

A close-up photograph of a soil profile. A silver pen is positioned vertically on the left side of the frame, pointing towards a distinct, lighter-colored, and more granular soil layer. The surrounding soil is darker, more compact, and shows signs of horizontal layering or stratification. The text 'LS00410' is overlaid in the upper right area of the image.

LS00410

Gênese, morfologia e classificação de solos

Yuri Parra Castilho – 2023

Sumário

- I. Revisão geologia
- II. Geologia aplicada à solos
- III. Discussão e dúvidas



Parte I

Revisão de geologia

Definição de “mineral”

- A. *Naturally occurring*. Ocorrem naturalmente, i.e. não são produzidos em laboratório.
- B. *Solid state*. Líquidos e gases não podem ser minerais.
- C. *Ordered atomic arrangement*. Apresenta estrutura interna ordenada, com padrões 3Ds repetidos.
- D. *Definite **BUT NOT FIXED** chemical composition*. Os minerais possuem razões cátions : ânions fixas, mas seus componentes podem mudar.

Ex: olivina $(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_2 \text{SiO}_4$. Substituições dependem da carga e do raio iônico dos elementos.

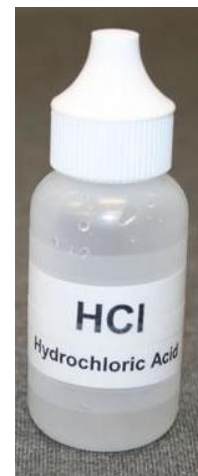
- E. *Formed by inorganic processes*. Formados por processos inorgânicos.

Propriedades dos minerais e ferramentas

- Hábito
- Estado de agregação
- Cor
- Brilho
- Cor do traço
- Dureza
- Solubilidade em HCl
- Magnetismo
- Radioatividade
- Clivagem
- Gravidade específica
- Fluorescência

Observação

- Porcelana
- Canivete, riscador, escala de Mohs
- HCl
- Ímã
- Contador Geiger
- Martelo
- Balança + água
- Luz UV



Grupos de minerais

Seu agrupamento é feito com base no ânion ou grupo aniônico, quando aplicável. Ex: Sulfetos (S^{2-}); Silicatos (SiO_4)⁴⁻.

Atualmente são conhecidos em torno de 4.150 minerais:

- 1.140 silicatos (27%)
- 624 sulfetos e sulfossais (15%)
- 458 fosfatos (11%)
- 411 óxidos e hidróxidos (10%)
- 234 carbonatos (6%)
- 90 elementos nativos (2%)

87 minerais considerados como “formadores de rocha”.

• Native elements	Au, Cu, Pt
• Sulfides	ZnS, FeS ₂ , CuFeS ₂
• Sulfosalts	Cu ₃ AsS ₄ , Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
• Oxides	Al ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , TiO ₂
• Hydroxides	Mg(OH) ₂ , FeO(OH)
• Halides	NaCl, KCl, CaF ₂
• Carbonates	CaCO ₃ , CaMg(CO ₃) ₂
• Phosphates	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)
• Sulfates	CaSO ₄ ·2 H ₂ O
• Tungstates	CaWO ₄
• Silicates	Mg ₂ SiO ₄ , Al ₂ SiO ₅

Definição de “rocha” e algumas características

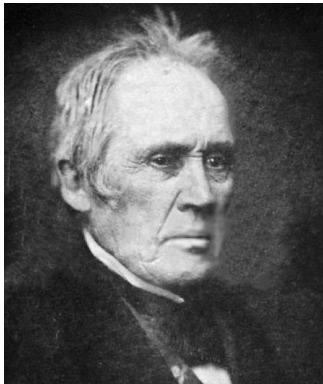
- I. *A rock is simply a naturally occurring consolidated mixture of minerals. In rare cases it may include amorphous material such as volcanic glass or coal, which do not fit the definition of a mineral.*
- I. *Uma rocha é um agregado de minerais de ocorrência natural. Em casos raros, podem incluir material amorfo como vidro vulcânico ou carvão, que não entram na classificação de minerais.*
- II. *The way in which individual mineral grains are intergrown in a rock is referred to as **texture***
- II. *A forma como cada grão|cristal se posiciona em relação aos seus vizinhos se chama **textura** da rocha.*
- III. *Larger-scale features, which commonly reflect uneven distributions of minerals such as compositional layering, are referred to as **structure**.*
- III. *Feições de larga escala, que geralmente expressam distribuições heterogêneas de minerais (e.g., bandamento composicional) se chama **estrutura** da rocha.*

Nomenclatura de rochas e minerais

Muito associado a região ou local onde foi primeiro descrito, a características físicas do material, ou pessoas.

