$O^{2-} \rightarrow 0,140 \text{ nm}$

$Al^{3+} \rightarrow 0,051 \text{ nm}$

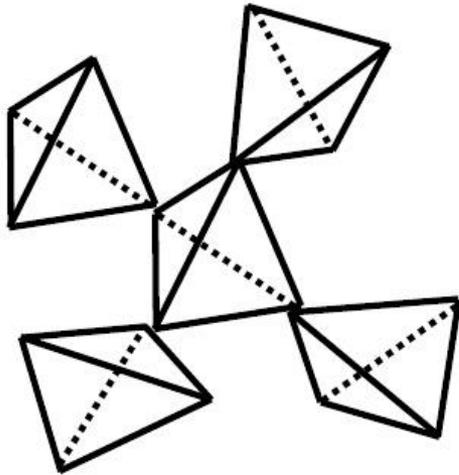
Filossilicatos

- Apofilita
- Caolinita
- Serpentina**
- Garnierita
- Pirofilita
- Talco
- Moscovita
- Flogopita
- Zinwaldita
- Biotita
- Lepidolita
- Margarita
- Clorita
- Sepiolita**



6) Tectossilicatos = arranjo tridimensional

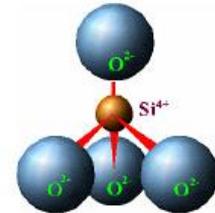
Tetraedros ligados entre si por oxigênios em comum, produzindo uma estrutura contínua tridimensional.



6.1. GRUPO DOS FELDSPATOS

Ocorre substituição do Si^{+4} por Al^{+3}

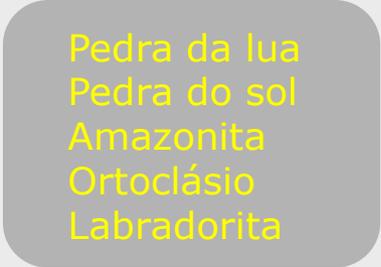
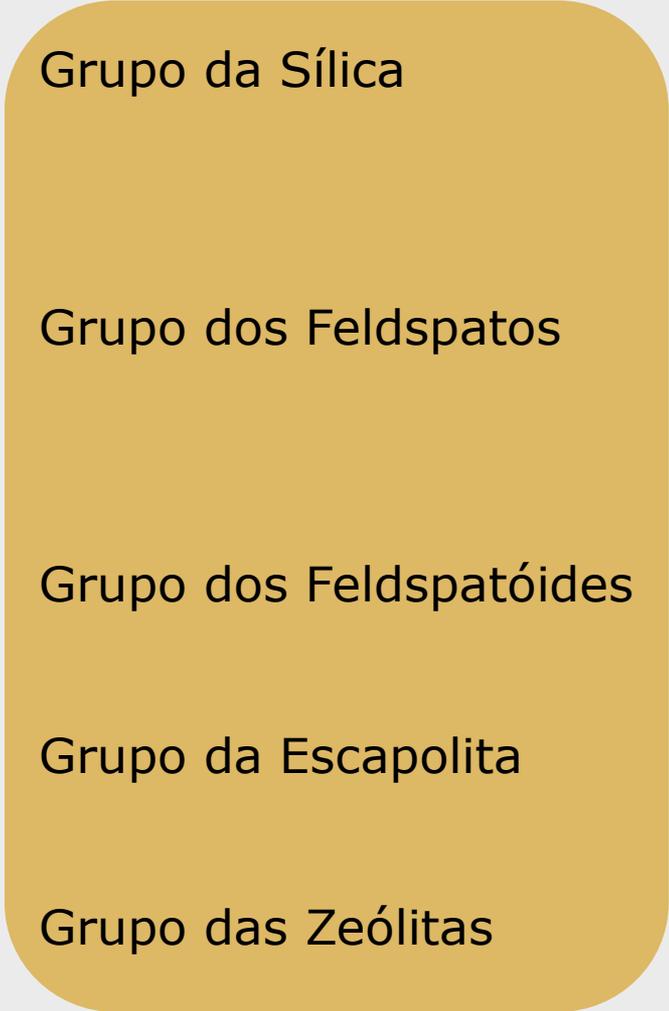
Entra na estrutura K^+ , Na^+ ou Ca^{++} .



