

Aula 1 - Introdução

Minerais e Rochas, Argilominerais e Argilas



PMT 5846 – Ciência e Tecnologia de Argilas

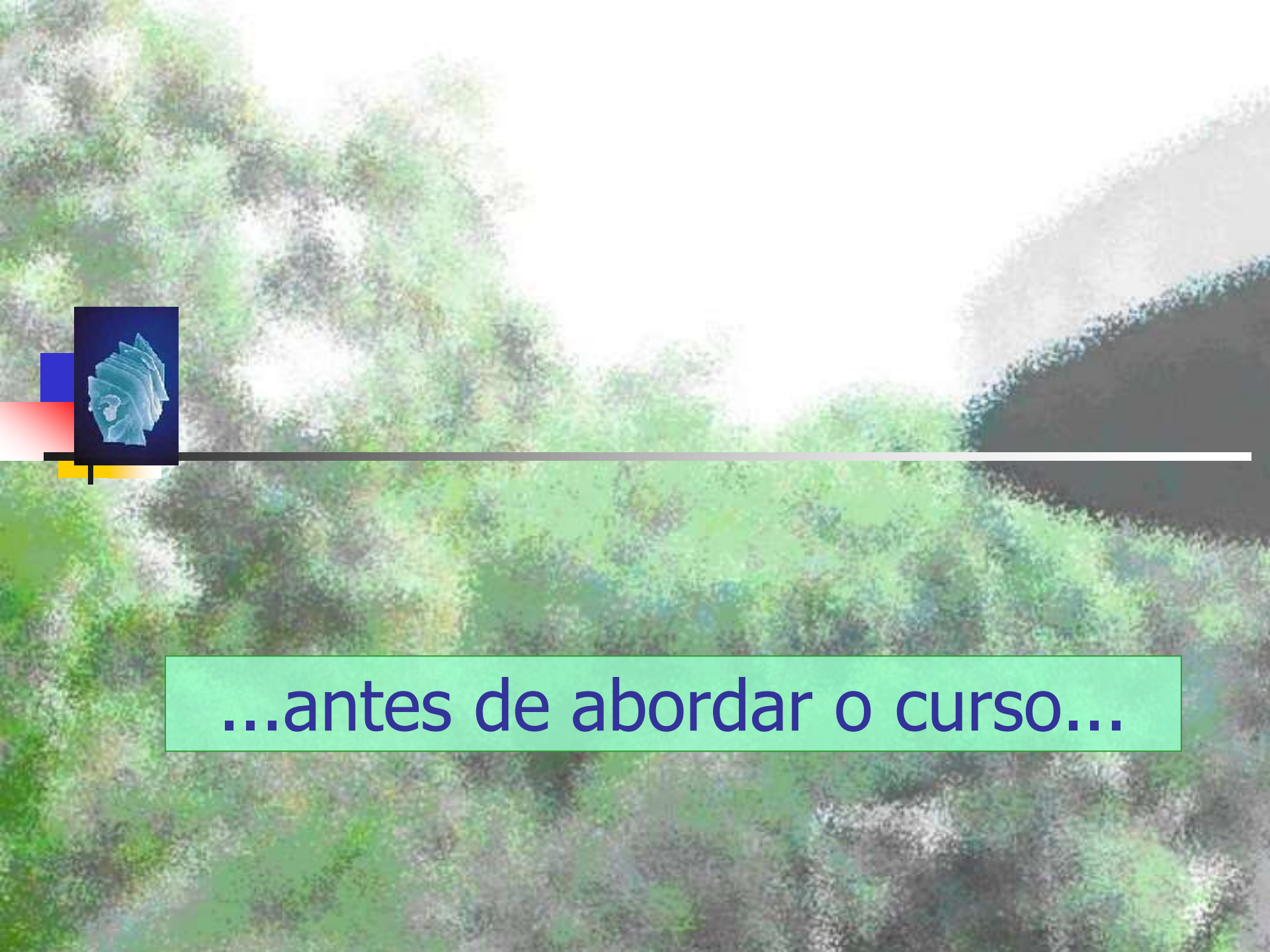
Prof. Antonio Carlos Vieira Coelho
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
EPUSP - 2020



Este curso é dedicado ao Prof. Dr. Pécisio de Souza Santos, que sabia como ninguém transmitir sua paixão pelas argilas...

I died a mineral, and became a plant. I died as plant and rose to animal, I died as animal and I was Man. Why should I fear?

—Jalal-Uddin Rumi
(Persian mystic and poet, 1207–1273)



...antes de abordar o curso...



...conceitos básicos de Química...

Some Basic Concepts from Chemistry

To describe minerals, we need to use several terms from chemistry. To avoid confusion, terms are listed in an order that permits each successive term to utilize previous terms.

- *Element*: A pure substance that cannot be separated into other materials.
- *Atom*: The smallest piece of an element that retains the characteristics of the element. An atom consists of a nucleus surrounded by a cloud of orbiting electrons; the nucleus is made up of protons and neutrons (except in hydrogen, whose nucleus contains only one proton and no neutrons). Electrons have a negative charge, protons have a positive charge, and neutrons have a neutral charge. An atom that has the same number of

electrons as protons is said to be neutral, in that it does not have an overall electrical charge.

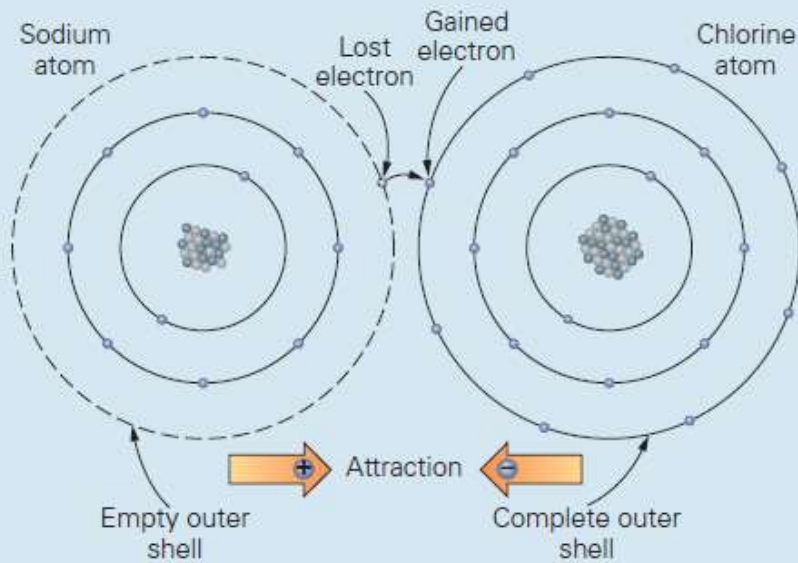
- *Atomic number*: The number of protons in an atom of an element.
- *Atomic weight*: Approximately the number of protons plus neutrons in an atom of an element.
- *Ion*: An atom that is not neutral. An ion that has an excess negative charge (because it has more electrons than protons) is an *anion*, whereas an ion that has an excess positive charge (because it has more protons than electrons) is a *cation*. We indicate the charge with a superscript. For example, Cl^- has a single excess electron; Fe^{2+} is missing two electrons.

- *Chemical bond*: An attractive force that holds two or more atoms together (**Fig. Bx3.1a–c**). For example, *covalent bonds* form when atoms share electrons. *Ionic bonds* form when a cation and anion (ions with opposite charges) get close together and attract each other. In materials with *metallic bonds*, some of the electrons can move freely.
- *Molecule*: Two or more atoms bonded together. The atoms may be of the same element or of different elements.
- *Compound*: A pure substance that can be subdivided into two or more elements. The smallest piece of a compound that retains the characteristics of the compound is a molecule.

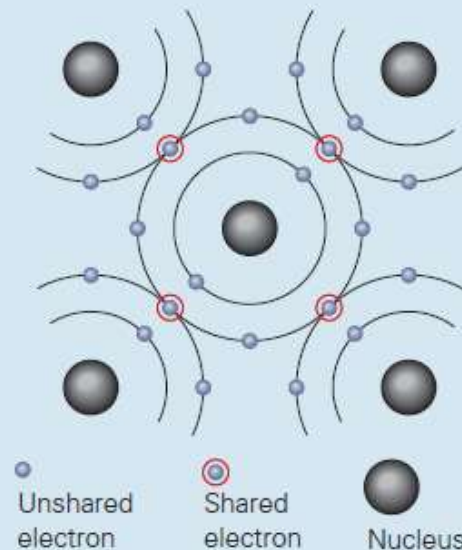


...conceitos básicos de Química...

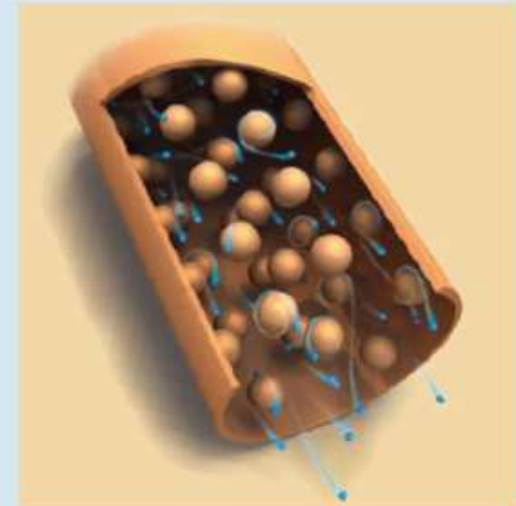
FIGURE Bx3.1 Examples of states of matter and chemical bonds.



(a) An ionic bond forms between a positive ion of sodium (Na^+) and chloride (Cl^-), a negative ion of chlorine produces halite NaCl , when sodium gives up one electron to chloride, so that both have filled shells.



(b) Covalent bonds form when carbon atoms share electrons so that all have filled electron shells.



(c) In metallicly bonded material, nuclei and their inner shells of electrons float in a "sea" of free electrons. The electrons stream through the metal if there is an electrical current.

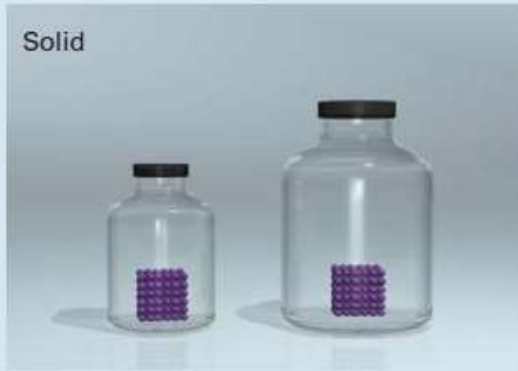


...conceitos básicos de Química...

- *State of matter*: The form of a substance, which reflects the degree to which the atoms or molecules comprising the matter are bonded together. **Figure Bx3.1d–f** defines three of the states—solid, liquid, and gas. There are more bonds in a solid than in a liquid, and more in a liquid than in a gas. Which state exists at a given location depends on pressure and temperature, as indicated by a phase diagram (**Fig. Bx3.1g**). A fourth state, plasma, exists only at very high temperatures.
- *Chemical*: A general name used for a pure substance (either an element or a compound).
- *Chemical formula*: A shorthand recipe that itemizes the various elements in a chemical and specifies their relative proportions. For example, the formula for water, H_2O , indicates that water consists of molecules in which two hydrogens bond to one oxygen.
- *Chemical reaction*: A process that involves the breaking or forming of chemical bonds. Chemical reactions can break molecules apart or create new molecules and/or isolated atoms.
- *Mixture*: A combination of two or more elements or compounds that can be separated without a chemical reaction. For example, a cereal composed of bran flakes and raisins is a mixture—you can separate the raisins from the flakes without destroying either.
- *Solution*: A type of material in which one chemical (the solute) dissolves in another (the solvent). In solutions, a solute may separate into ions during the process. For example, when salt ($NaCl$) dissolves in water, it separates into sodium (Na^+) and chloride (Cl^-) ions. In a solution, atoms or molecules of the solvent surround atoms, ions, or molecules of the solute.
- *Precipitate*: A compound that forms when ions in liquid solution join together

to create a solid that settles out of the solution; (verb) the process of forming solid grains by separation and settling from a solution. For example, when saltwater evaporates, solid salt crystals precipitate.

...conceitos básicos de Química...



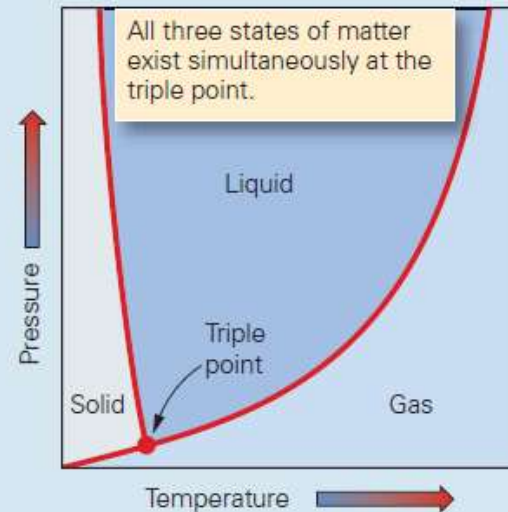
(d) A solid retains its shape regardless of the size of the container.



(e) A liquid conforms to the shape of the container, so its density does not change when the shape of the container changes.



(f) A gas expands to fill whatever volume it occupies, so its density changes if the volume changes.



(g) The state of matter depends on pressure and temperature, as depicted in this graph, called a phase diagram.



Definições

Minerais, Rochas e Solos



Minerais



Mineral *(definição CNMMN)*

- **Mineral** : é um elemento ou composto químico que normalmente é ***crystalino*** , e que é resultado de um processo geológico. Portanto, um mineral tem ***origem natural***.
- **Cristalino**: corpo que apresenta ordenamento atômico numa escala tal que é capaz de produzir um diagrama de difração indexável quando atravessado por uma onda de comprimento de onda adequado (raios-X, elétrons ou nêutrons, por exemplo).

CNMMN – IMA Comission on New Minerals and Mineral Names
IMA website: <https://www.ima-mineralogy.org/>

Nickel, E.H. – *The definition of a mineral. The Canadian Mineralogist* 33, 689-690 (1995)



... e se o corpo não for cristalino?

- **Mineralóide** : algumas substâncias naturais são não-cristalinas. Além disso, algumas dessas substâncias podem não apresentar composição química definida, podendo apresentar dificuldades para a sua completa caracterização.
 - **Duas categorias** :
 - Substâncias **AMORFAS** : substâncias que nunca foram cristalinas.
Ex.: âmbar, pedra-pomes, antracito, obsidiana, ...
 - **METAMICTOS** (“*Metamicts*”) : substâncias que em algum momento da sua história geológica foram cristalinas, mas tiveram a sua estrutura destruída por radiação ionizante.

Amorfos



Âmbar

<https://en.wikipedia.org/wiki/Amber>

Pedra-pome

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pumice>



Antracito

<https://en.wikipedia.org/wiki/Anthracite>

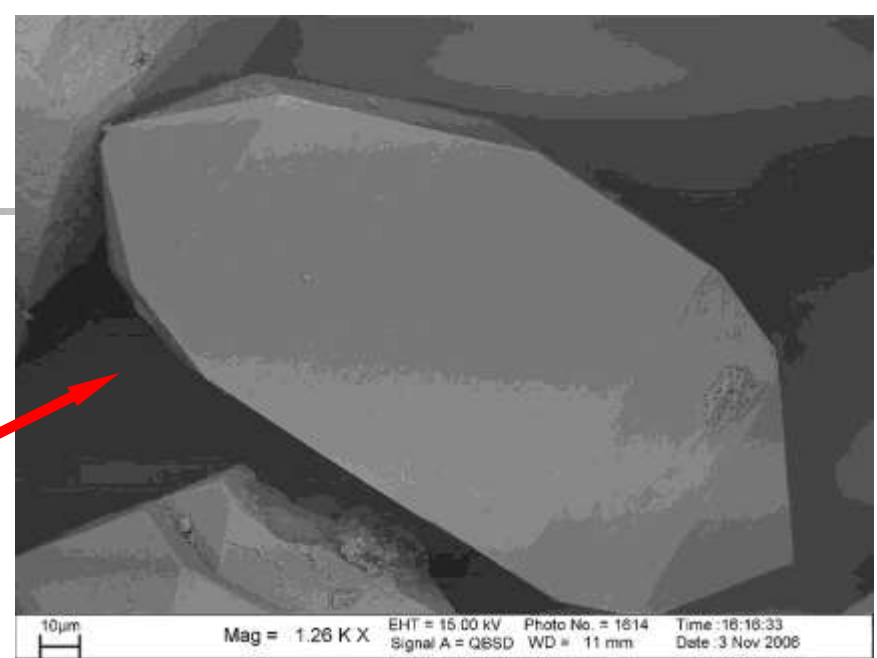


Obsidiana

<https://en.wikipedia.org/wiki/Obsidian>

- **Metamicto** (“*Metamict*”) : substâncias que em algum momento da sua história geológica foram cristalinas, mas tiveram a sua estrutura destruída por radiação ionizante.

- **Zircão** ($Zr_{1-y} RE_y)(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x-y}$ – a presença de urânio e tório substituindo o zircônio na estrutura cristalina é a responsável pelos danos de radiação.
- Espécimes inalterados são chamados de *high zircon*, enquanto espécimes “*metamictos*” são chamados de *low zircon*. Espécimes entre os dois extremos são chamados de *intermediários*.
- Outros minerais: **allanita** $[A_3M_3Si_3O_{12}(OH)]$, onde $A=Ca^{2+}, Sr^{2+}$, terras raras; $M=Al^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{3+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}$; **titanita** $[CaTiSiO_5]$, onde Th e U podem substituir o Ti; **ekanita** $[(Ca,Fe,Pb)_2(Th,U)Si_8O_{20}]$.



Ekanite : $ThCa_2Si_8O_{20}$

Complex specimen of many minerals, most notable are **four red ekanite crystals** (rare!) scattered around the specimen (*Poudrette quarry, Mt Saint-Hilaire, Rouville Co., Québec, Canada*)

<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1391&target=Ekanite>



... no entanto...

- Algumas fases **amorfas** podem ser consideradas minerais.

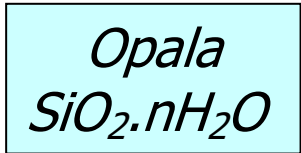
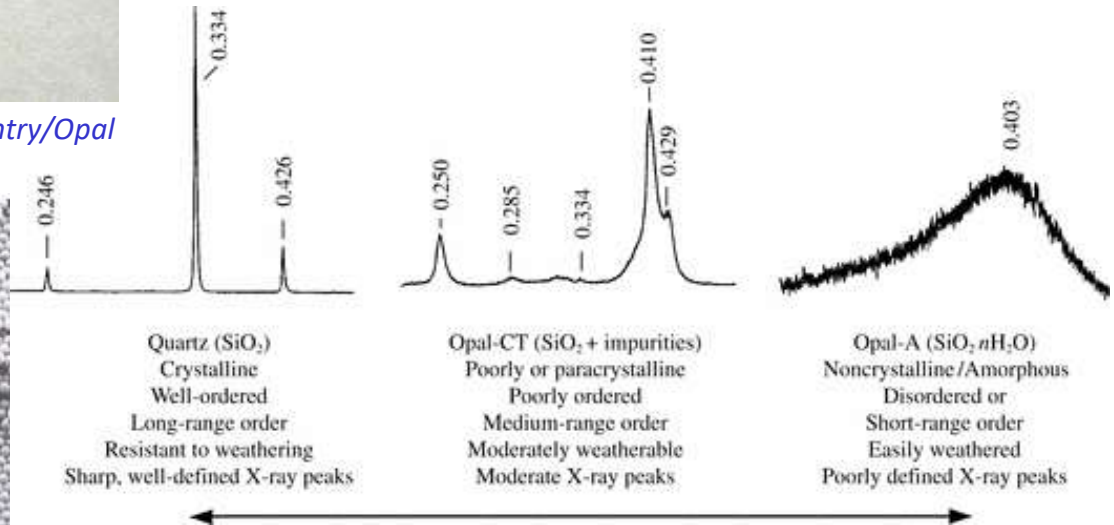
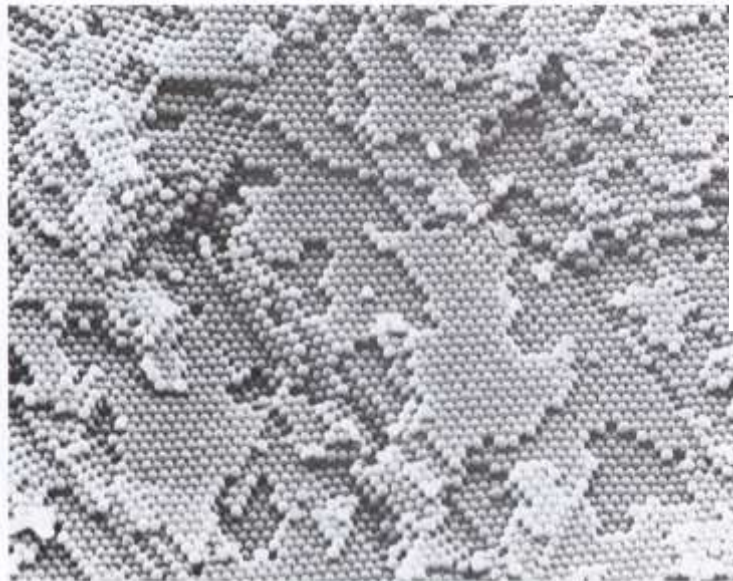
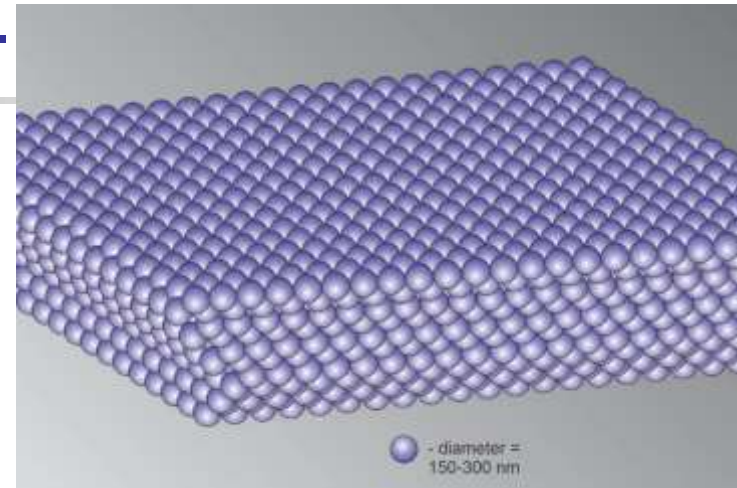
- Isso pode ocorrer se:
 - a **composição** química puder ser determinada ao longo de todo o espécime estudado;
 - **dados físico-químicos** (geralmente espectroscópicos) puderem provar a unicidade da fase;
 - existir a evidência de que é impossível se obter padrões de difração a partir da fase (tanto no seu estado natural, quanto após algum tipo de tratamento no estado sólido, como por exemplo, aquecimento).