Ex: *garnet* do Latin *Punica granatum* (romã); *sillimanite* (Benjamin Silliman); *andaluzite* (Andaluzia).

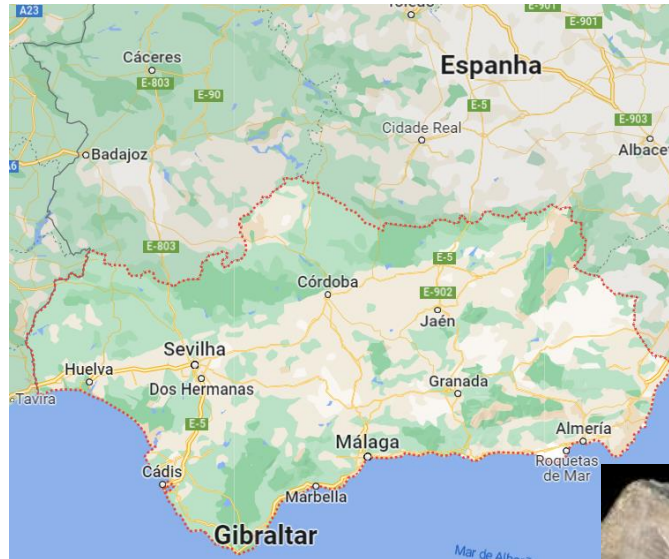
A partir de 1959, a *Commission on New Minerals and New Mineral Names* da *International Mineralogical Association* vem buscando controlar e padronizar a nomenclatura de novas descobertas.



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Benjamin_Silliman2.jpg



<https://www.mindat.org/min-3662.html>



https://sites.google.com/site/pomagicstones/_/rsrc/1315834560613/ass-pedras/minerais-egemas/andaluzite/pedra_andaluzite.jpg



<https://p2.trrsf.com/image/fget/cf/774/0/images.terra.com/2023/01/01/1606395936-romajpg.jpg>



Nomenclatura de rochas e minerais

Albita
Augita
Basalto
Biotita
Calcita
Chert
Dunito
Folhelho
Granodiorito
Komatiito
Montimorilonita
Olivina
Pirita
Riolito
Sienito
Tonalito
Topázio
Turmalina

Rochas (em geral): sufixo **ITO**

Minerais (em geral): sufixo **ITA**

Rochas	Minerais
Granodiorito	Calcita
Sienito	Olivina
Basalto	Albita
Komatiito	Biotita
Riolito	Turmalina
Folhelho	Augita
Chert	Pirita
Dunito	Montimorilonita
Tonalito	Topázio