6.2. GRUPO DO QUARTZO: SiO_2



- Tectossilicatos



Analcima
Natrolita
Cabazita
Heulandita
Estibnita



- Tectosilicatos

Grupo da Sílica

Variedades cristalinas

Cristal de rocha
Ametista
Prasiolita
Citrino
Quartzo rosa
Fumê

Opala

Variedades
crisptocristalinas

Fibrosas

Cornalina
Sardo
Calcedônia
Ágata
Crisoprásio
Sardo
Ônix
Sardonix
Heliotrópio

Granulares

Sílex
Chert
Jaspe
Prásio

- Tectosilicatos

Grupo da Sílica

Variedades cristalinas



Prasiolita

Fumê



Cristal de rocha



Quartzo rosa



Ametista



Citrino

- Tectossilicatos

Grupo da Sílica – SiO_2

Variedades cristalinas

Quartzo incolor atualmente tem sido alvo de grande interesse como material gemológico, causado por novos processos de tratamento de cor e pelo aproveitamento de materiais com inclusões, antes consideradas "defeitos".



- Tectossilicatos



O Brasil é o maior produtor do mundo de ametistas que ocorrem em basaltos. O principal tratamento da ametista é o aquecimento a 380° C para a produção da variedade amarela citrino.

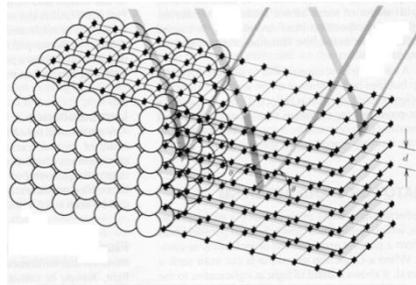


- **Tectossilicatos**

Grupo da Sílica

Opala $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Jogo de cores é causado pela presença de esférulas de sílica microscópicas



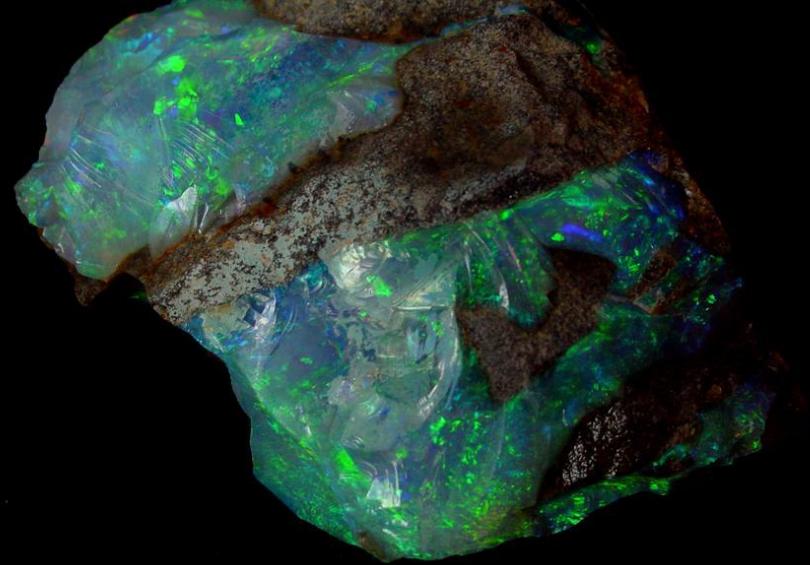
Opala branca - RS



Opala negra Austrália



Opala de fogo
México



Variedades de opala produzidas em Pedro II, no Piauí



- **Tectossilicatos**

Grupo da Sílica

Variedades crisptocristalinas fibrosas

Calcedônia



Heliotrópio



Ágatas tingidas de preto fornecem 90% do ônix consumido em joalheria.