Exemplo de fase "amorfa" com ordem...



<https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Opal>



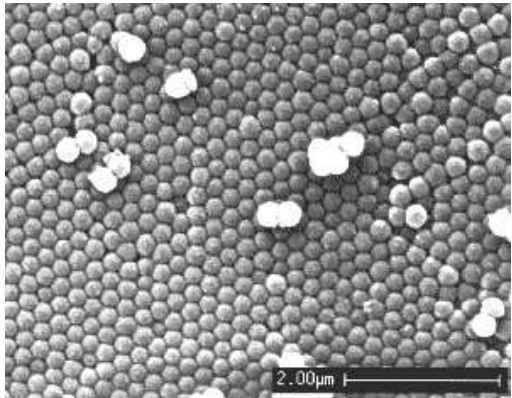
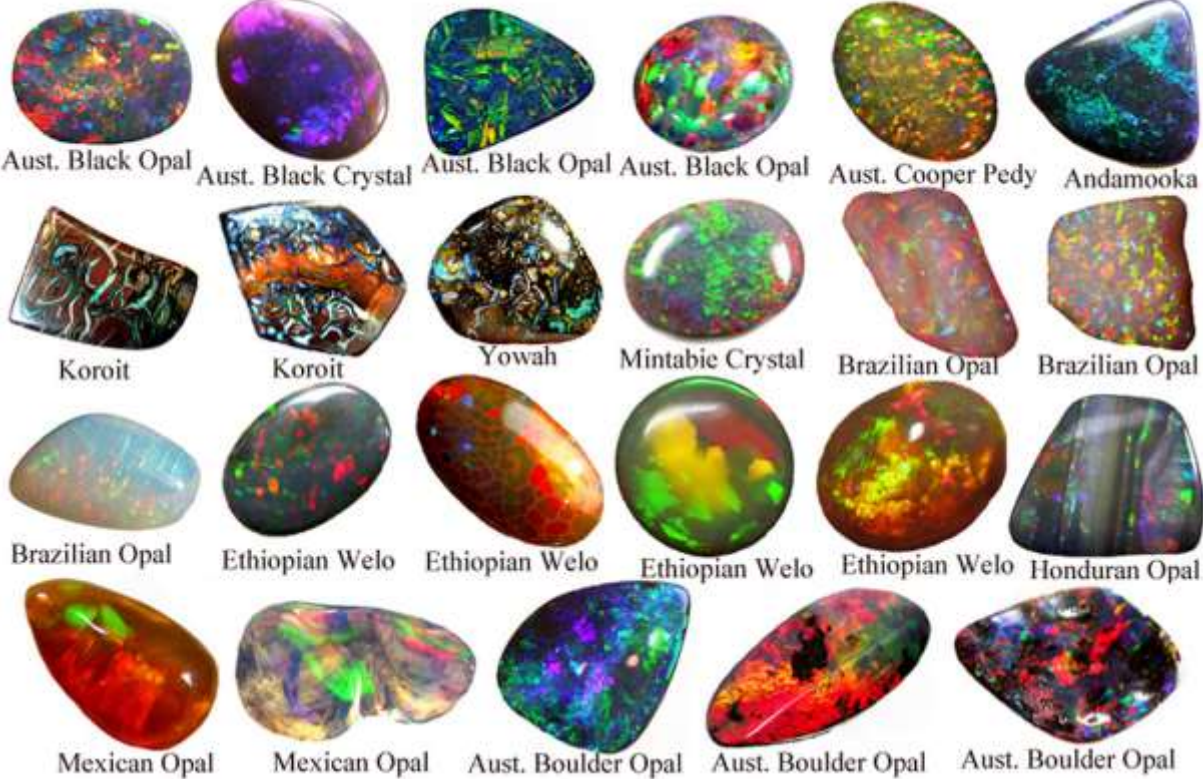


Opala
 $SiO_2 \cdot nH_2O$



(C) Opalauctions 2013

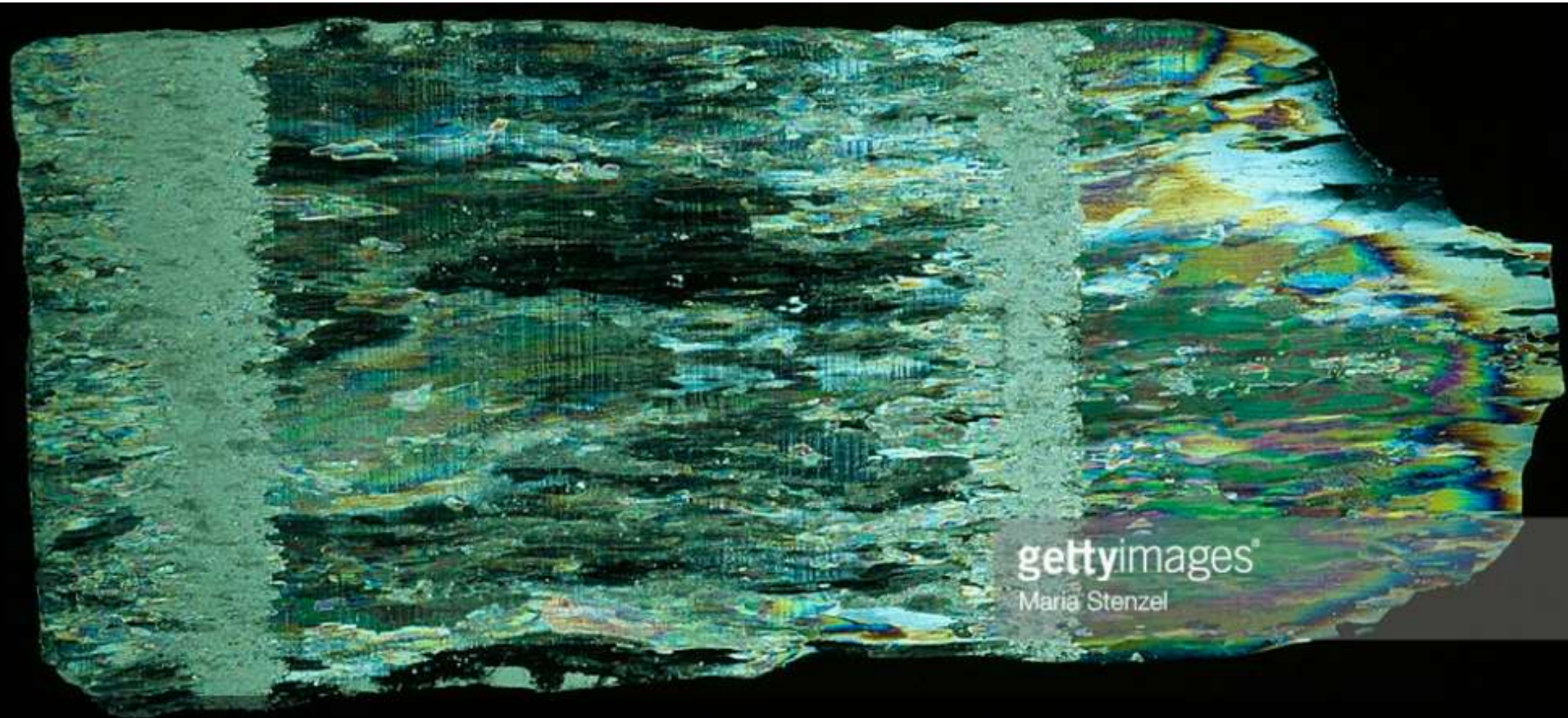
OPALS OF THE WORLD





Minerais – Casos especiais

- A água, na forma líquida, não é considerada um mineral. O gelo, formado naturalmente nas geleiras e nos pólos, é.



A six-inch cross-section of an ice core reveals its crystal structure. Southern Ocean, near Antarctica.



Minerais – Casos especiais

- O **mercúrio**, mesmo sendo líquido, é considerado um mineral (o mercúrio não cristaliza).
- Compostos cristalinos formados naturalmente existentes **outros corpos celestes** (planetas, satélites...) são consideradas minerais.
 - Ex.: minerais em rochas da Lua coletadas pelos astronautas do projeto Apollo; minerais em meteoritos; minerais estudados pelas sondas Opportunity e Curiosity em Marte).

Common lunar minerals^[7]

Mineral	Elements	Lunar rock appearance
Plagioclase feldspar	Calcium (Ca) Aluminium (Al) Silicon (Si) Oxygen (O)	White to transparent gray; usually as elongated grains.
Pyroxene	Iron (Fe), Magnesium (Mg) Calcium (Ca) Silicon (Si) Oxygen (O)	Maroon to black; the grains appear more elongated in the maria and more square in the highlands.
Olivine	Iron (Fe) Magnesium (Mg) Silicon (Si) Oxygen (O)	Greenish color; generally, it appears in a rounded shape.
Ilmenite	Iron (Fe), Titanium (Ti) Oxygen (O)	Black, elongated square crystals.

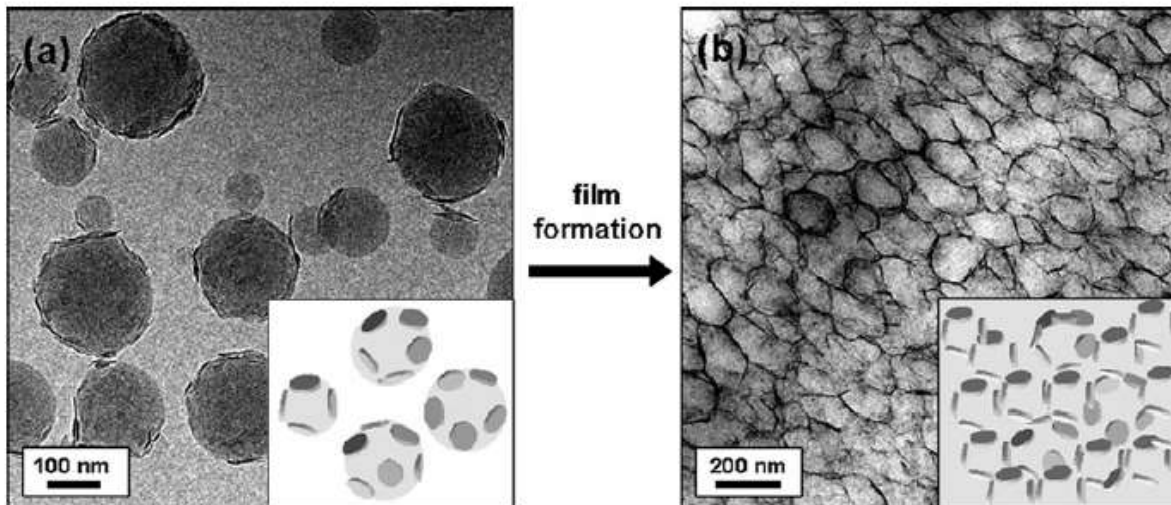
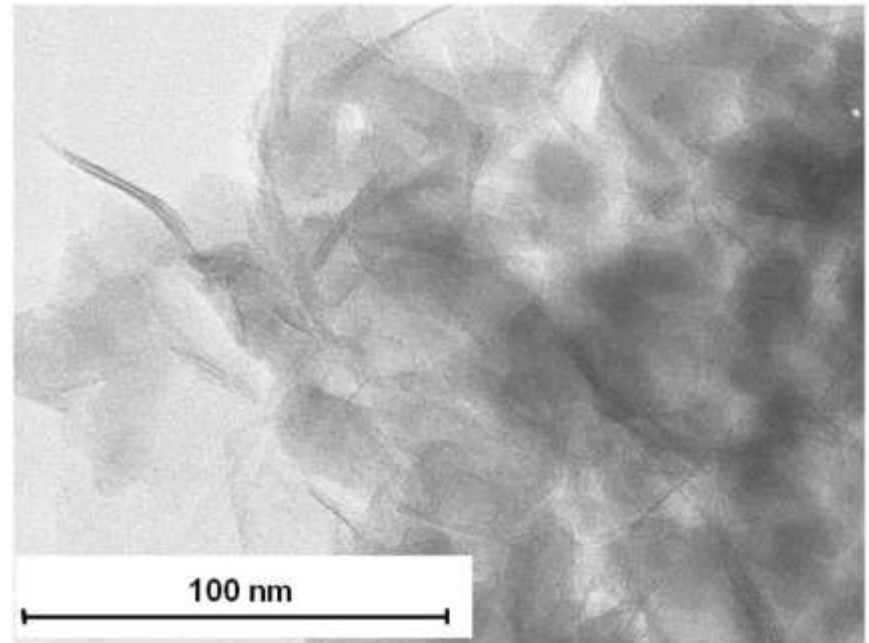


© AFP/GETTY IMAGES
An image captured by the Mast Camera (Mastcam) on NASA's Mars rover Curiosity revealing interesting internal color in this rock which was broken by Curiosity when it drove over it

<https://br.pinterest.com/sbfonline/curiosity-rover/>

Casos especiais

- Materiais cristalinos **sintéticos** produzidos pelo homem não são considerados minerais; no entanto, é hábito dar-se a esses materiais o nome do mineral seguido do termo "sintético" (a **laponita**, por exemplo, é uma "montmorilonita sintética").



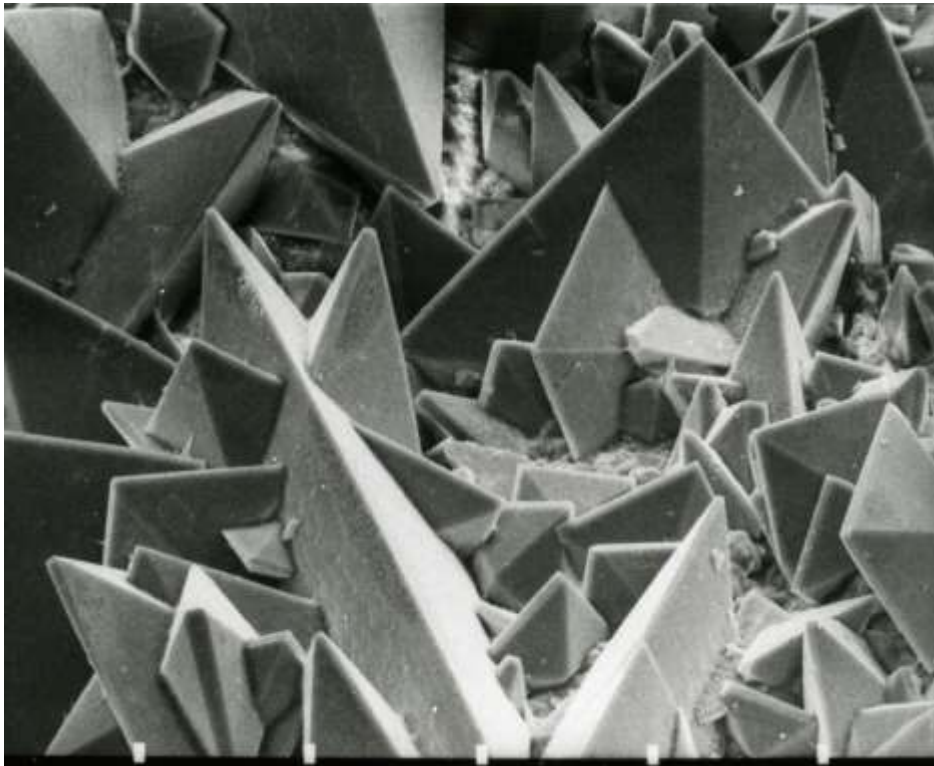
J. Mater. Chem., 2008,18, 5722-5730

Fig. 8 TEM images of (a) poly(styrene-co-*n*-butyl acrylate)-Laponite nanocomposite particles embedded in vitreous ice and (b) an ultra-thin cryo-section of a film prepared from the poly(styrene-co-*n*-butyl acrylate)-Laponite nanocomposite particles.⁵⁷

Minerais – Casos especiais

- Materiais cristalinos de origem biótica – por exemplo, **cálculos renais** – não são considerados minerais.
- No entanto, compostos que sejam fruto da ação da natureza sobre tais compostos – por exemplo, rochas calcárias e fosforitos originados de organismos marinhos – podem ser considerados minerais.

Superfície de um cálculo renal – oxalato de cálcio



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Surface_of_a_kidney_stone.jpg



These kidney stones are all from the same person, but on different occasions. The biggest one is 11 mm across. All came out the natural way, without surgery



Nomenclatura

- Para que exista comunicação eficiente, é necessário que existam termos comuns que sejam entendidos por todos → é necessário que exista uma **nomenclatura** .
- Isso é válido para qualquer domínio específico de conhecimento, e também é válido para permitir a comunicação entre interlocutores de diferentes áreas de conhecimento.
 - O estabelecimento de uma nomenclatura comum é tanto mais importante quanto mais **interdisciplinar** for a área de conhecimento – o que é o caso da **Ciência e Tecnologia de Argilas**.



Nomenclatura dos Minerais

- A escolha do nome de um mineral é de responsabilidade de seu descobridor, sob reserva de aprovação pelo CNMMN da IMA.

*CNMMN – Commission on New Minerals and Mineral Names
IMA – International Mineralogical Association*

- O “prefixo” pode ser qualquer: nome de um lugar, de uma pessoa, por exemplo.
- A terminação, em português, deve ser – **ITA**
 - Exemplos: **caulinita**, **clorita**, **montmorilonita**, **beidelita**, **nontronita**, **calcita**.
- Nomes antigos e de uso tradicional permanecem.
 - Exemplos: **quartzo**, **ortoclásio**.



Critérios para o reconhecimento de Novos Minerais

- Um mineral novo deve necessariamente ser diferente dos minerais já identificados, que ficam protegidos e guardados em museus, em universidades ou em centros de pesquisa.
- Lista mais recente dos nomes dos minerais (2020):
 - **IMA/CNMMN List of Mineral Names** – <http://www.ima-mineralogy.org/Minlist.htm>
- A caracterização deve ser a mais completa possível.
 - Análise química e DRX são essenciais !
 - A totalidade da amostra não deve ser consumida na caracterização.



Rochas



Rochas

■ Rochas

- São agregados naturais formados por um ou mais minerais (*com composição e propriedades diversas*), que podem ser nitidamente individualizados.
- A parte sólida da crosta terrestre é constituída principalmente por rochas.
- Exemplo
 - **Granito** (*rocha ígnea*) : *quartzo + feldspato + mica*

Granito

Quartzo

Mica

Feldspato



Granito

<https://en.wikipedia.org/wiki/Granite>



Nomenclatura de Rochas - IMA

- Quando uma rocha é constituída essencialmente de um único mineral, ela deve ser denominada por um “prefixo” – que é o nome do mineral – com a terminação **–ITO**.
 - **Exemplo**: rocha constituída essencialmente de **quartzo** é um *Quartzito*.
- Se não houver predominância de um mineral, a rocha pode ter um nome qualquer, desde que seja terminado em **–ITO**.
- Se uma rocha foi nomeada **antes** do estabelecimento das regras da IMA, **o nome antigo permanece**.
 - Exemplo: *Caulim* (ao invés de caulinito).



O Estudo dos Minerais e das Rochas

- O estudo dos **minerais** é feito pela *Mineralogia*.
- O estudo das **rochas** é feito:
 - Pela *Petrografia* : descrição e classificação sistemática das rochas.
 - Pela *Petrologia* : origem, ocorrência, estrutura e história das transformações das rochas (= litologia).



Solos



Definições do termo “Solo”

- Um solo (*pensando em “solo” como um material...*) é um corpo de material não-consolidado que cobre a superfície terrestre emersa, entre a litosfera e a atmosfera.
- É produto do intemperismo sobre um material de origem (*por exemplo, uma rocha*), cuja transformação se desenvolve ao longo do tempo em um determinado relevo, clima e bioma.
- O solo corresponde à decomposição de rochas que ocorre por meio de ações ligadas à temperatura, além de processos erosivos provenientes da ação dos ventos, da chuva e dos seres vivos.
- Pode ser visto sobre diferentes pontos de vista....
 - Para um engenheiro agrônomo o solo é a camada na qual pode-se desenvolver vida (vegetal e animal).
 - Para um engenheiro civil, sob o ponto de vista da mecânica dos solos, solo é um corpo possível de ser escavado, sendo utilizado dessa forma como suporte para construções ou material de construção.
 - Para um biólogo, através da ecologia e da pedologia, o solo infere sobre a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes minerais e determina os diferentes ecossistemas e habitats dos seres vivos.
- Solos estão constantemente em desenvolvimento, por mais curto que seja o tempo considerado...



Definições do termo “Solo”

What is Soil?

This definition is from the Soil Science Society of America.

soil - (i) The unconsolidated mineral or organic material on the immediate surface of the Earth that serves as a natural medium for the growth of land plants. (ii) The unconsolidated mineral or organic matter on the surface of the Earth that has been subjected to and shows effects of genetic and environmental factors of: climate (including water and temperature effects), and macro- and microorganisms, conditioned by relief, acting on parent material over a period of time. A product-soil differs from the material from which it is derived in many physical, chemical, biological, and morphological properties and characteristics.