Sardo e Sardonix



Cornalina

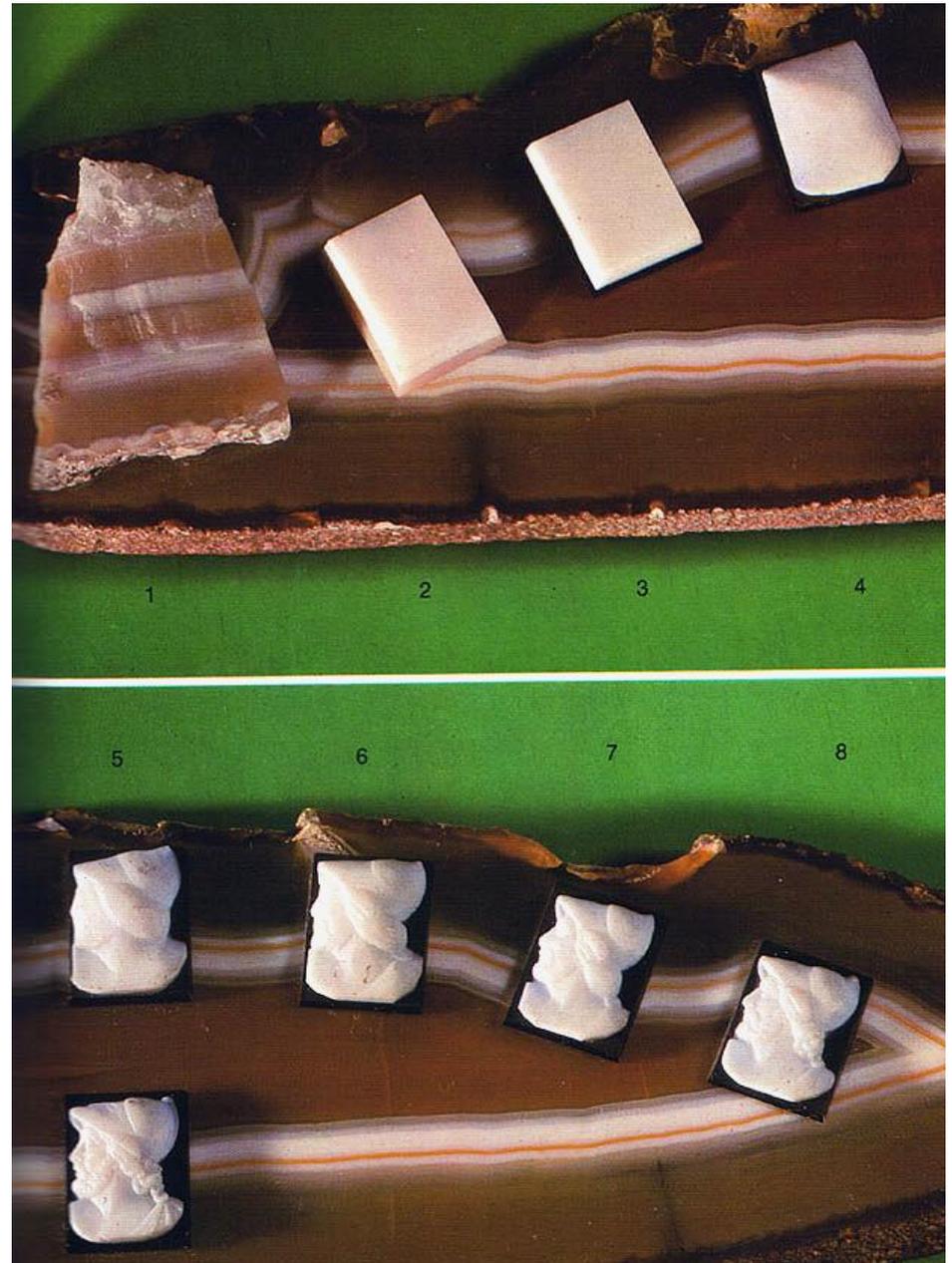


Crisoprásio



Variedades listradas como o **ônix** e o **sardônio** podem ser trabalhadas em camadas proporcionando efeitos de cor e relevo.

A técnica milenar da **glíptica** já era conhecida entre os egípcios e alguns dos camafeus produzidos ao longo da história encontram-se em museus entre as obras de arte.

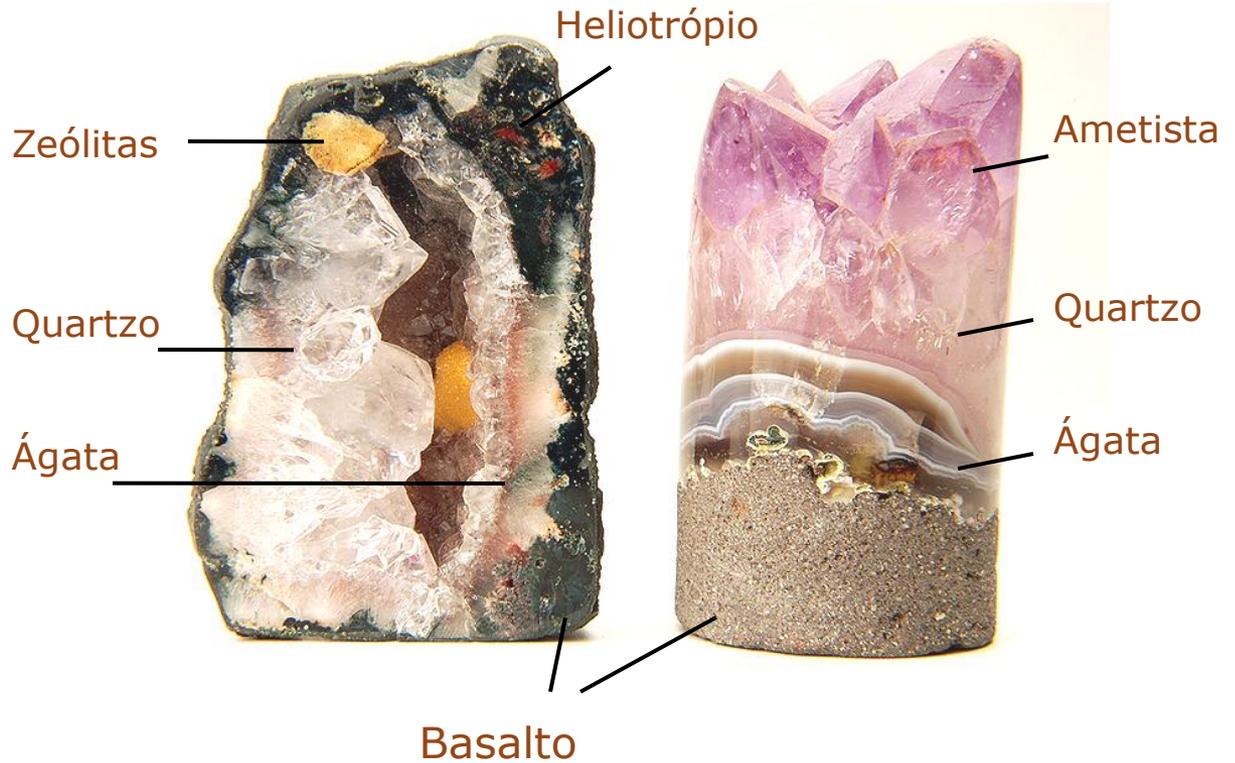


- Tectossilicatos

Grupo da Sílica



Ágata



Freqüentemente as variedades do grupo da sílica ocorrem **associadas**, mostrando mudanças químico-ambientais no processo de formação

No Rio Grande do Sul encontra-se a a **maior produção** comercial de ágata do mundo. Entre os processos de beneficiamento está o **tingimento**.

- Tectossilicatos



Processo de **tingimento** de ágata – o material é mergulhado em corantes e aquecido durante tempos variáveis. **Ágatas são microporosas** e com a dilatação dos interstícios o corante penetra e ressalta muitas vezes o bandamento. São produzidas toneladas de chapas, pirâmides, esferas, porta-livros...