This definition is from Soil Taxonomy, second edition.

soil - Soil is a natural body comprised of solids (minerals and organic matter), liquid, and gases that occurs on the land surface, occupies space, and is characterized by one or both of the following: horizons, or layers, that are distinguishable from the initial material as a result of additions, losses, transfers, and transformations of energy and matter or the ability to support rooted plants in a natural environment.

https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054280

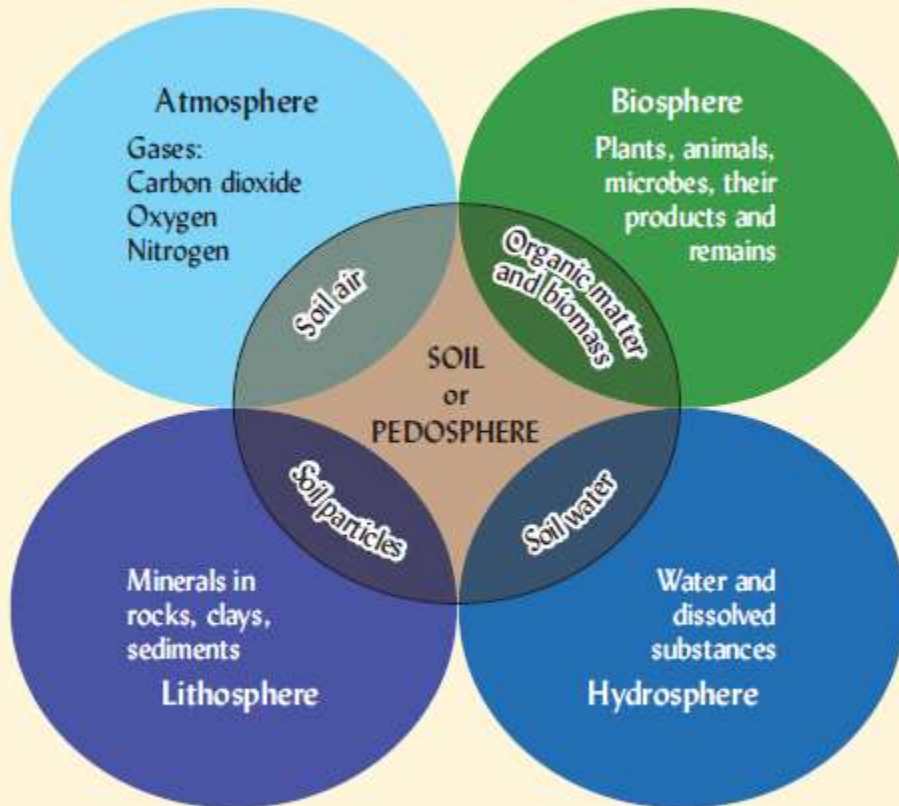
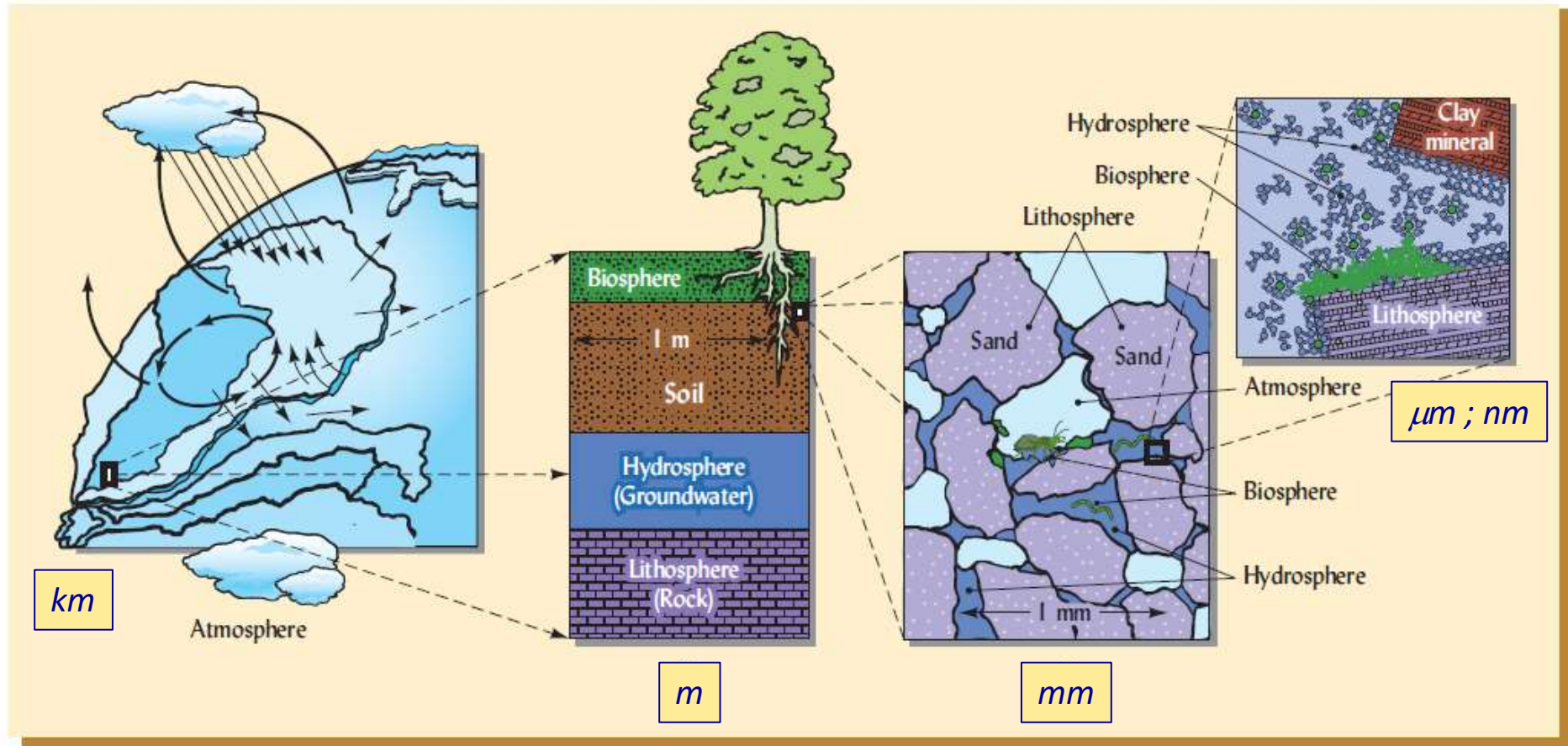


Figure 1.12 The pedosphere, where the worlds of rock (the lithosphere), air (the atmosphere), water (the hydrosphere), and life (the biosphere) all meet. The soil as interface can be understood at many different scales. At the **kilometer scale (a)**, soil participates in global cycles of rock weathering, atmospheric gas changes, water storage and partitioning, and the life of terrestrial ecosystems. At the **meter scale (b)**, soil forms a transition zone between the hard rock below and the atmosphere above—a zone through which surface water and groundwater flow and in which plants and other living organisms thrive. A thousand times smaller, at the **millimeter scale (c)**, mineral particles form the skeleton of the soil that defines pore spaces, some filled with air and some with water, in which tiny creatures lead their lives. Finally, at the **micrometer and nanometer scales (d)**, soil minerals (lithosphere) provide charges, reactive surfaces that adsorb water and cations dissolved in water (hydrosphere), gases (atmosphere), and bacteria and complex humus macromolecules (biosphere). (Diagram courtesy of Ray R. Weil)



...diferentes escalas...



Weil, R.R., Brady, N.C. *The Nature and Properties of Soils*. 15th Ed. Pearson. 2017. pg. 31.



Classificação Sistemática dos Minerais



Classificação Sistemática dos Minerais

Crítérios usados	Exemplos
Sistema de cristalização	Minerais monoclínicos, cúbicos
Usos	Minérios, gemas, minerais formadores de rochas
Composição química	Elementos nativos, óxidos, sulfetos

Klein, C.; Dutrow, B. Manual de Ciência dos Minerais. Bookman. Porto Alegre. 2011

Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniados e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

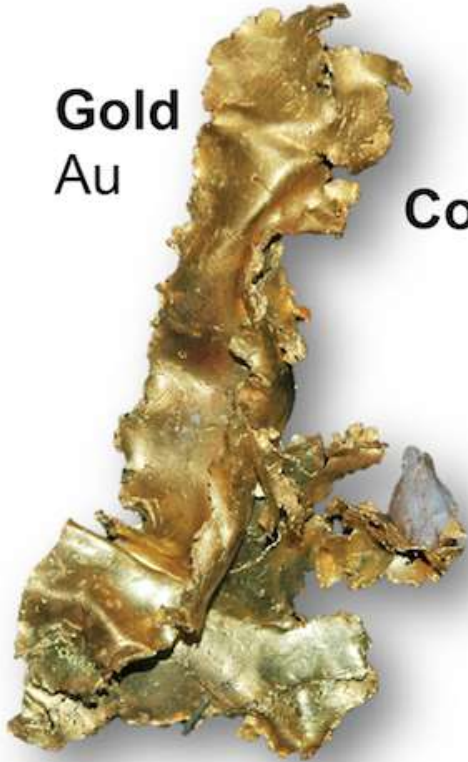
Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4.
olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7.
hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epidoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3.
berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3.
piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11.
anfíbólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5.
argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2.
quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).



NATIVE ELEMENT MINERALS

Gold
Au



James St. John CC BY 2.0

Copper
Cu



Rob Lavinsky, iRocks.com CC BY-SA 3.0

Silver
Ag

Sulphur S



H. Zell CC BY-SA 3.0



SULPHIDE MINERALS

Galena
PbS



Chalcopyrite
CuFeS₂



Sphalerite
ZnS



Molybdenite
MoS₂



Photos by R. Weller/ Cochise College



Pyrite
FeS₂



Bornite
Cu₅FeS₄



Arsenopyrite
FeAsS

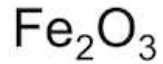


Stibnite
Sb₂S₃

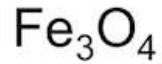


OXIDE MINERALS

Hematite



Magnetite



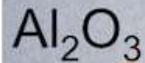
Limonite



Iron ore minerals

Photos by R. Weller/ Cochise College

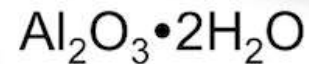
Corundum



Abrasives and gemstones



Bauxite



Aluminum ore





HALIDE MINERALS



James St. John CC BY 2.0

Cryolite
 Na_3AlF_6



R. Weller/ Cochise College

Fluorite
 CaF_2



R. Weller/ Cochise College

Halite
 NaCl



CARBONATE MINERALS



Calcite
 CaCO_3



Siderite
 FeCO_3



Azurite
 $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$



Magnesite
 MgCO_3

Dolomite
 $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$

Photos by Rob
Lavinsky, iRocks.com
CC BY-SA 3.0



Malachite
 $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$





SULPHATE MINERALS



Rock Currier CC BY

Anhydrite
 CaSO_4



R. Weller/ Cochise College

Gypsum
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



Sam Wise CC BY-NC-SA

Barite
 BaSO_4



R. Weller/ Cochise College

Celestite
 SrSO_4



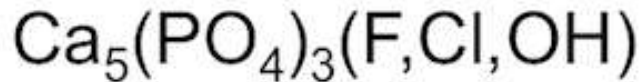


PHOSPHATE MINERALS

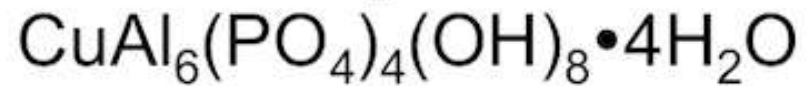
Photos by R. Weller/ Cochise College



Apatite



Turquoise





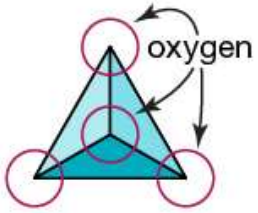
Silicatos

Silicatos

Nesosilicates

Unit composition: $(\text{SiO}_4)^{4-}$

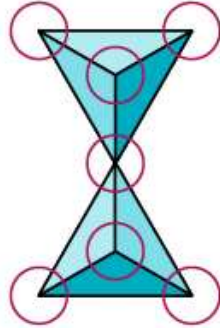
Example: olivine,
 $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$



Sorosilicates

Unit composition: $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$

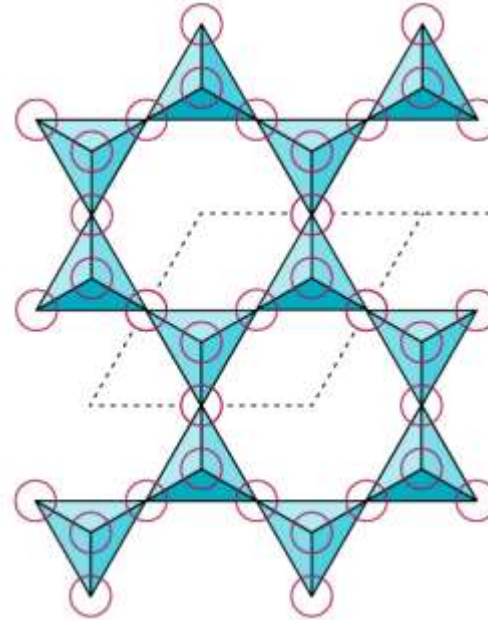
Example: hemimorphite,
 $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$



Phyllosilicates

Unit composition: $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$

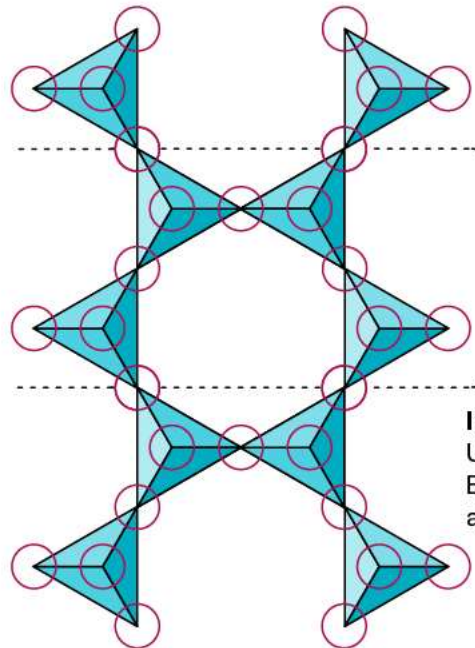
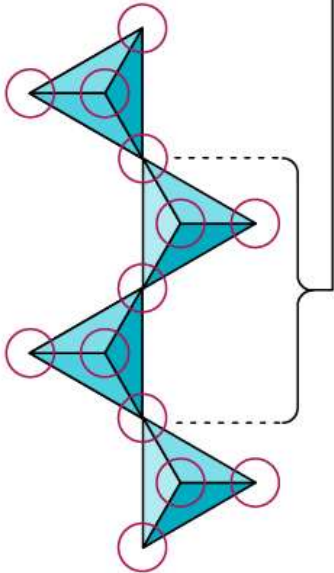
Example: mica—e.g.,
phlogopite, $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$



Inosilicates (single chain)

Unit composition: $(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$

Example: pyroxene—e.g.,
enstatite, MgSiO_3



Inosilicates (double chain)

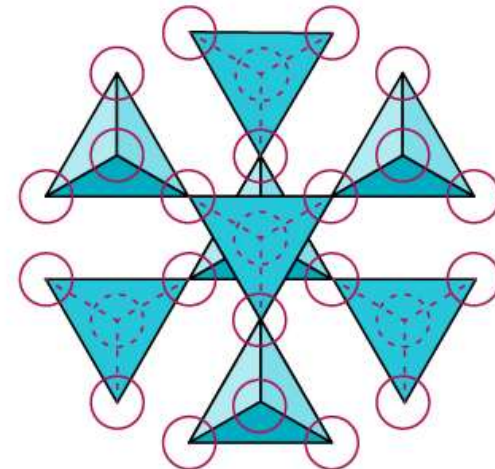
Unit composition: $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$

Example: amphibole—e.g.,
anthophyllite, $\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Tectosilicates

Unit composition: $(\text{SiO}_4)^{4-}$

Example: high cristobalite,
 SiO_2



Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniats e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4. olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7. hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epidoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3. berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3. piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11. anfibólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5. argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2. quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).





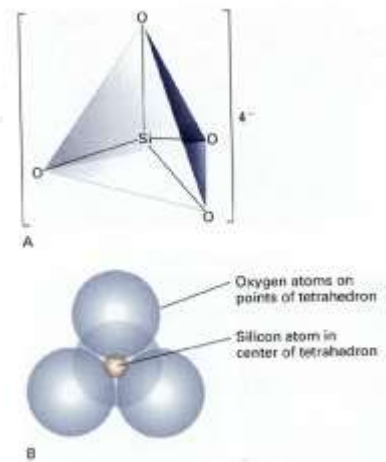
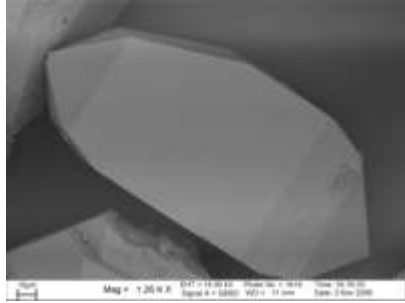
Tetraedros isolados : Nesossilicatos



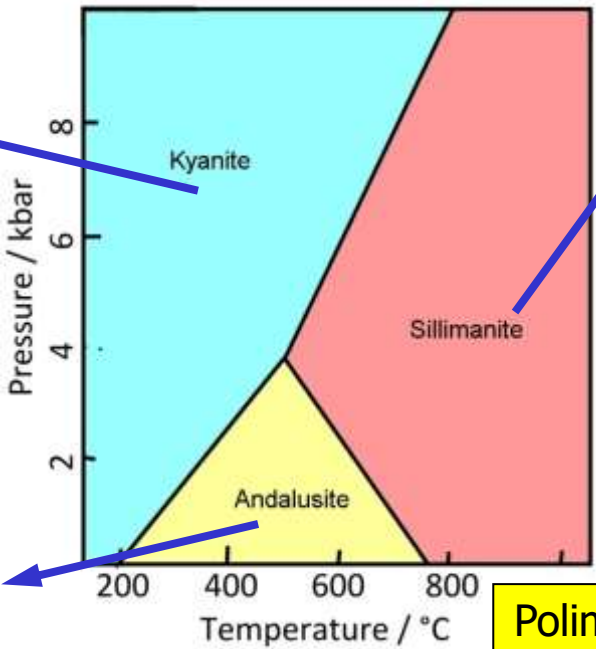
Forsterita Mg_2SiO_4



Zircão $ZrSiO_4$



Olivina $(Mg,Fe)_2SiO_4$



Andalusite-carbonate schist in metamorphic sequence, western part of Fossil Ridge. Large brown crystals are andalusite. Photograph by G. DeWitt.

Polimorfos Al_2SiO_5



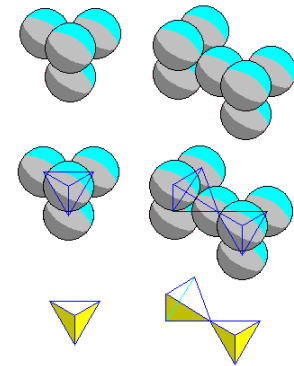
Topázio $Al_2SiO_4(F,OH)_2$



Duplas e Anéis de silicatos

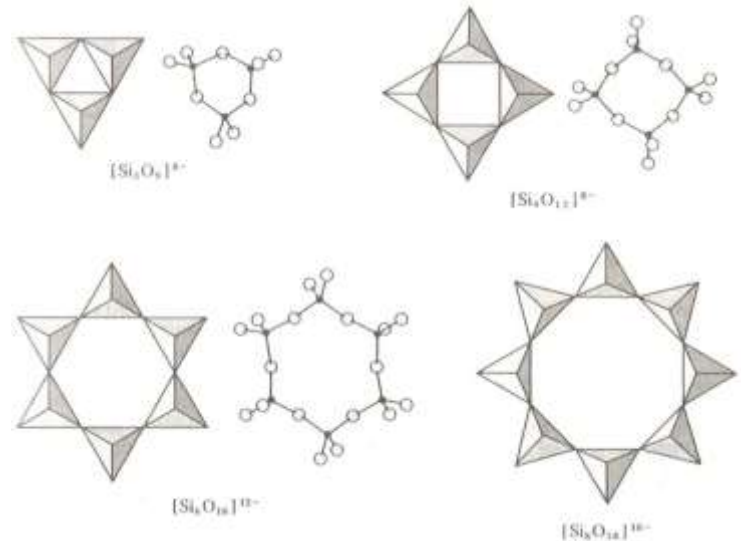
- Duplas de tetraedros [grupos $(\text{SiO}_7)^{6-}$] - Sorossilicatos

Epidoto
 $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+};\text{Al})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$



- Anéis de silicatos: Ciclossilicatos

Ânions de silicatos cíclicos



Ciclosilicatos – “anéis de 6 Si”



Berilo / Esmeralda
 $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$



Cordierita
 $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_3(\text{Si}_5\text{AlO}_{18})$



Turmalina
 $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Li,Mg})_3(\text{Al,Fe,Mn})_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$

Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniados e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

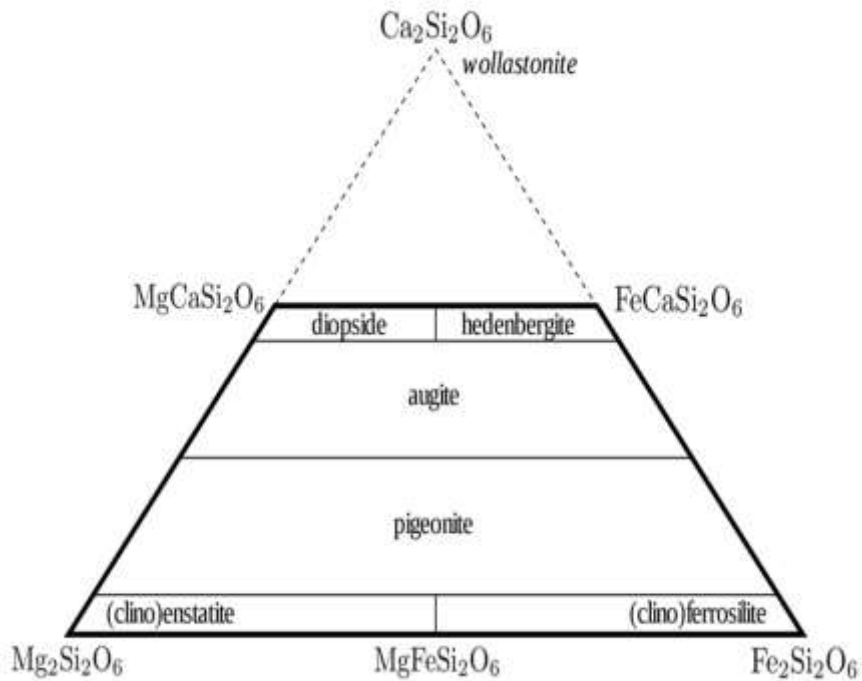
- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4. olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7. hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epidoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3. berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3. piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11. anfibólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5. argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2. quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).