- Tectossilicatos

Grupo da Sílica

Variedades crisptocristalinas fibrosas

Classificação comercial de ágatas no Brasil (RS)



cônica



concêntrica



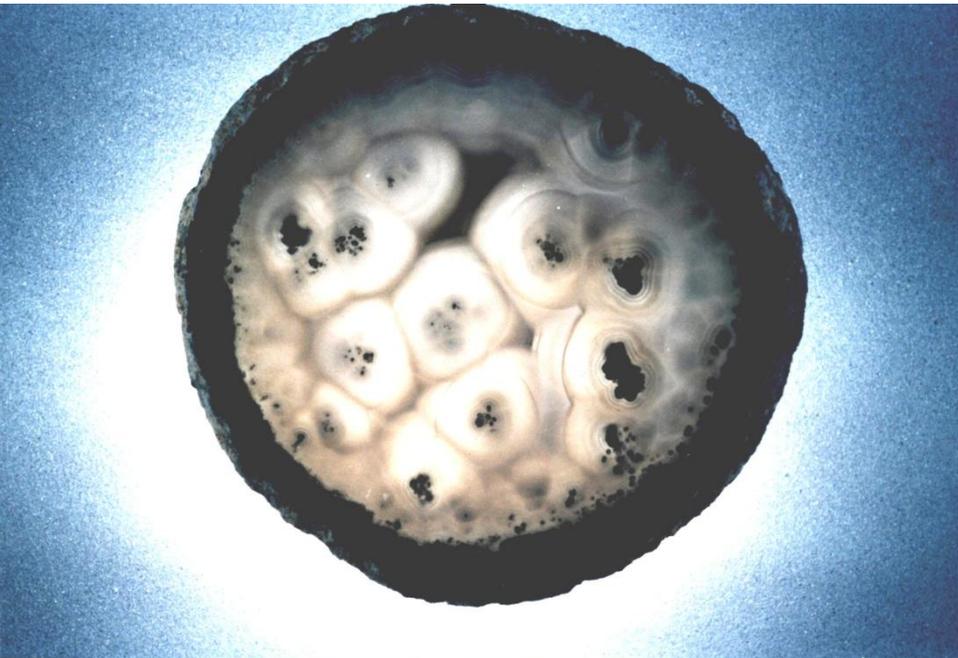
quartzo

Conforme os núcleos



musgosa

orbicular



- Tectossilicatos

Grupo da Sílica

Variedades crisptocristalinas granulares



Prásio



Sílex



Chert



Jaspes avermelhados e o "pele-de-leopardo" são muito utilizados em colares e artesanato mineral



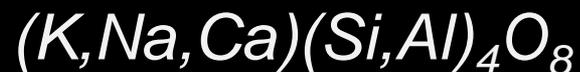
Jaspe



- Tectosilicatos

Grupo dos Feldspatos

- Aluminossilicatos de K, Ca e Na
- Formam solução sólida – sistema ternário
- Cores variam de branco, amarelo a rosa
- Constituem 60% da crosta
- A composição é fator importante
- Feldspatos sódico-potássicos são mais apropriados para a indústria cerâmica
- Rochas ígneas alcalinas