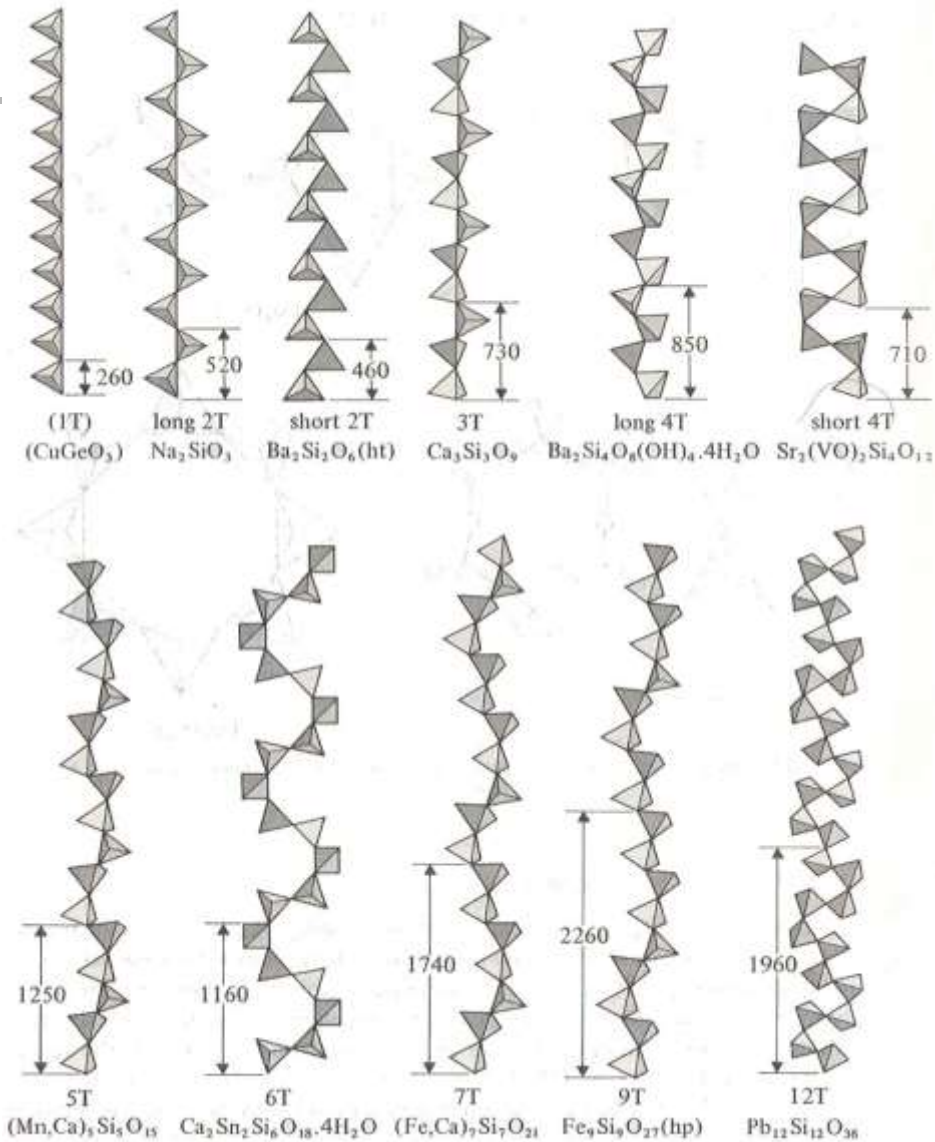


Inossilicatos

Grupo dos Piroxênios

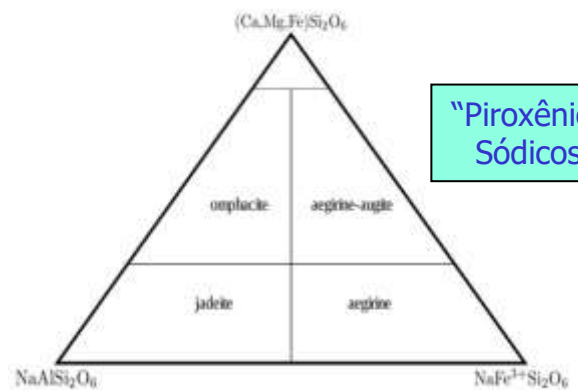
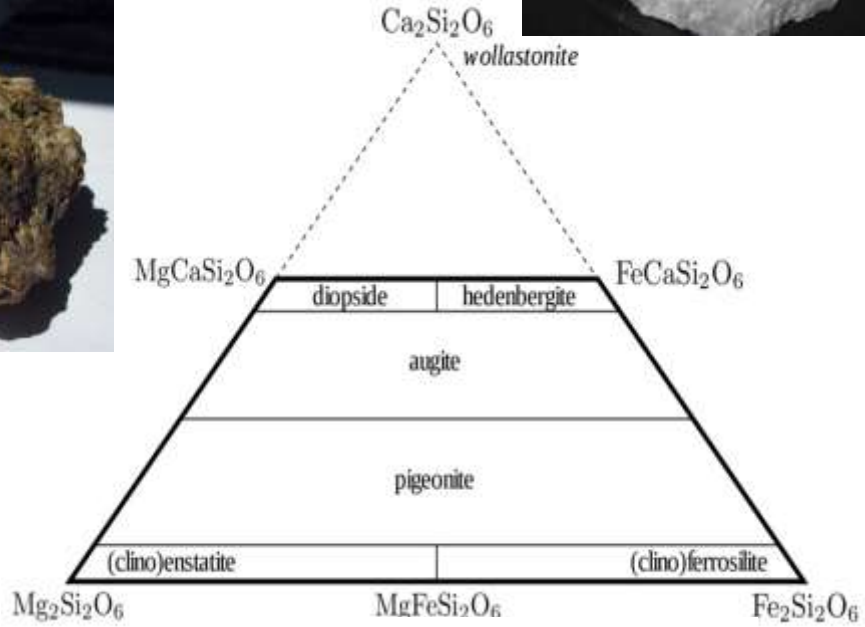
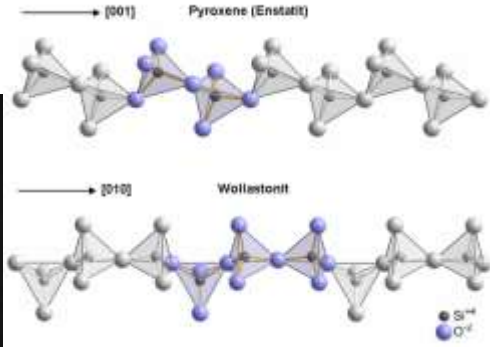


Cadeias simples de tetraedros
 $\text{Si}:\text{O} = 1:3$





Grupo dos Piroxênios



"Piroxênios Sódicos"



Espadumênio
LiAlSi₂O₆

Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniados e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

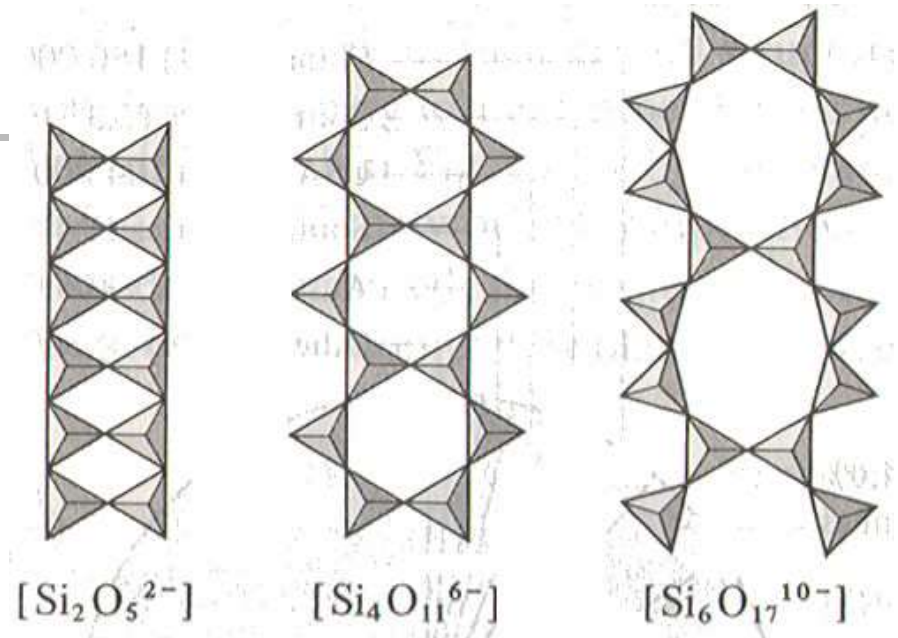
- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4. olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7. hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epídoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3. berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3. piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11. anfibólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5. argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2. quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).



Inossilicatos

Cadeias duplas de tetraedros

Grupo dos Anfibólios
 $Si:O = 4:11$



Antofilita
 $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$



Hornblenda
 $(Ca,Na)_{2-3}(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH,F)_2$



Tremolita
 $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$

Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniados e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

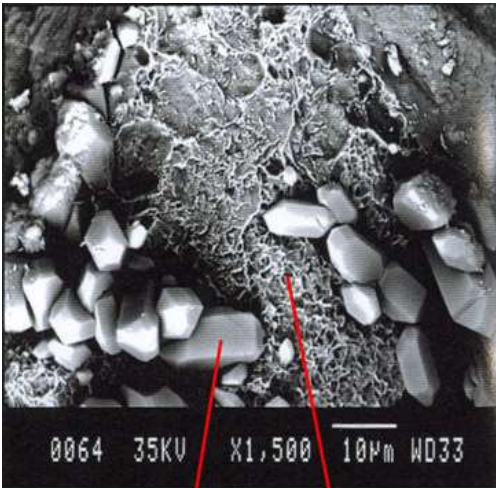
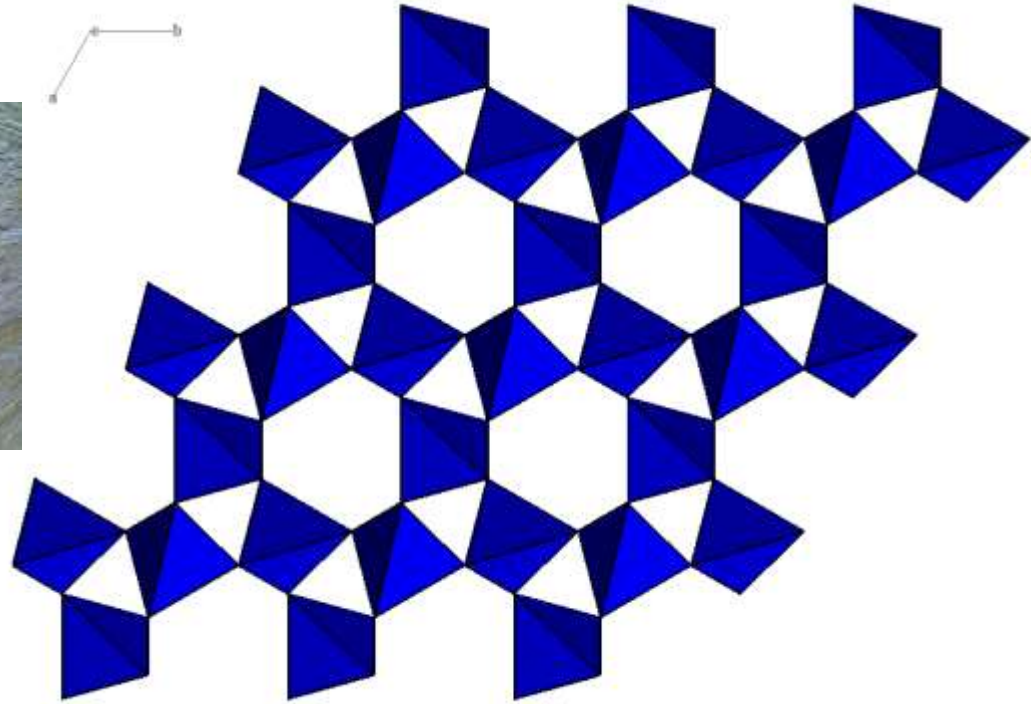
Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4. olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7. hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epidoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3. berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3. piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11. anfibólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5. argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2. quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).

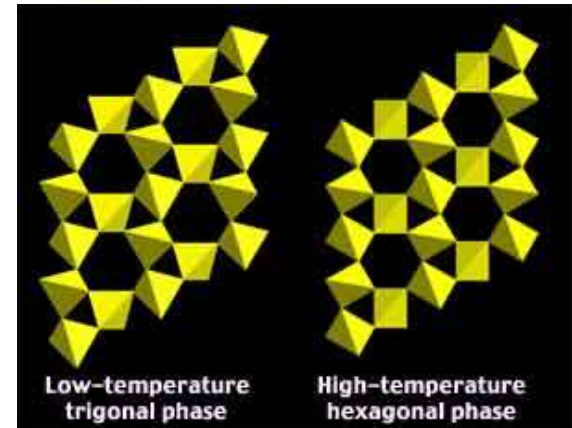
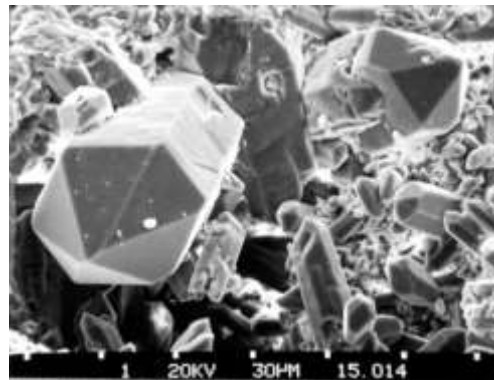


Quartzo

Quartzo $\alpha \rightarrow 573^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Quartzo β



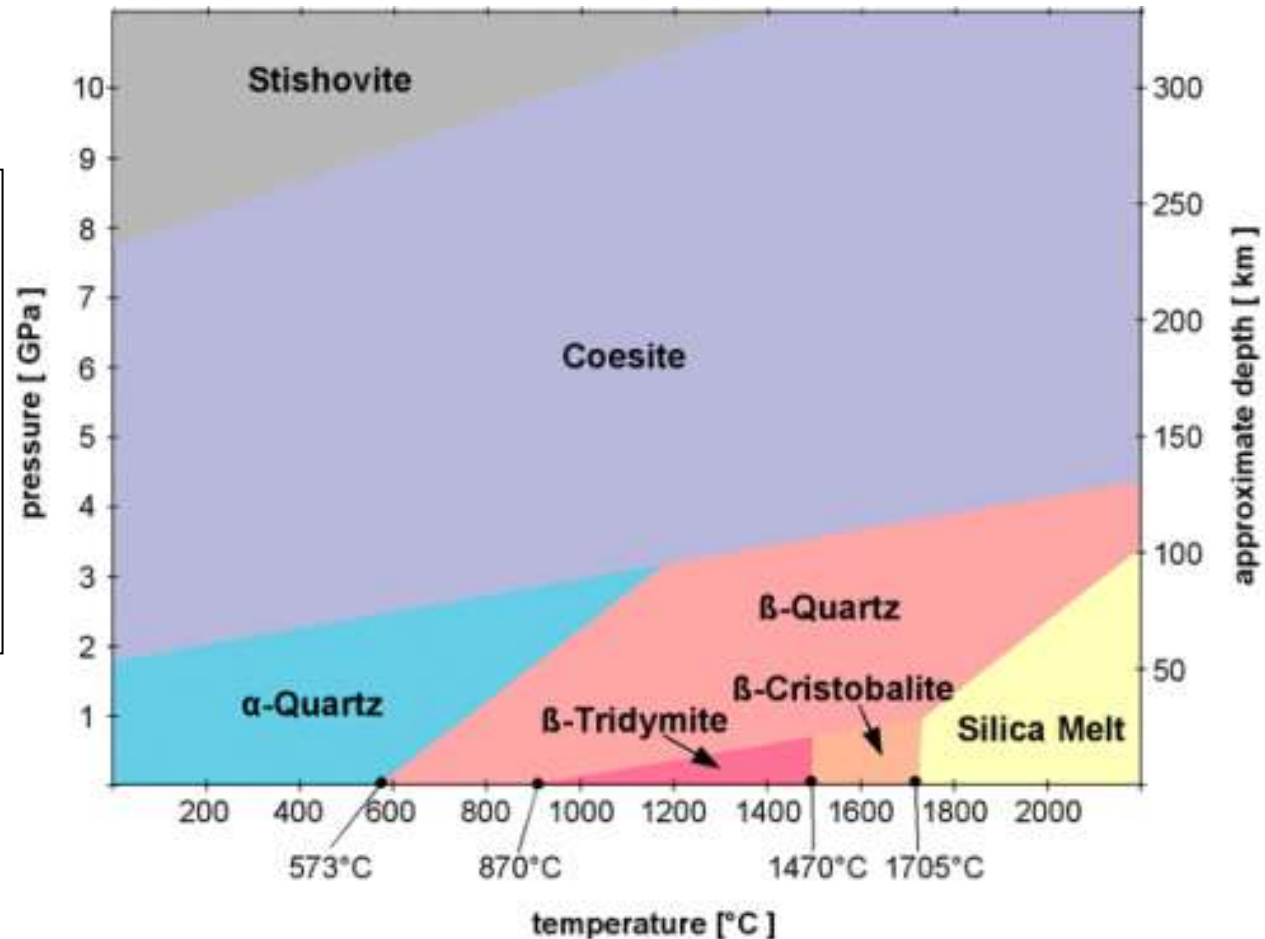
Quartz Smectite clay



Tectossilicatos : Diagrama de Fases

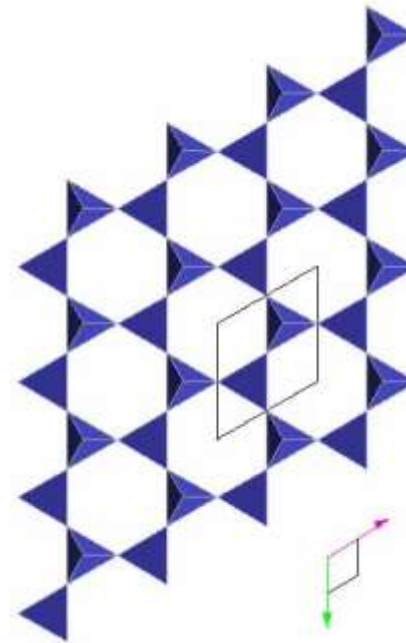
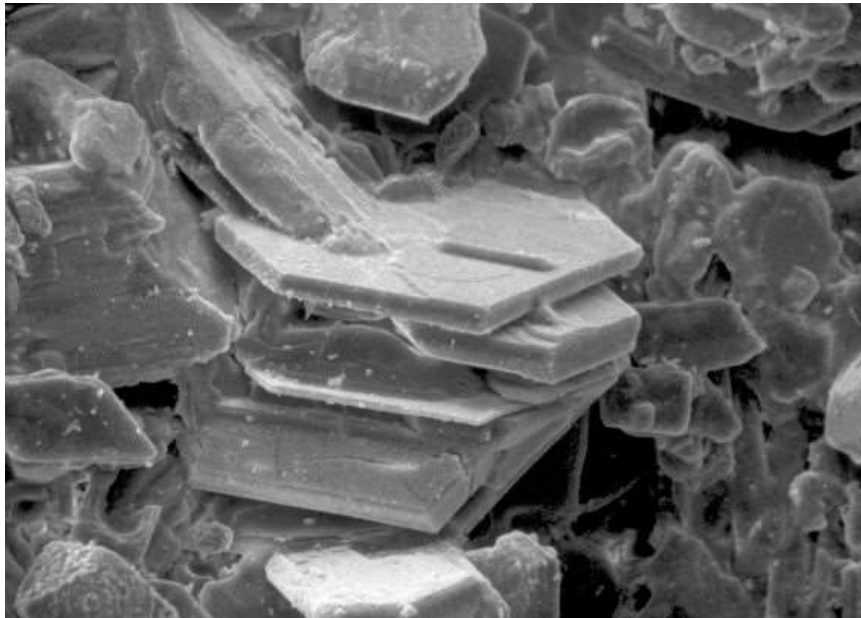
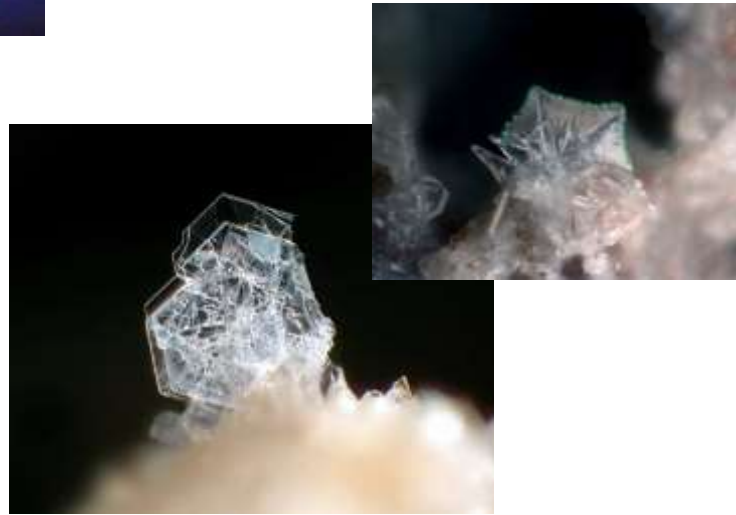


Mineral	System	G	n
β Cristobalite	Isometric	2.20	1.48
α Cristobalite	Tetragonal	2.32	1.48
β Tridymite	Hexagonal	2.22	1.47
α Tridymite	Monoclinic	2.26	1.47
β Quartz	Hexagonal	2.53	1.54
α Quartz	Trigonal	2.65	1.55
Coesite	Monoclinic	3.00	1.59
Stishovite	Tetragonal	4.28	1.81

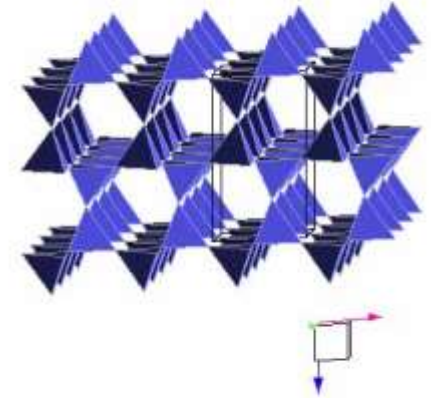




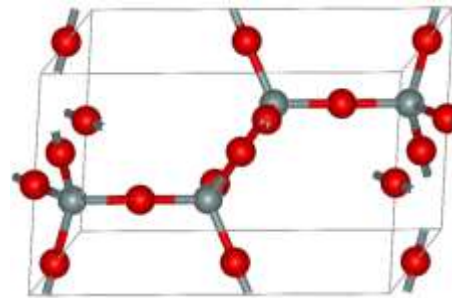
Tridimita



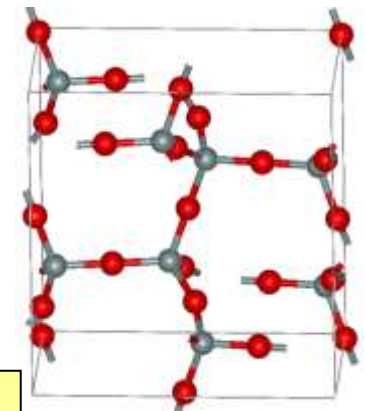
Tridymite



Quartzo α \rightarrow 870°C \rightarrow Tridimita β
Tridimita β \rightarrow ~120°C/140°C \rightarrow Tridimita α (1atm)



Tridimita β



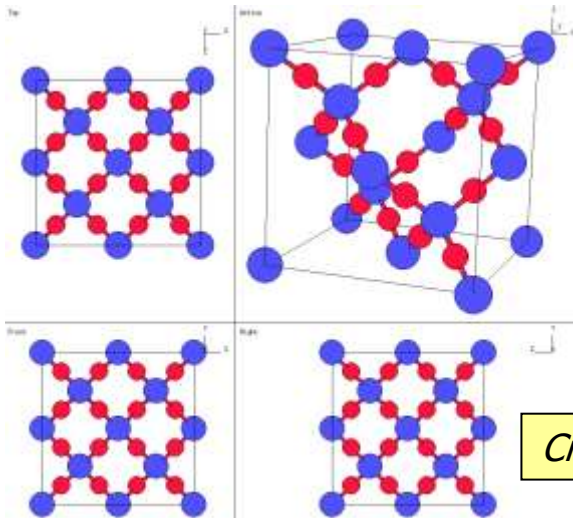
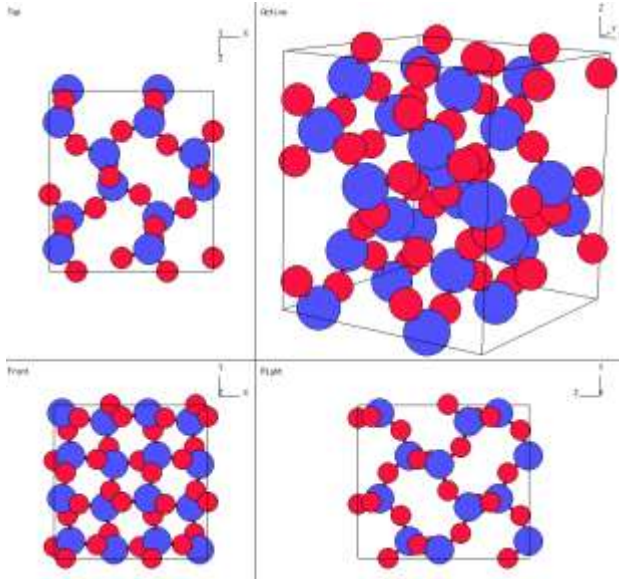
Tridimita α



Cristobalita

Tridimita $\beta \rightarrow 1470^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Cristobalita β
 Cristobalita $\beta \rightarrow \sim 268^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Cristobalita α (1atm)

Cristobalita α



Cristobalita β

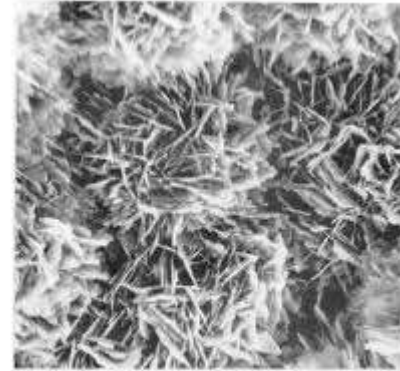
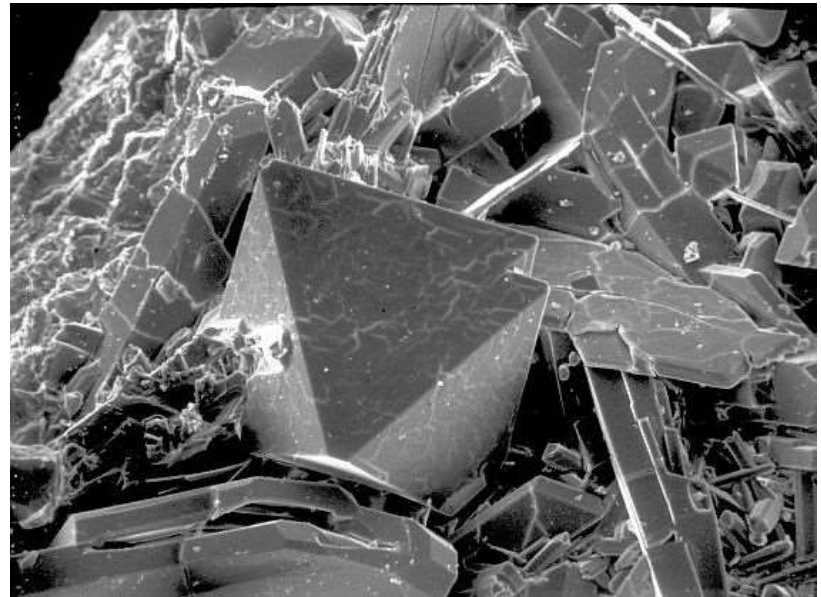
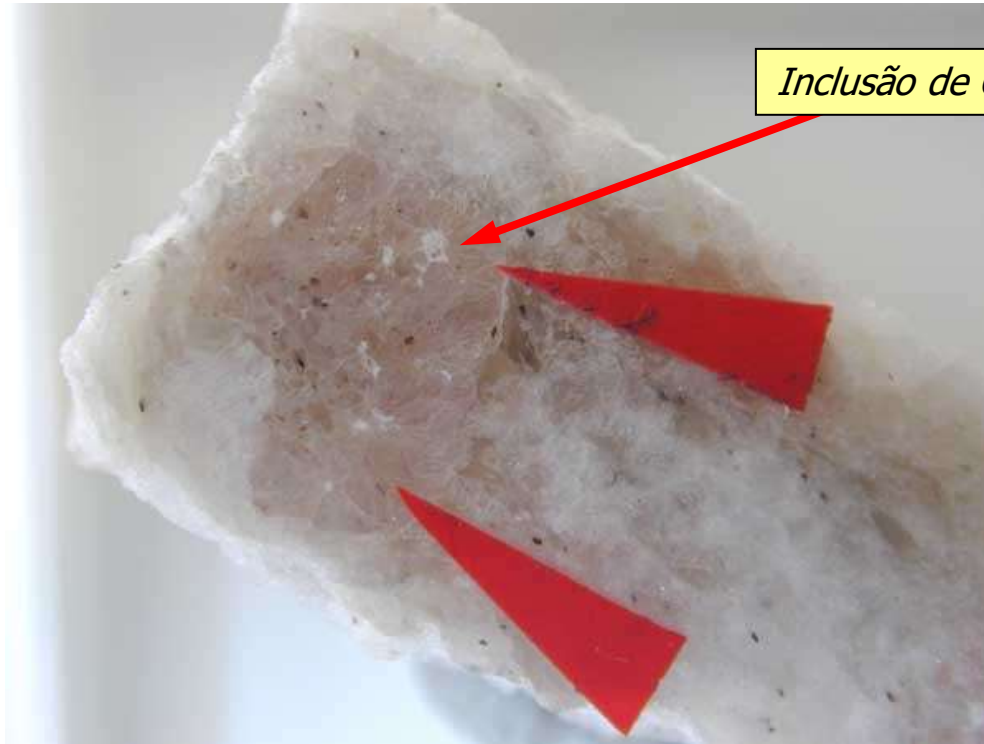


FIGURE 3 — Cristobalite chest from the Keopjider Plateau (Southern Ocean) recovered by ELTANIN Coto 47-15. Chest consists almost entirely of cristobalite microfibers composed of fine blades which grow in spherical arrays, 4,700 X. (Weaver & Wise, unpublished).



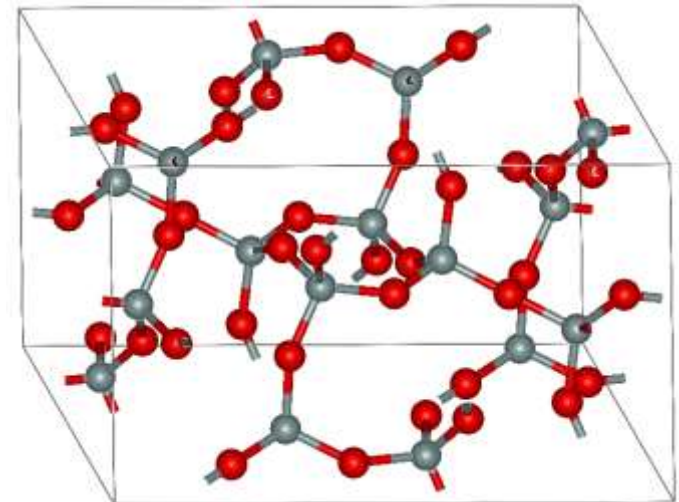
Fases de Alta Pressão: Coesita



Inclusão de Coesita

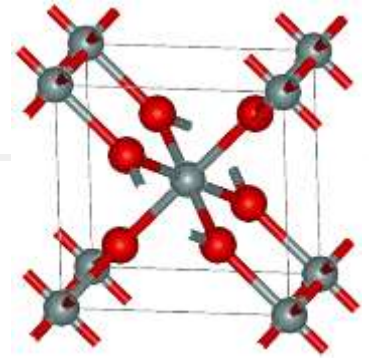
COESITA

Encontrada em condições de elevada pressão de formação :
em região de kimberlito (África do Sul)
e em ponto de impacto de meteoros

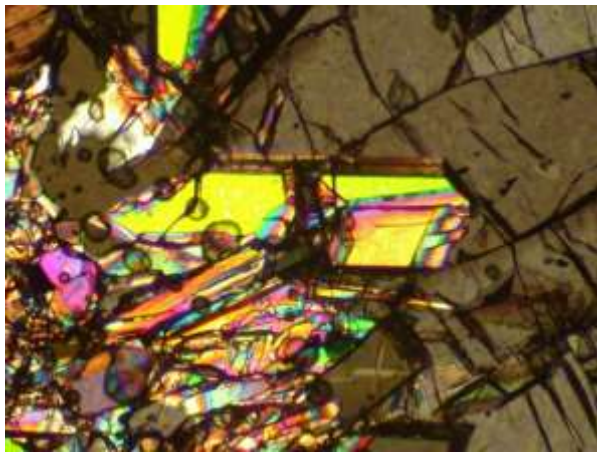
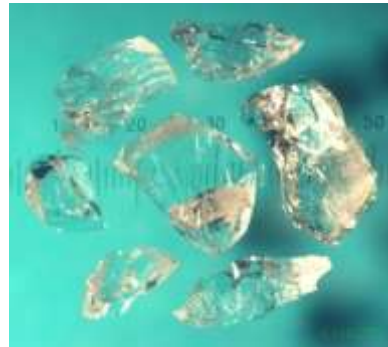
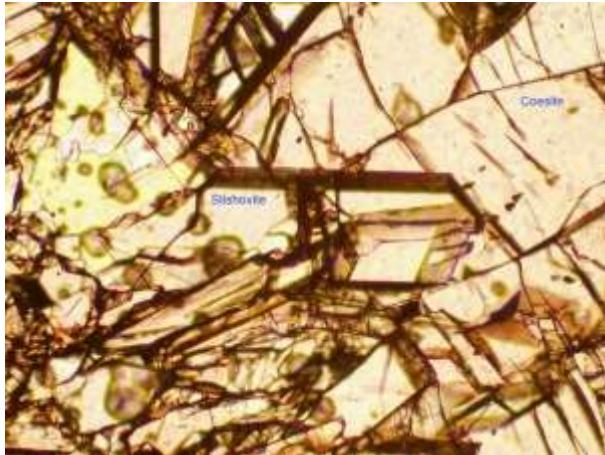




Fases de Alta Pressão: Stishovita



STISHOVITA
Encontrada em ponto de impacto de meteoros
*Silício em coordenação **octaédrica***



Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

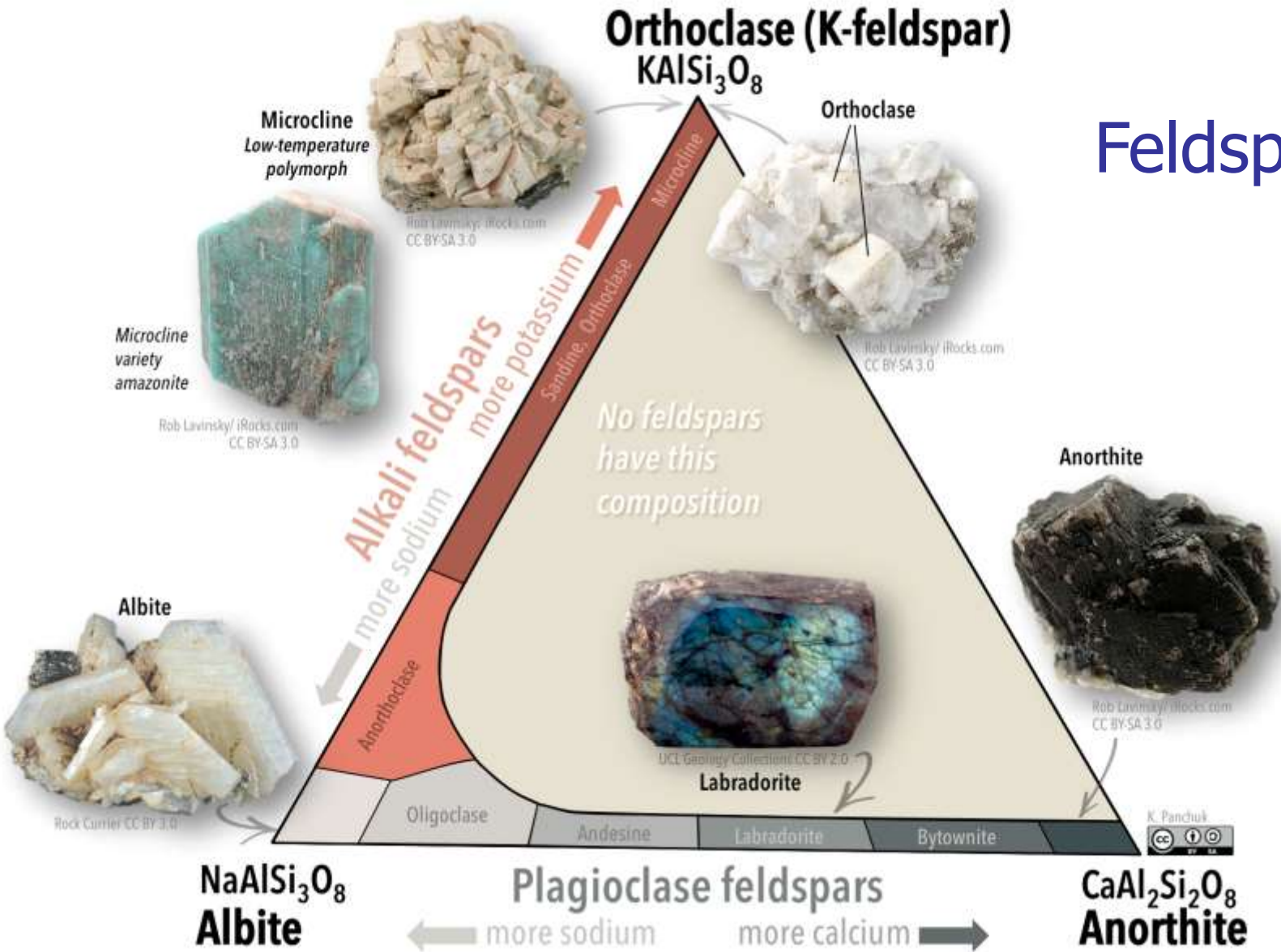
- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniados e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

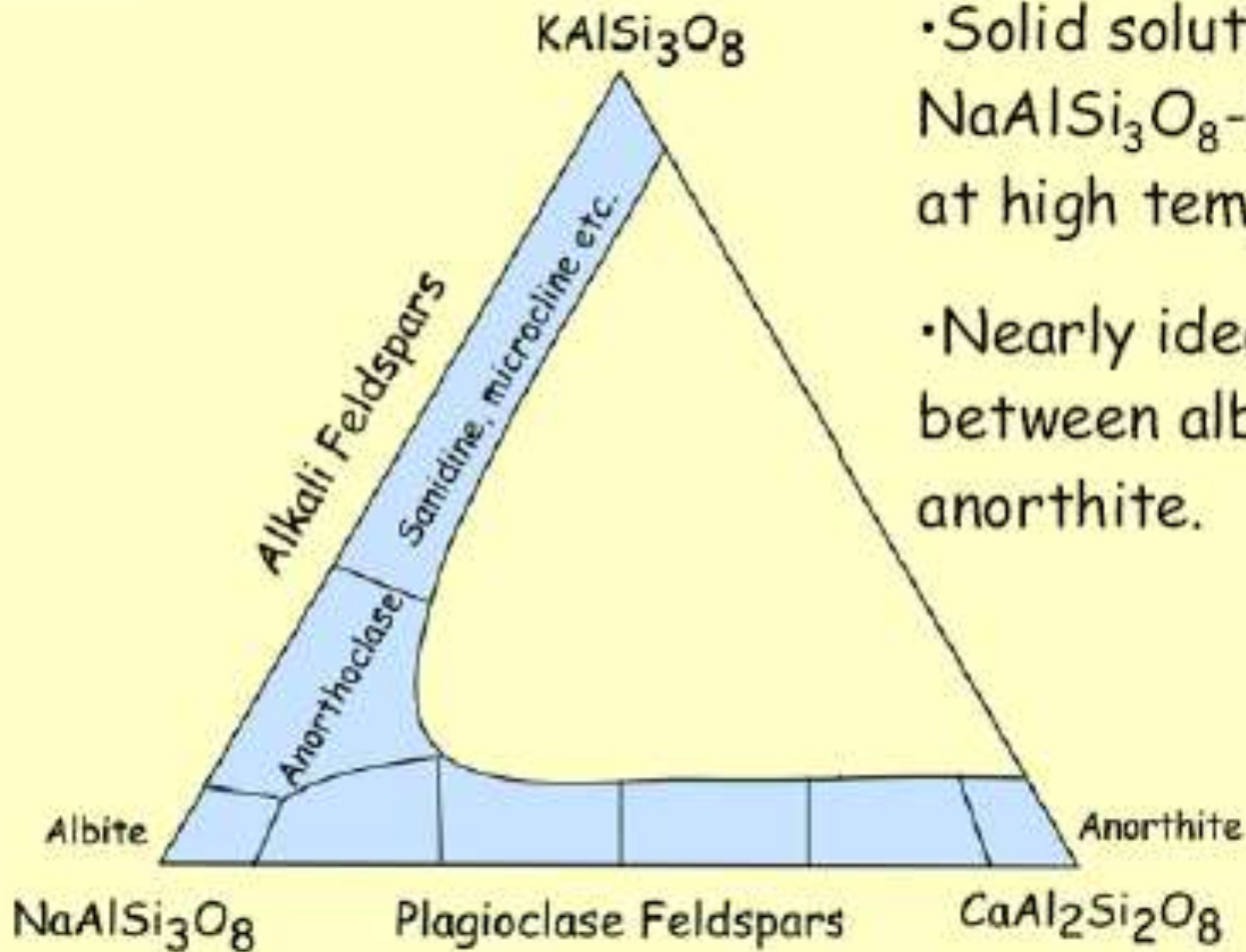
- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4. olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7. hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epidoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3. berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3. piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11. anfibólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5. argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2. quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).



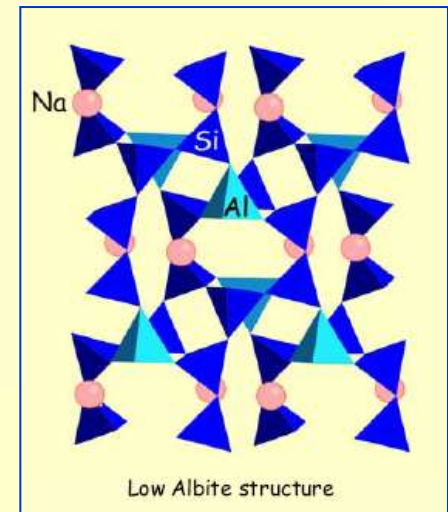
Feldspatos



Feldspar Compositions



- Solid solution between $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 only at high temperature.
- Nearly ideal solid solution between albite and anorthite.





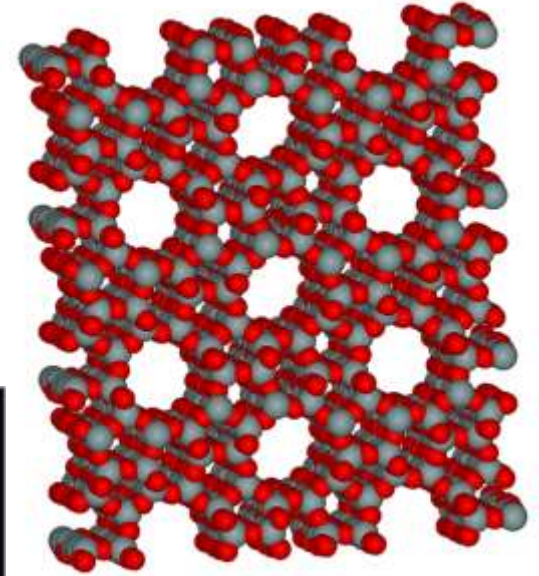
Zeólitas



Natrolita
 $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



ZSM-5
(sintética)



Mordenita
 $(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$





Filossilicatos

Classificação sistemática dos minerais

As espécies minerais conhecidas são agrupadas em classes minerais com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química. James D. Dana (1813-1895) teve papel fundamental na elaboração desta classificação. Assim, tem-se, de maneira simplificada, as seguintes classes, e no caso dos silicatos, as subclasses, seguidas de alguns exemplos e suas fórmulas químicas:

- Elementos nativos: ouro (Au), enxofre (S).
- Sulfetos: galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂).
- Sulfossais: tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), enargita (Cu₃AsS₄).
- Óxidos: gelo (H₂O), hematita (Fe₂O₃), cassiterita (SnO₂).
- Halóides: halita (NaCl), fluorita (CaF₂).
- Carbonatos: calcita (CaCO₃), dolomita [CaMg(CO₃)₂].
- Nitratos: salitre (KNO₃), salitre-do-chile (NaNO₃).
- Boratos: bórax Na₂B₄O₇·10H₂O.
- Sulfatos e cromatos: barita (BaSO₄), gipsita (CaSO₄·2H₂O).
- Fosfatos, arseniados e vanadatos: apatita [Ca₅(F,Cl,OH)(PO₄)₃].
- Tungstos e molibdatos: scheelita (CaWO₄).