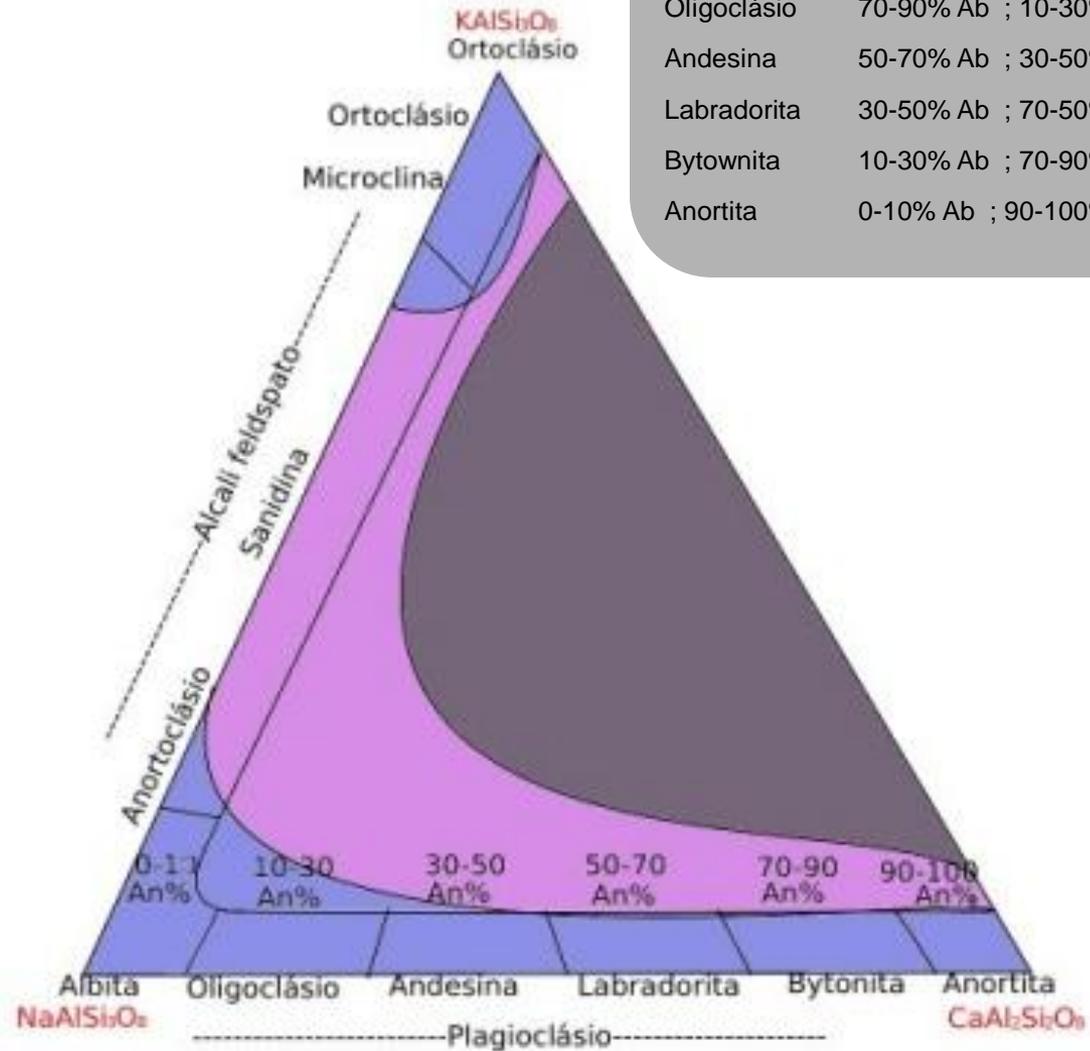
Ortoclássio



Anortita



Albita



Nome	Composição (% em moléculas de Albita (Ab) e Anortita (An))
Albita	90-100% Ab ; 0-10% An
Oligoclássio	70-90% Ab ; 10-30% An
Andesina	50-70% Ab ; 30-50% An
Labradorita	30-50% Ab ; 70-50% An
Bytownita	10-30% Ab ; 70-90% An
Anortita	0-10% Ab ; 90-100% An

- **Tectossilicatos**

Grupo dos Feldspatos

Microclínio – $K(AlSi_3O_8)$



A amazonita é o representante gemológico do feldspato Microclínio. Frequentemente apresenta intercrescimentos (pertita)



Grupo dos Feldspatos

Plagioclásio – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Dentro da variação composicional dos plagioclásios alguns apresentam qualidade gemológica. Estas variedades são conhecidas como pedra-do-sol, pedra-da-lua e labradorita



Pedra-do-sol da Índia – feldspato com efeito aventurinino, ou seja, com inclusões de mica



Grupo dos Feldspatos



Labradorita



Pedra-da-lua da Índia – adulária com brilho leitoso



- Tectossilicatos

Grupo dos Feldspatóides

Lazurita $(\text{Na,Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4,\text{S,Cl})_2$

Lápis Lázuli



Petalita $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$



Sodalita $\text{Na}_4(\text{SiAlO}_4)_3\text{Cl}$



- Os silicatos como material gemológico

- Sendo o grupo dos silicatos o mais importante e presente na crosta terrestre apresenta o **maior número de materiais gemológicos**.
- As características estruturais dos silicatos em geral apresentam **resistência química e dureza** quase sempre alta, tornando-os apropriados para aproveitamento como gema.
- Em termos de distribuição gemológica **tectossilicatos e ciclossilicatos** apresentam maior variedade, enquanto que filossilicatos são os menos apropriados para o uso gemológico.

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.