Silicatos: Devido a sua grande importância, os silicatos são subdivididos de acordo com o grau de polimerização dos tetraedros SiO₄⁺ e conseqüentemente pela razão Si:O dos ânions:

- tetraedros isolados (nesossilicatos) - Si:O = 1:4. olivina [(Mg,Fe)₂SiO₄], granada, zircão, topázio.
- duplas de tetraedros (sorossilicatos) - Si:O = 2:7. hemimorfita [Zn₄(Si₂O₇)(OH)·H₂O], epidoto.
- anéis de tetraedros (ciclossilicatos) - Si:O = 1:3. berilo [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)], turmalina.
- cadeias de tetraedros (inossilicatos)
 - a) cadeias simples de tetraedros - Si:O = 1:3. piroxênios: enstatita [Mg₂(Si₂O₆)].
 - b) cadeias duplas de tetraedros - Si:O = 4:11. anfibólios: tremolita [Ca₂Mg₅(Si₈O₂₂)(OH)₂].
- folhas de tetraedros (filossilicatos) - Si:O = 2:5. argilominerais (caulinita, esmectita), micas (muscovita, biotita).
- estruturas tridimensionais (tectossilicatos) - Si:O = 1:2. quartzo SiO₂
- feldspatos:
 - a) potássicos: microclínio (KAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈).
 - b) plagioclásios: albita (NaAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈).

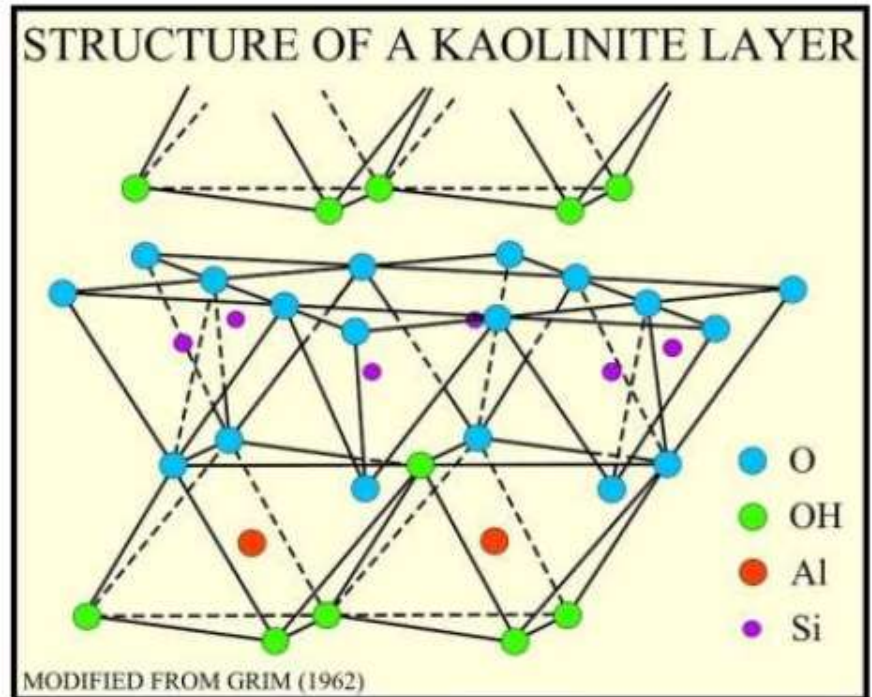


The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks

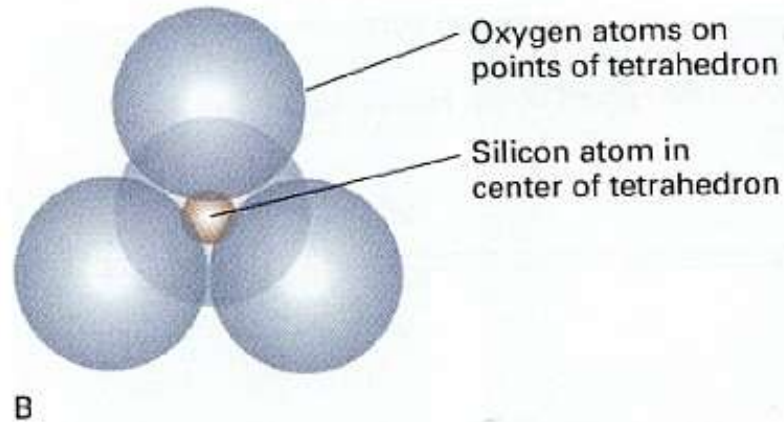
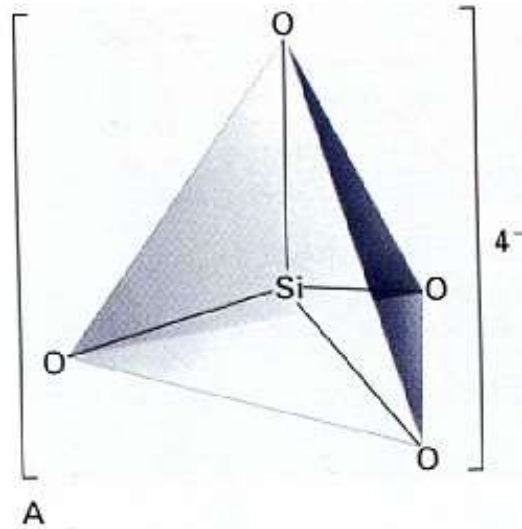
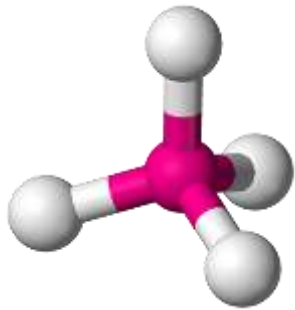
Fundamentals of Clay Mineral Crystal Structure and
Physicochemical Properties

From atomic Sheets to Layers

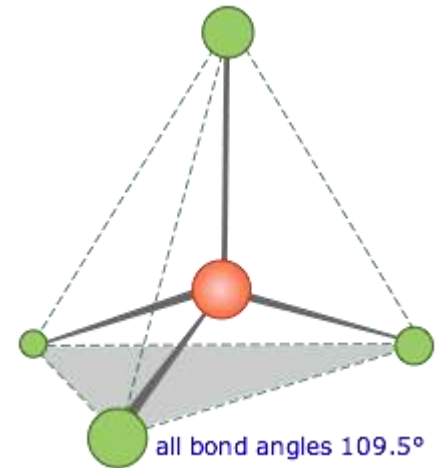
- *Clay minerals, phyllosilicates, are composed of a combination of two types of layer structures which are coordinations of oxygen anions with various cations.*
- *Two types of sheets* are known following the number of anions coordinated with the cations, one of six-fold coordinations (**tetrahedra**) and the other of eight-fold coordination (**octahedral** coordination).



Fundamentos da Estrutura dos Filossilicatos

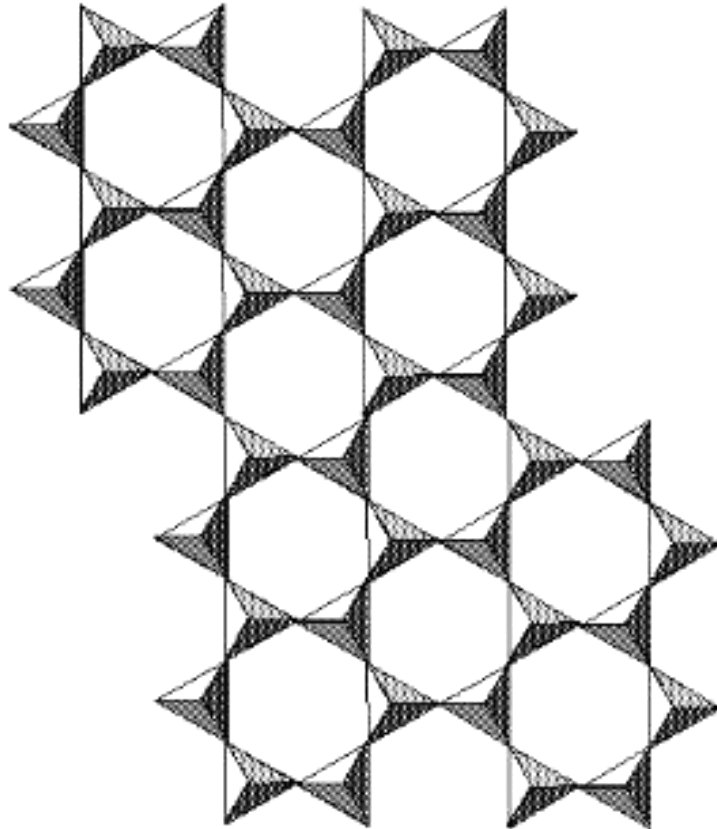


Coordenação Tetraédrica





Folha Tetraédrica



Arranjo na **folha**
tetraédrica:
três vértices
compartilhados; o ***quarto vértice***
fica perpendicular
ao plano

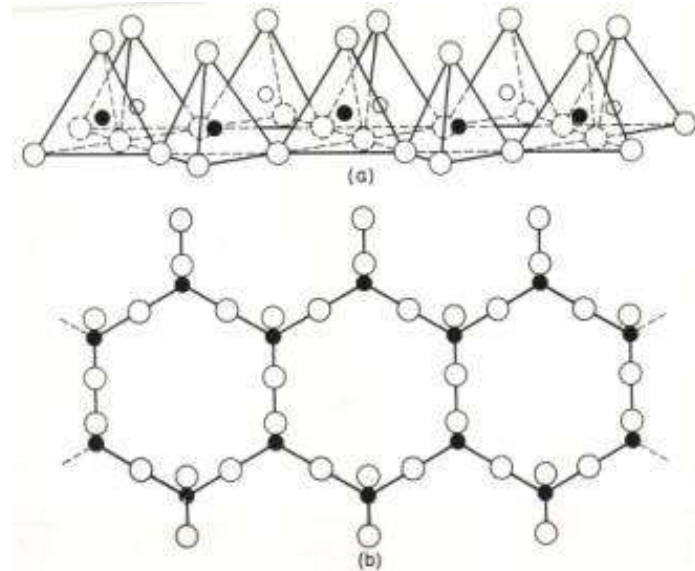
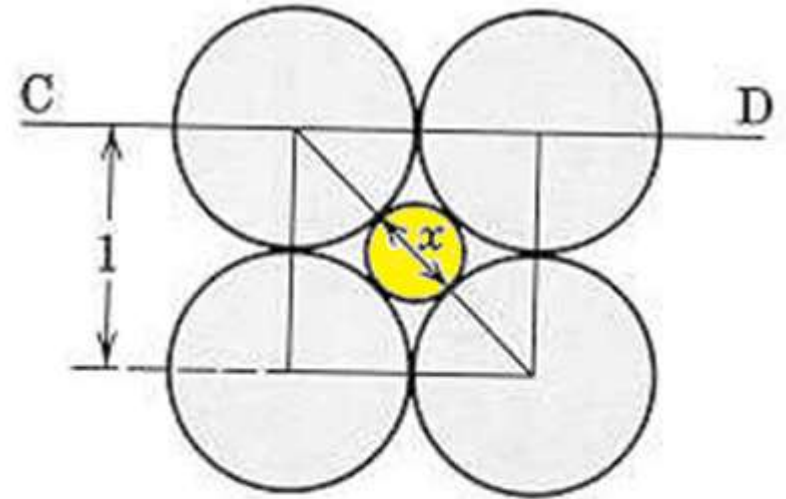
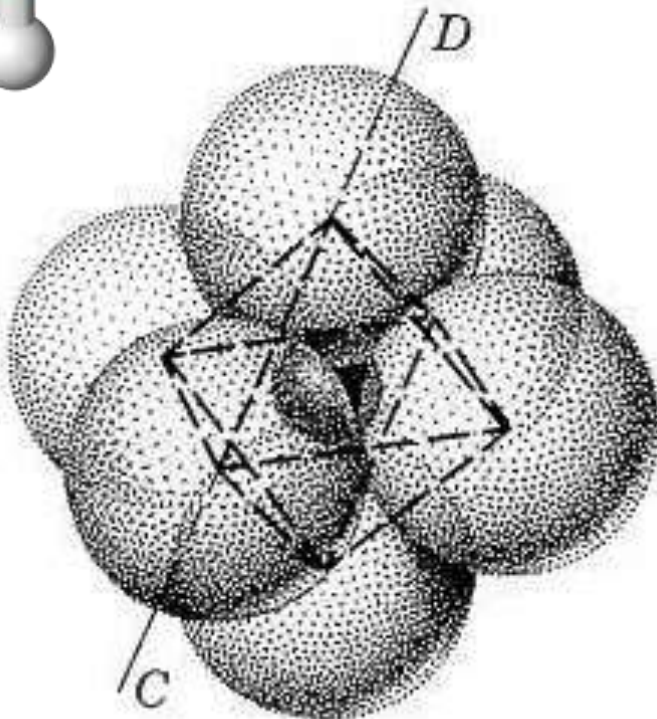
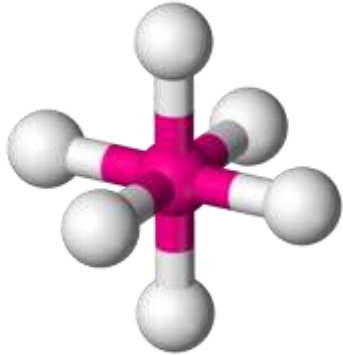


Figure 2: Diagrammatic sketch of sheets of silicon tetrahedra: (a) in perspective; (b) looking down on the tetrahedra, i.e., projected on the plane of the base of the tetrahedra; after Grím, 1968.



Folha Octaédrica

Coordenação Octaédrica

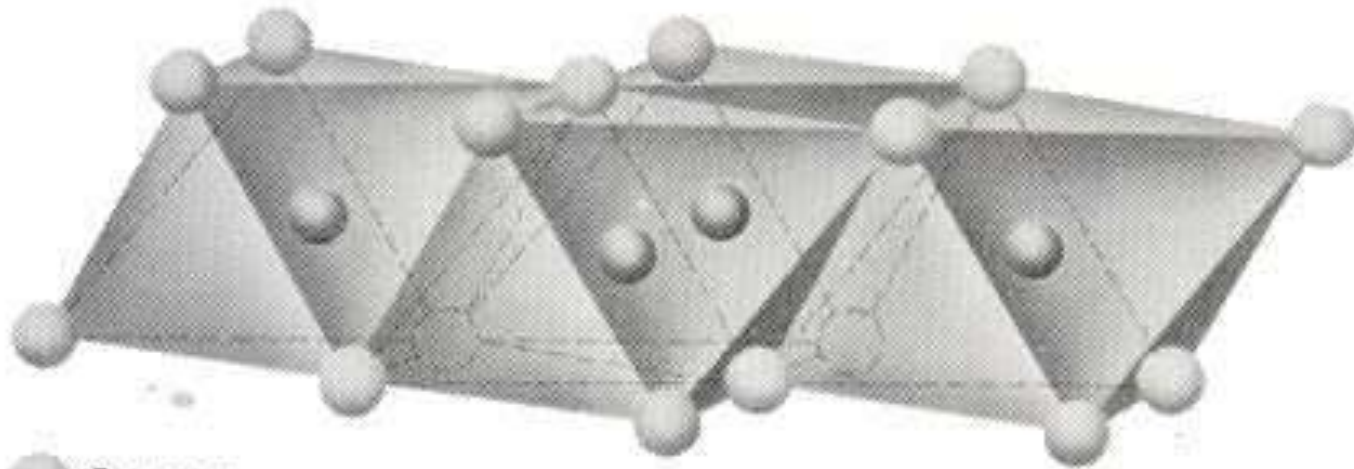


$$\begin{aligned}(1 + x)^2 &= (1)^2 + (1)^2 \\ 1 + x &= \sqrt{2} = 1.414 \\ x &= 0.414\end{aligned}$$



Folha Octaédrica

Infinitely extending sheet of XO_6 octahedra. All octahedra lie on triangular faces.

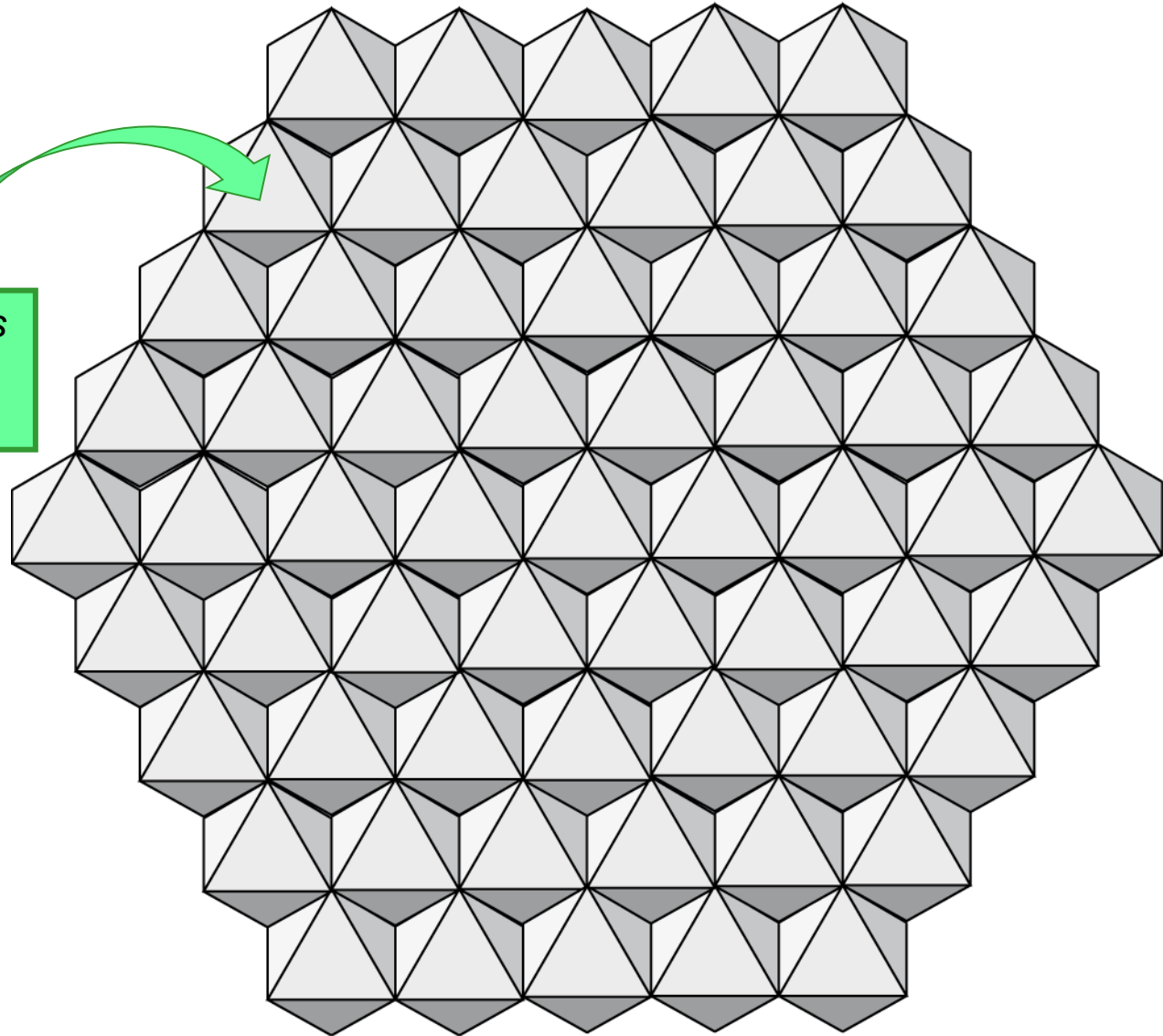


● Oxygen

● Most commonly Mg or Al

Folha Trioctaédrica

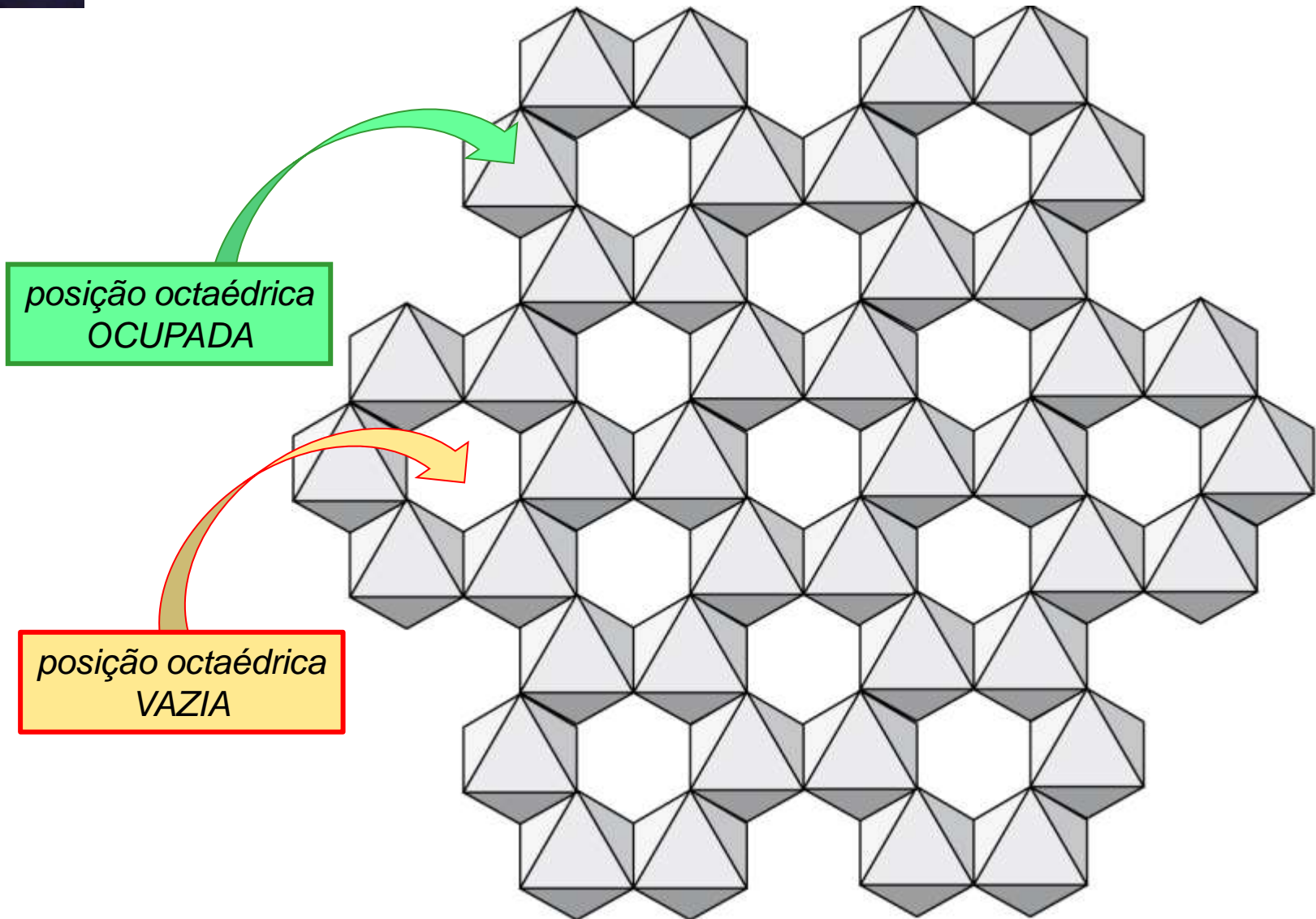
3 em cada 3 posições octaédricas
ocupadas por cátions **divalentes**



*TODAS as posições
octaédricas
OCUPADAS*

Folha Dioctaédrica

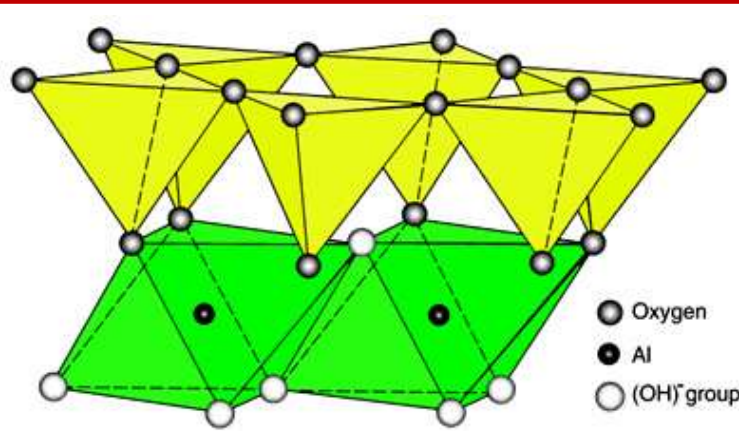
2 em cada 3 posições octaédricas ocupadas por cátions trivalentes



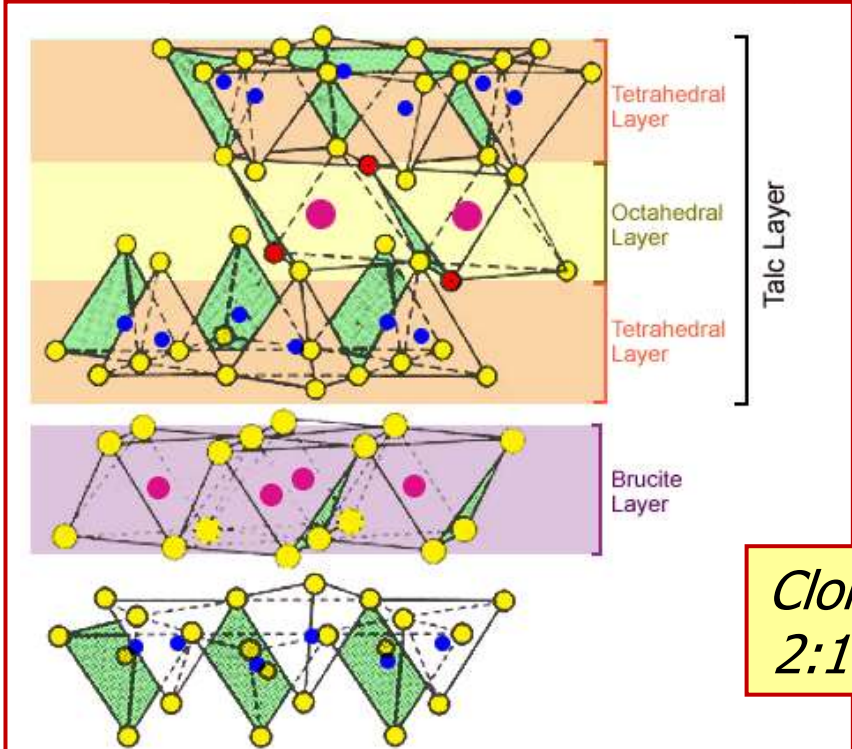
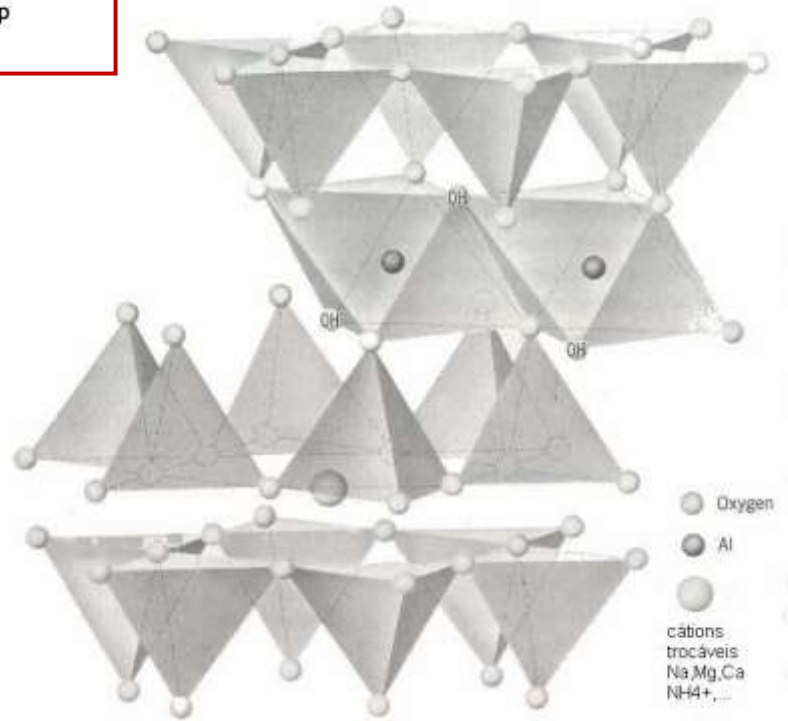


Exemplos de Filossilicatos

Caulinita
1:1



Esmectita
2:1

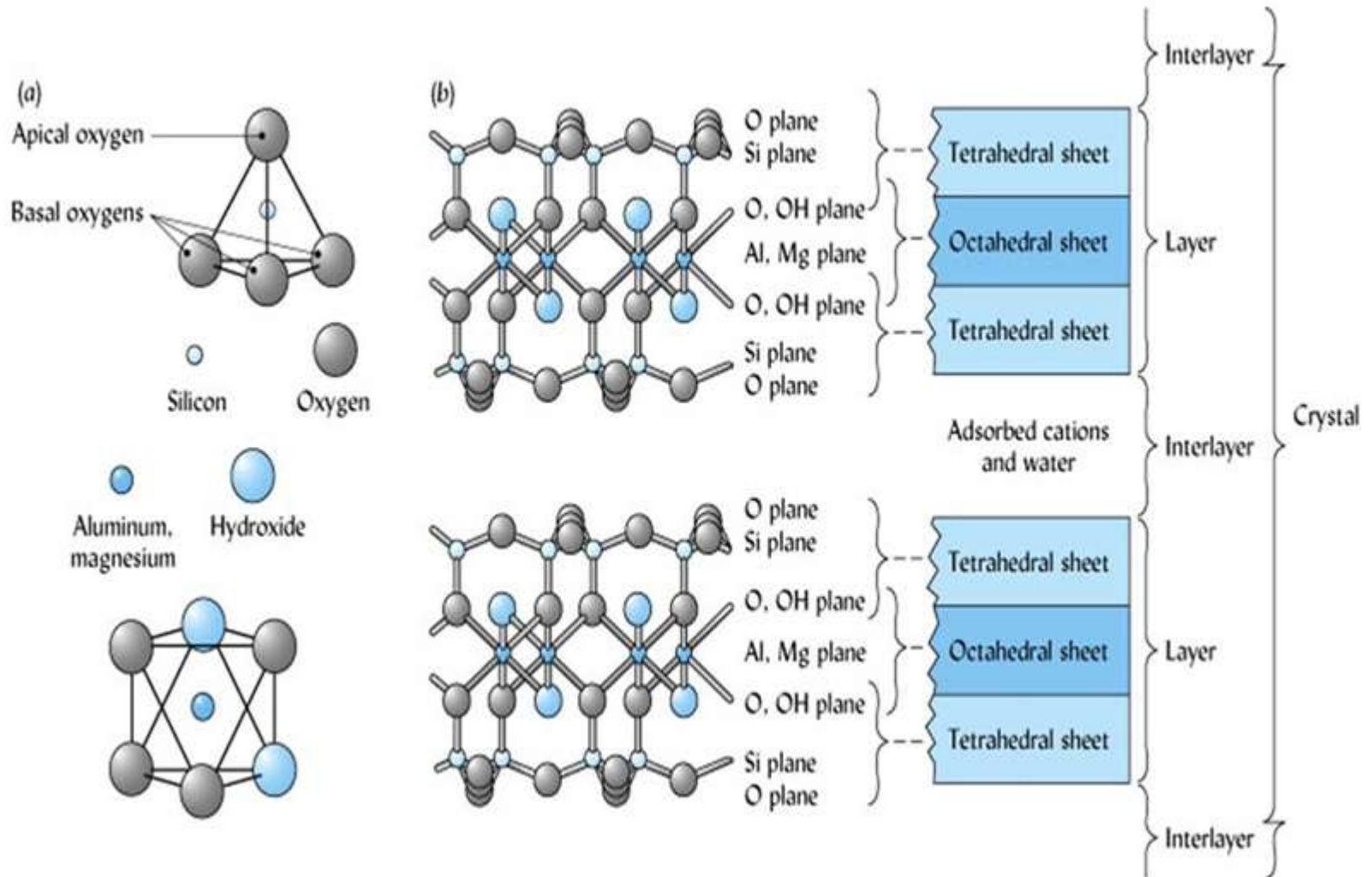


Clorita
2:1:1



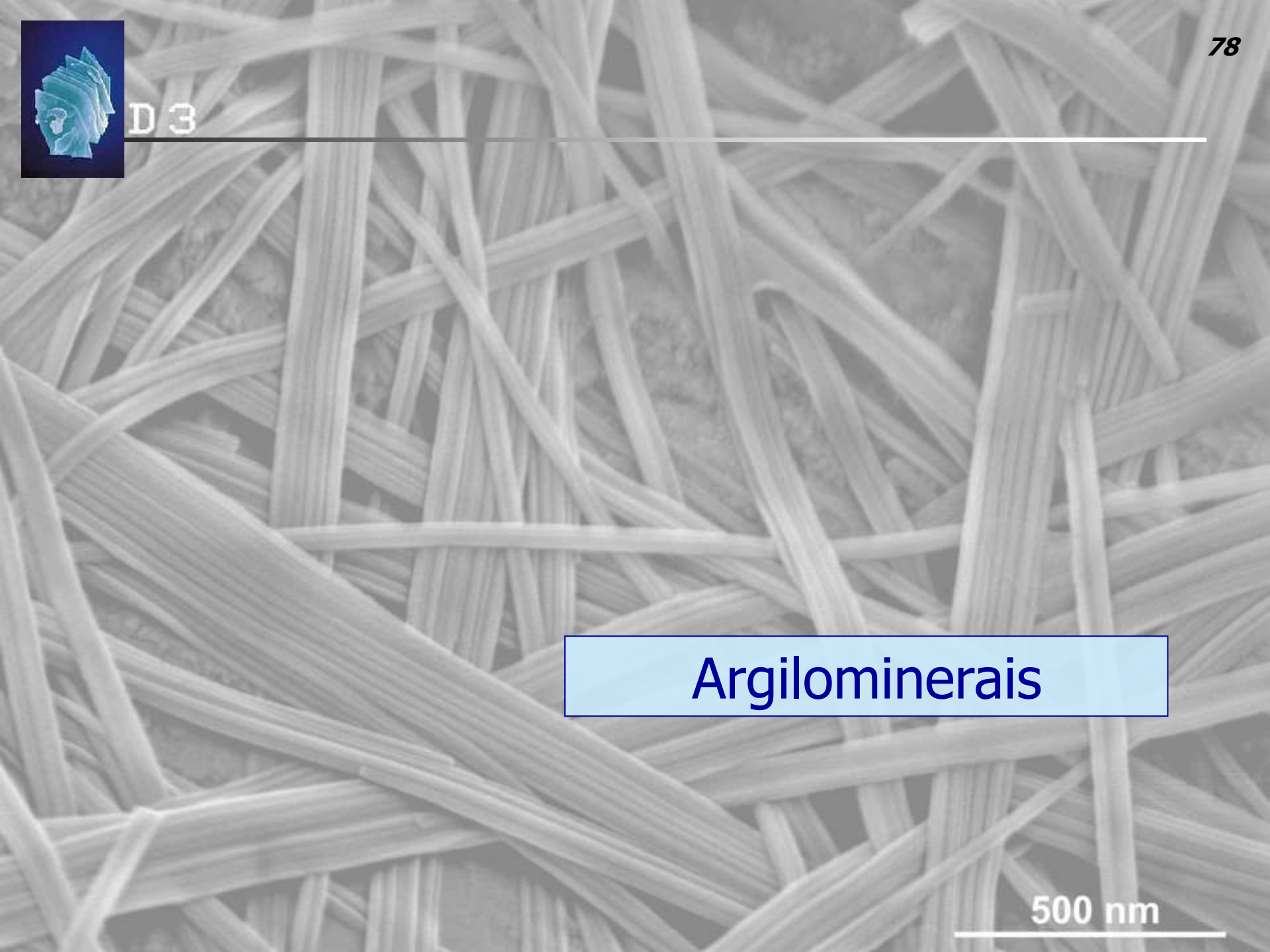
Filossilicatos

folha (tetraédrica, octaédrica) → **camada** (1:1, 2:1) → **crystal** (empilhamento camada + Interlamelar)





D3



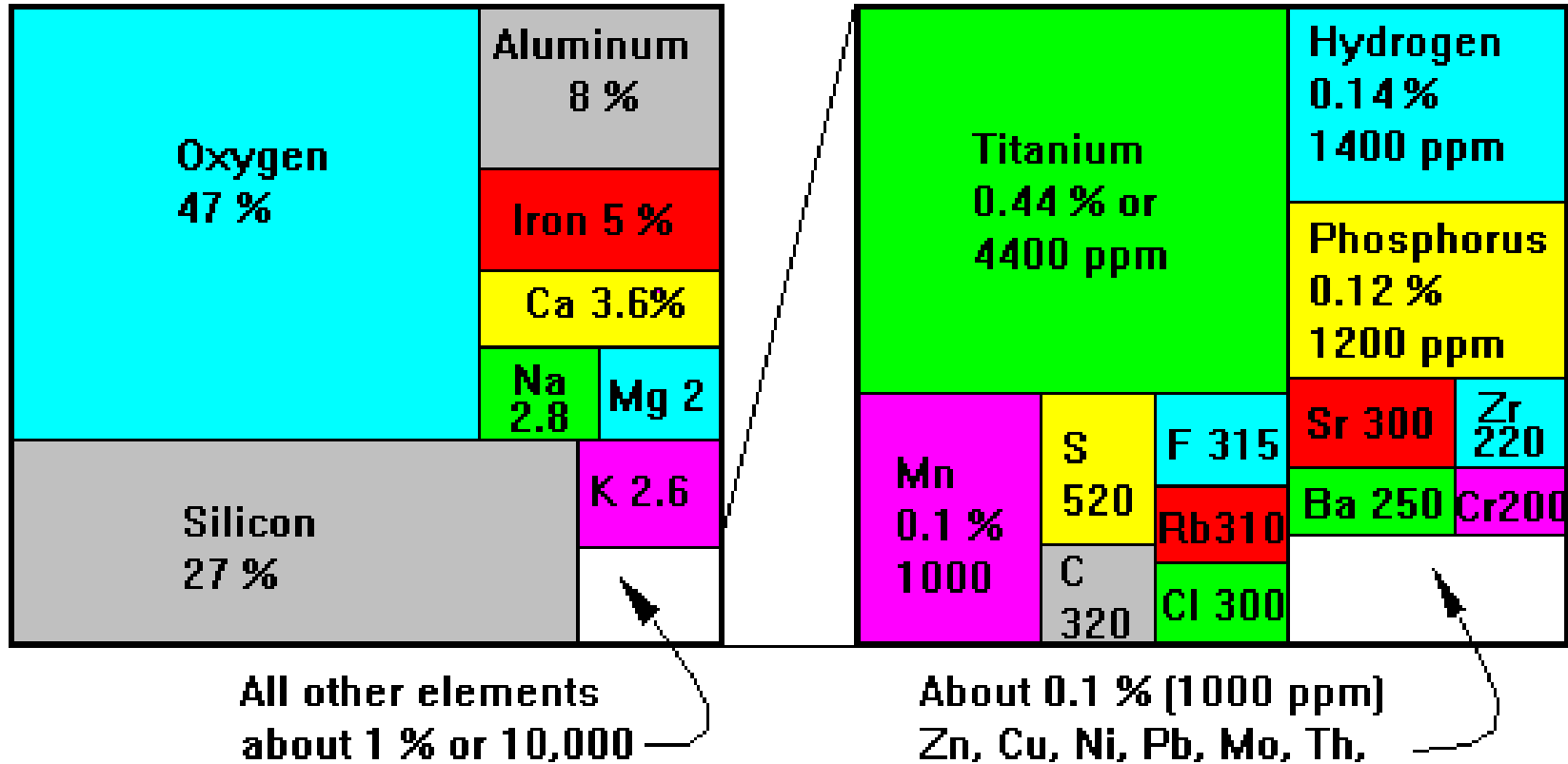
Argilominerais

500 nm



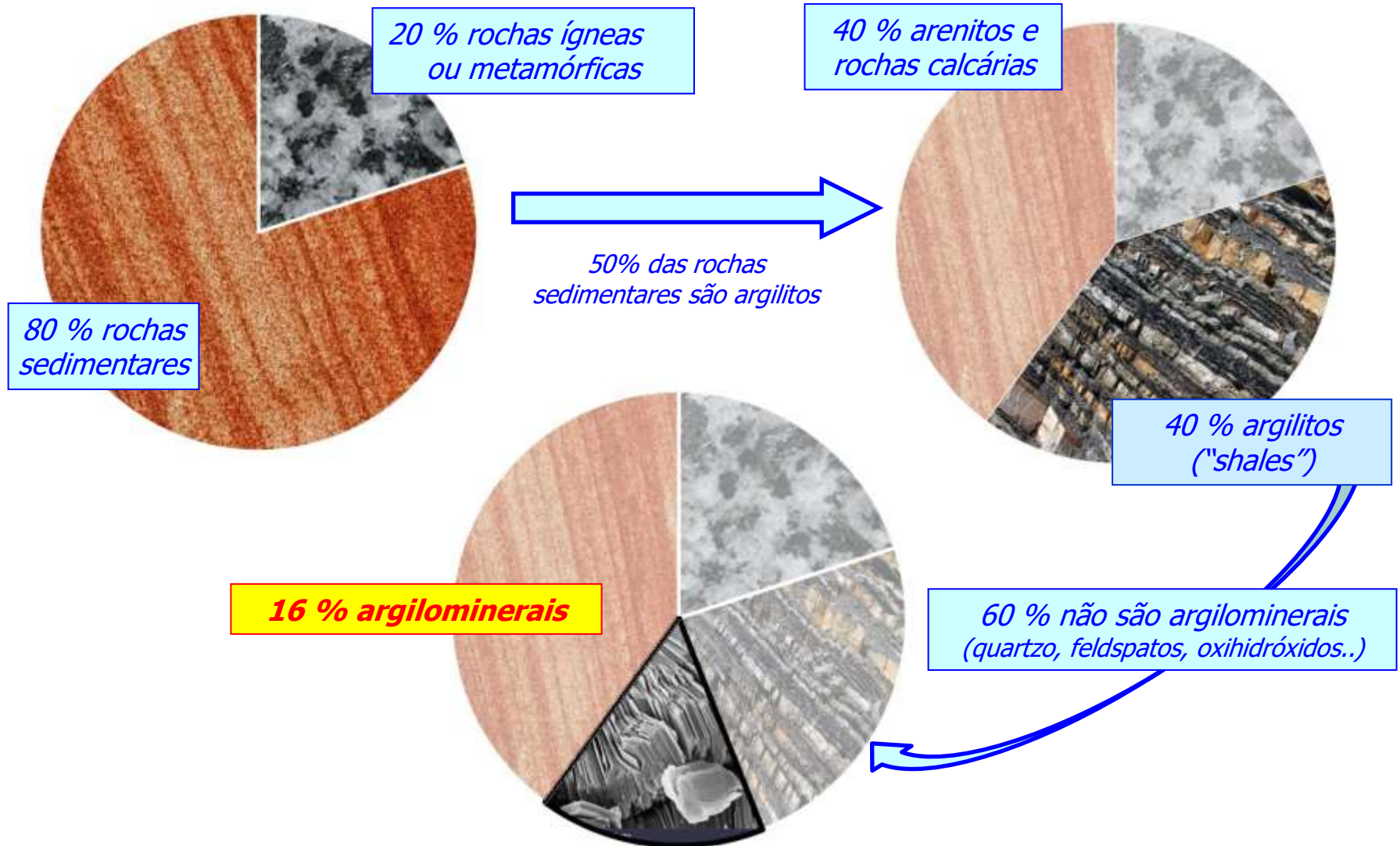
Argilominerais são abundantes?

Chemistry of Continental Crust by Weight





de todas as rochas da superfície terrestre (os primeiros 20 km),
em % volumétrica ...





Argilominerais : Definições

- **Argilominerais** pertencem à família dos filossilicatos; contém folhas tetraédricas bidimensionais contínuas com os tetraedros ligados por três vértices comuns e com o quarto vértice apontado para qualquer direção. As folhas tetraédricas estão ligadas, na unidade estrutural, a folhas octaédricas.
- Definição da AIPEA

Clay Mineral

Definition

The term “clay mineral” refers to phyllosilicate minerals and to minerals which impart plasticity to clay and which harden upon drying or firing.

AIPEA Newsletter, fevereiro 1996



■ *Definição PSS*

- Argilominerais são silicatos hidratados com a estrutura cristalina em camadas (filossilicatos), constituídos por folhas contínuas de tetraedros SiO_4 , ordenados de forma hexagonal, condensados com folhas octaédricas de hidróxidos de metais di e trivalentes.
- Os argilominerais são essencialmente constituídos por partículas (cristais) de pequenas dimensões, geralmente abaixo de $2 \mu\text{m}$.



Clay Minerals

- **Clays** and **clay minerals** represent the youngest members of the family of minerals in the earth's crust.
 - Being formed from different parent rocks under variable conditions, clay minerals vary **in chemical composition, structure,** and modes of **occurrence.**
- **Clay minerals** are **irregularly distributed** in the lithosphere,
 - ...while their concentration steadily increases due to **weathering** and/or **hydrothermal** alteration.
- **Clay minerals** in nature also undergo spontaneous modification and transformation as environmental conditions change.
 - These processes are driven by **physical, chemical,** and **biological** forces, including **anthropogenic** effects.
- **Natural clays** are highly **heterogeneous in composition** and, almost invariably, contain 'impurities' in the form of associated minerals and X-ray amorphous materials.



Clay Minerals

- The mineralogical composition of clays is also influenced by **particle size**.
 - The **fineness** of clays predetermines both their **vulnerability** and **reactivity**.
- By the same reason, clay particles are **sensitive** to **mechanical** and **chemical** treatments. (*and also thermal treatments...*)

- The two main features that evoke interest in **clays** are:
 - their common **availability** ;
 - their extraordinary **properties** .
- **Clay minerals** are
 - **naturally** occurring **nanomaterials**,
 - **abundant**,
 - **inexpensive**,
 - and **environmental friendly**.



Clay Minerals

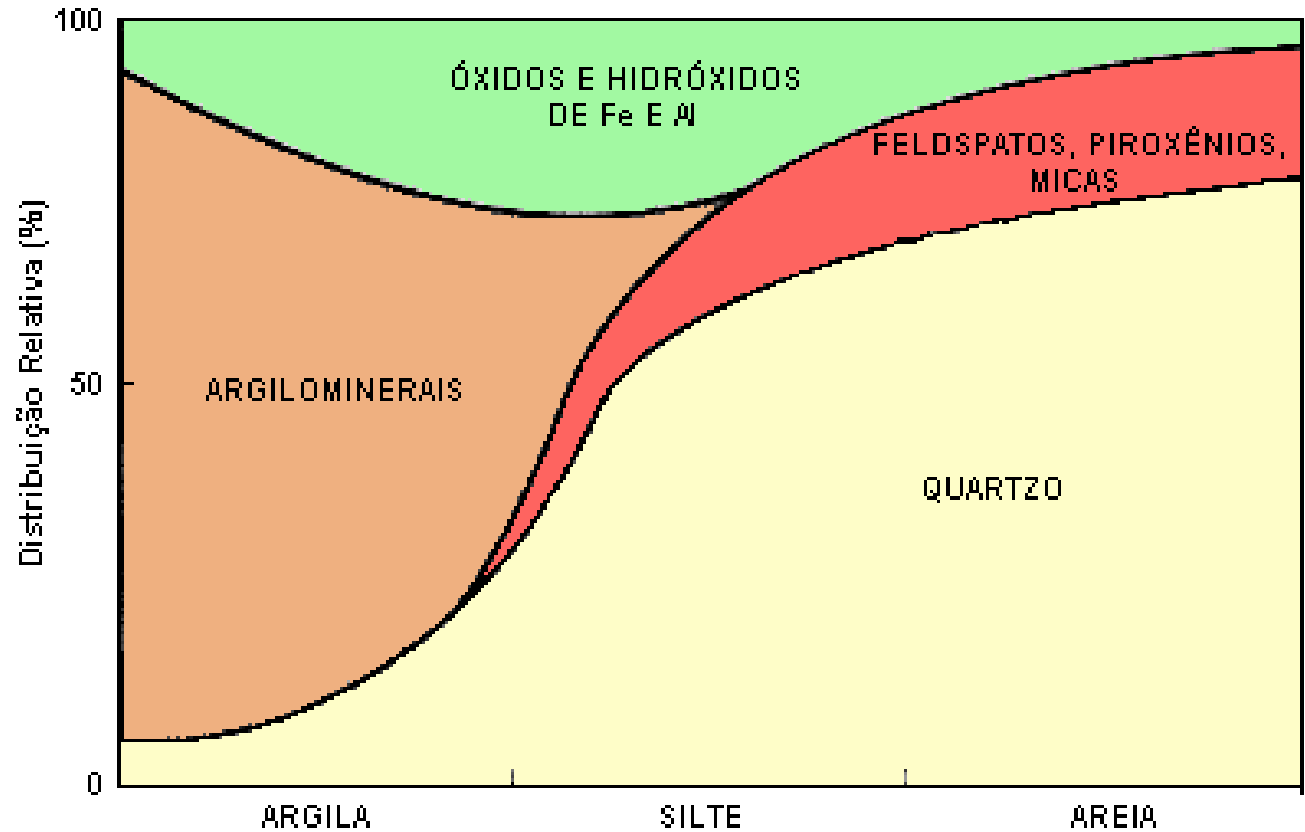
- Even if the reasons for **small crystal size** which are constantly observed are not fully understood at present, it is certainly the **major characteristic** of surface clay minerals.
- Because **small size** induces **very great crystal surfaces**, most of the remarkable **chemical and physical properties of clay minerals** are related to **surface interactions**.
 - This was discovered very early during the first ages of human technical development: the **plasticity** of water-clay mixtures which was exploited during the Neolithic period for the production of pottery.
- Soils, and consequently clay minerals, are the support of the most fundamental activities of mankind: agriculture, ceramics and housing.
 - Even today about 40% of the Earth's inhabitants live in dwellings composed in part by earth, i.e. clay assemblages with other materials.



Minerais dos Solos

Distribuição relativa dos principais minerais nas diferentes frações granulométricas

(frações definidas segundo a Ciência dos Solos)



ARGILA	SILTE	AREIA		CASCALHO
		Fina	Grossa	
0,002	0,02	0,2	2,0	(mm)

(diâmetro das partículas; escala logarítmica)



Argilas



Argilas : Definição da AIPEA

Clay

Definition

The term “clay” refers to a naturally occurring material composed primarily of fine-grained minerals, which is generally plastic at appropriate water contents and will harden when dried or fired. Although clay usually contains phyllosilicates, it may contain other materials that impart plasticity and harden when dried or fired. Associated phases in clay may include materials that do not impart plasticity and organic matter.

AIPEA Newsletter, fevereiro 1996



Argilas

- **Argilas naturais** são rochas → agregados de um ou de mais de um mineral.
 - Existem vários tipos de argila, com nomes diferentes.
 - Existem vários tipos de minerais nos diversos tipos de argilas:
 - argilominerais (clay minerals; mineraux d'argiles; ton mineralien);
 - outros minerais associados que não são contados dentro dessa categoria (*tais como calcita, dolomita, gipsita, quartzo, pirita, goethita e hematita*), bem como matéria orgânica (*ácidos húmicos, por exemplo*) e outros minerais associados menos comuns.
- As argilas se apresentam comumente na forma de agregados de partículas de seus minerais constituintes que se dispersam de forma relativamente fácil.
 - Podem também ocorrer na forma de rocha maciça → **argilito** .



Argilas : Definições Tecnológicas

- A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa **plasticidade** (por plasticidade entende-se de modo amplo a propriedade do material úmido poder ser deformado, sem se romper, pela aplicação de uma tensão, sendo que a deformação permanece quando a tensão aplicada for retirada).
- **Quimicamente**, são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio.
- Possuem elevado teor de partículas de **diâmetro equivalente abaixo de $2\mu\text{m}$** .
- Geralmente são **plásticas** quando em pó e umedecidas.
 - *Há exceções: "flint-clay" não é plástica...*



- Após secagem, são geralmente duras e rígidas, e após queima em uma temperatura elevada adquire elevada dureza.
- Possuem **capacidade de troca de cátions** entre 3 e 150 meq/100g (ácidos orgânicos apresentam capacidade de troca de cátions dentro dessa faixa).

Definição "tecnológica" - PSS

- Argila é um material mole constituído essencialmente por aglomerados e/ou agregados de argilominerais e outros minerais chamados acessórios ou impurezas.
 - As argilas são pós, naturalmente compactados ou soltos; as partículas de argilominerais raramente tem dimensões macroscópicas.
- **"Princípio de Grim"** : *os argilominerais são os componentes "ativos" das argilas e, portanto, são as propriedades dos argilominerais que definem as propriedades tecnológicas das argilas.*



Clays

- **Clays play an important part in everyday life**, from the white-coated paper on which we write to the confinement of hazardous waste storage, from cosmetics to pneumatics, from paints to building materials.
- These small, flat minerals actually **interface widely** with their surrounding environment.
- They :
 - **absorb**,
 - **retain**,
 - **release**,
 - and **incorporate** into their lattice a great variety of ions or molecules.



Clays

- Their **huge external surface area** (as compared with their volume) makes them first-class materials for catalysis, retention of toxic substances or future supports for composites.
- Clays are made up of **particles that form stable suspensions in water**. These suspensions have long served in drilling applications or tunnel piercing techniques.
- Suspended clays flow as liquids, thereby both helping to shape manufactured products such as ceramics, but also causing tragic mud flows, lahars or landslides.
- ***Clays alone form an entire world in which geologists, mineralogists, physicists, engineers, chemists... find extraordinary subjects for research.***
- ***...e é aí que mora um problema, e também uma oportunidade de colaborações : gente muito diversa, com diferentes backgrounds e diferentes linguagens e enfoques...***



Nomenclatura das Argilas

- As argilas podem ter **nomes tradicionais**, às vezes locais.
 - Exemplos: taguá; massapê
- As argilas com importância econômica são as chamadas **argilas industriais** e **argilas especiais**.
- Muitos dos nomes utilizados internacionalmente não são baseados nos critérios de nomenclatura padronizada.
 - Exemplos: caulim (kaolin); talco (talc)
- A definição de nome, normalmente, segue o hábito da aplicação tecnológica.
- **Os nomes são escritos na língua de cada país**
 - kaolin = caulim (também caolim no Brasil; caolino em Portugal)
 - bentonite = bentonita (bentonite em Portugal)
- Às vezes, é mantido o nome original, sem tradução
 - Exemplos: "ball clay"; "flint clay"



Table 1.1. Current names of clays

Current names of clays	Origin ^a	Main clay mineral constituents	Remarks
Ball clay	Sedimentary	Kaolinite	Highly plastic, white burning (Grim, 1962)
Bentonite	Volcanic rock alteration or authigenic	Montmorillonite	
Bleaching earth	Acid-activated bentonite	Decomposed montmorillonite	
Common clay	Sedimentary or by weathering	Various, often illite/smectite mixed-layer minerals	General for ceramics excluding porcelain
China clay	Hydrothermal	Kaolinite	Kaolins from Cornwall plastic, white burning
Fire clay	Sedimentary	Kaolinite	Plastic, high refractoriness (Grim, 1962)
Flint clay	Sedimentary with subsequent diagenesis	Kaolinite	Non-slaking, not plastic, used for refractories (Grim, 1962; Keller, 1978, 1981, 1982)
Fuller's earth	Sedimentary, residual, or hydrothermal	Montmorillonite, sometimes palygorskite, sepiolite	
Primary kaolin	Residual or by hydrothermal alteration	Kaolinite	
Secondary kaolin	Authigenic sedimentary	Kaolinite	
Refractory clay	Authigenic sedimentary	Kaolinite	With low levels of iron, alkali and alkali earth cations for refractories (Grim, 1962)
Laponite	Synthetic	Hectorite-type smectite	
Nanoclay		Mostly montmorillonite	Superfluous term for clays used for nanocomposites

Nomenclatura das Argilas

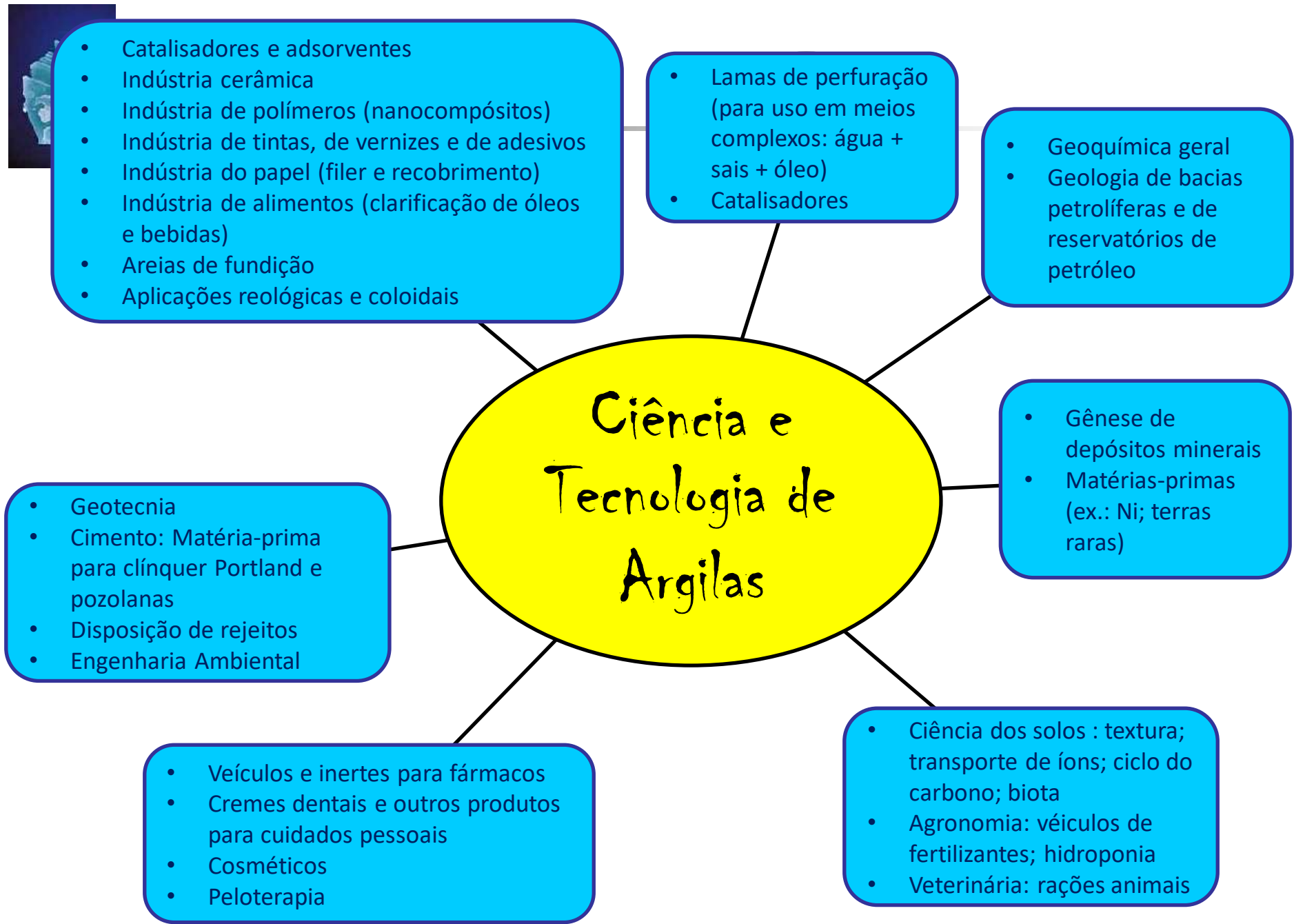


Ciência e Tecnologia de Argilas



Clay Science

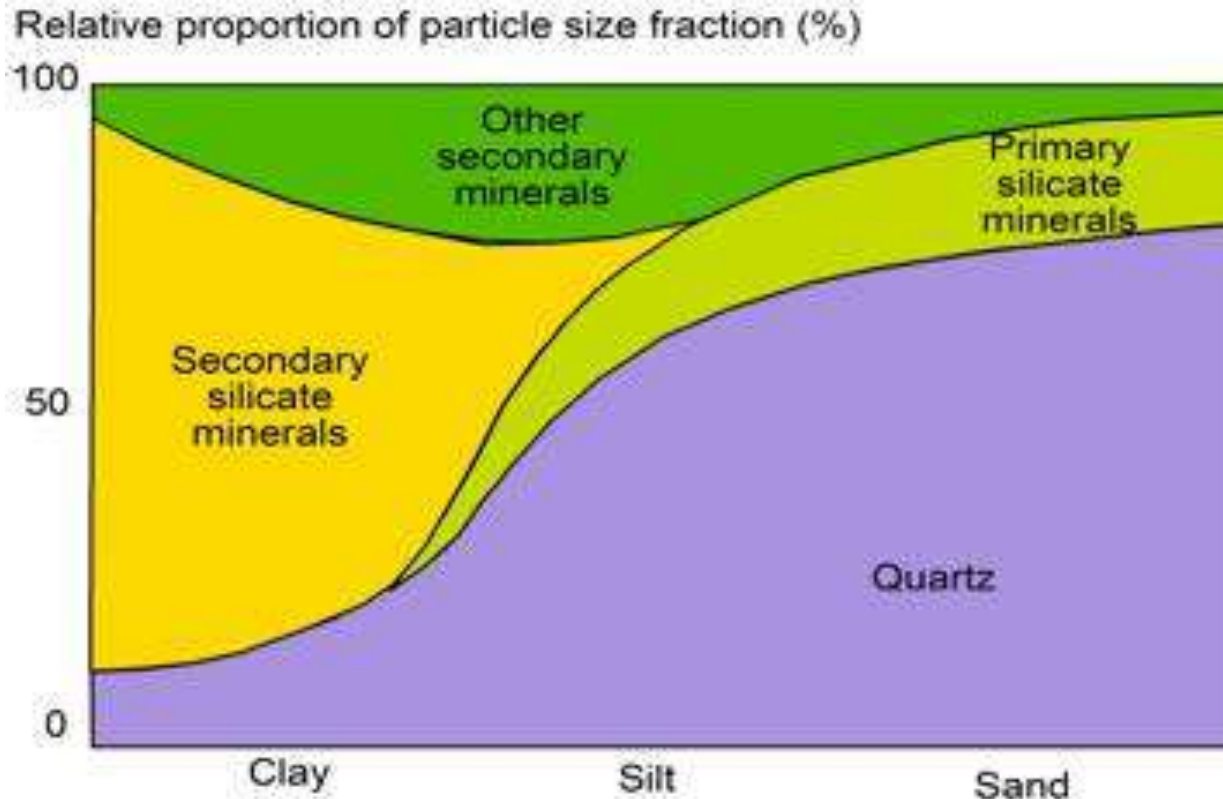
- **Clay science** has emerged after a few millennia of clay use and a century-long accumulation of written information about clays and clay minerals.
 - Archaeological research has indicated that the first use of clays by humans coincided with ancient agrarian settlements.
 - Over time, empirical technology has been systematically converted into scientific procedure based on sound theoretical principles.
 - If the general knowledge about clay and its use have ancient roots, the scientific study of clay (i.e. 'clay science') is a relatively recent discipline, dating back only to the mid-1930s.
- **Clay science** is a multidisciplinary endeavour, combining geology, mineralogy, crystallography with physics, geotechnology, and soil mechanics together with inorganic, organic, physical, and colloid chemistry.





Tecnologia de Argilas

- Os principais minerais numa argila → filossilicatos → “minerais de argila” ≡ *argilominerais* .
- Em ocorrências naturais, é impossível ter argilas 100% puras, sem minerais acessórios (quartzo, feldspato, hematita,...) → argila = argilominerais + minerais acessórios (em % variáveis)





Tecnologia de Argilas

- Os principais minerais numa argila → filossilicatos → “minerais de argila” ≡ *argilominerais* .
- Em ocorrências naturais, é impossível ter argilas 100% puras, sem minerais acessórios (quartzo, feldspato, hematita,...) → argila = argilominerais + minerais acessórios (em % variáveis)
- Existe uma grande gama de propriedades nas argilas, dada por toda uma gama de composições, tanto químicas, quanto mineralógicas, e de distribuições granulométricas → *grande gama de propriedades* → *grande gama de aplicações* .



Tecnologia de Argilas

- Tecnologia de Argilas
 - Utilização das diferentes propriedades das argilas em diferentes aplicações.
- Propriedade Fundamental
 - Pelo seu **processo de formação**, os argilominerais apresentam naturalmente dimensões micrométricas.
 - ...ou seja, nas argilas existem naturalmente partículas extremamente finas → geralmente abaixo de peneira ABNT #325 (44 μ m).
- Vantagem
 - Normalmente não é necessário moer por longo tempo uma argila (moagem = operação que gasta muita energia e desgasta equipamentos).



Minerais Acessórios

- Conforme a utilização, se retira ou não os minerais acessórios.
- Exemplo:
 - Caulim para **papel** : deve ser constituído de caulinita, com o teor mais próximo de zero % possível de quartzo.
 - Caulim para **cerâmica vermelha** : pode ter teores de minerais acessórios (quartzo, hematita, por exemplo) sem grandes problemas.
 - Caulim para **porcelana** : não tem grandes problemas com o quartzo, mas minerais acessórios contendo ferro são indesejáveis → problema com cor.



Minerais Acessórios

- Tirar os minerais acessórios pode ser mais simples, ou menos simples...
 - Se os minerais acessórios se apresentam na forma de partículas grandes, é relativamente fácil.
 - Se os minerais acessórios se apresentam na forma de partículas pequenas, pode ser muito difícil, ou mesmo tecnicamente difícil, ou mesmo economicamente inviável.



Referências

- Bergaya, F.; Lagaly, G. (Eds.) – Handbook of Clay Science. 2ª Ed. Developments in Clays Science vol.5. Elsevier. Amsterdam. 2013. Cap. 1.
- Schroeder, P.A. Clays in the Critical Zone. Cambridge University Press. 2018. Cap. 1.
- Meunier, A. – Clays. Springer-Verlag. Berlim. 2005. Cap. 1.
- Velde, B. (Ed.) – Origin and Mineralogy of Clays. Springer-Verlag. Berlim. 1995. Cap. 1.
- Velde, B.; Meunier, A. – The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks. Springer-Verlag. Berlim. 2008. Cap. 1.
- Souza Santos, P. – Ciência e Tecnologia de Argilas. 2ª Ed. Edgard Blucher. São Paulo. 1989. Caps. 1-2.
- Gomes, C.S.F. – Argilas, o Que São e Para Que Servem. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1988.
- ...na web: Curso “ GEOL 8550 Clay Mineralogy”, Dr. Paul Schroeder, University of Georgia , < <http://clay.uga.edu/courses/index.html> >.
- ...na web: livro gratuito de Química Geral: Principles of General Chemistry, < <https://2012books.lardbucket.org/> >