Tipos de rocha, classificação

ÍGNEA

- Plutônica
- Subvulcânica
- Vulcânica

SEDIMENTAR

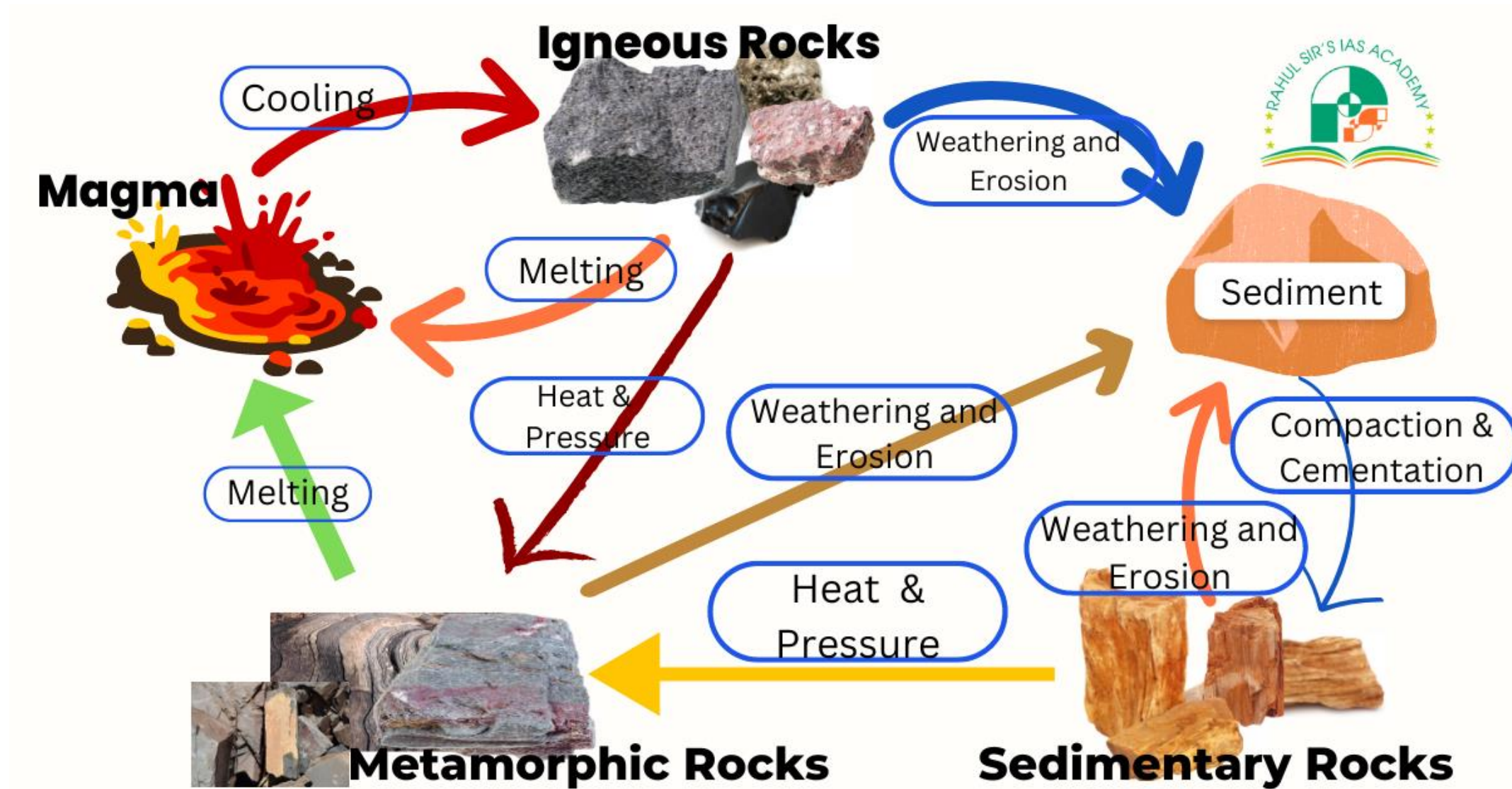
Podem ser divididas com base na composição, textura e origem. Mais comum, composição:

- Clástica
- Química
- “Orgânica”

METAMÓRFICA

Separadas por “fácies” de acordo com o grau (tipo e intensidade) metamórfico

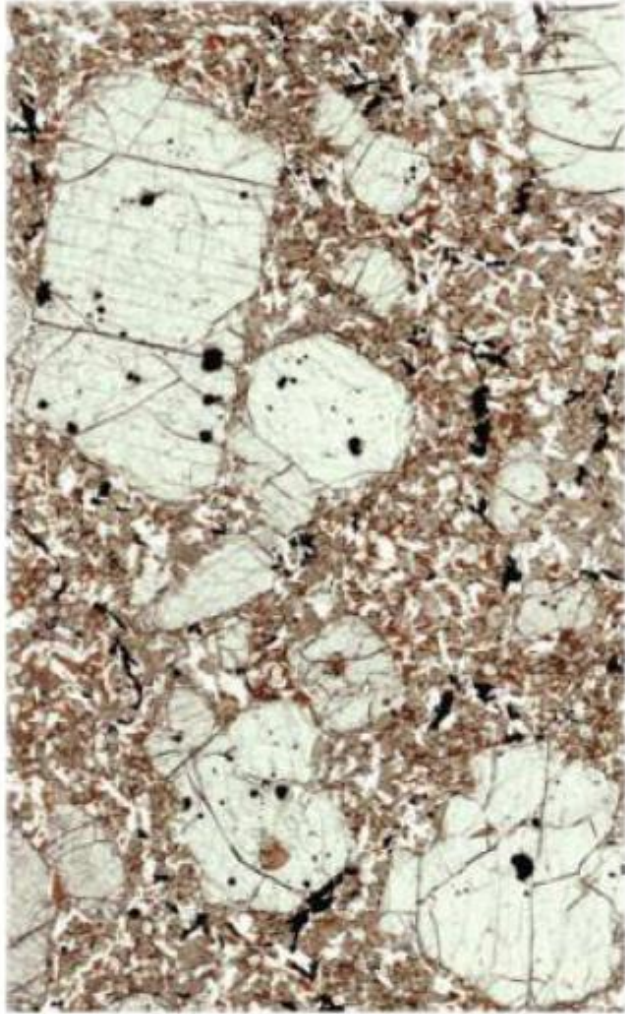
Ciclo das rochas



Texturas



1 mm



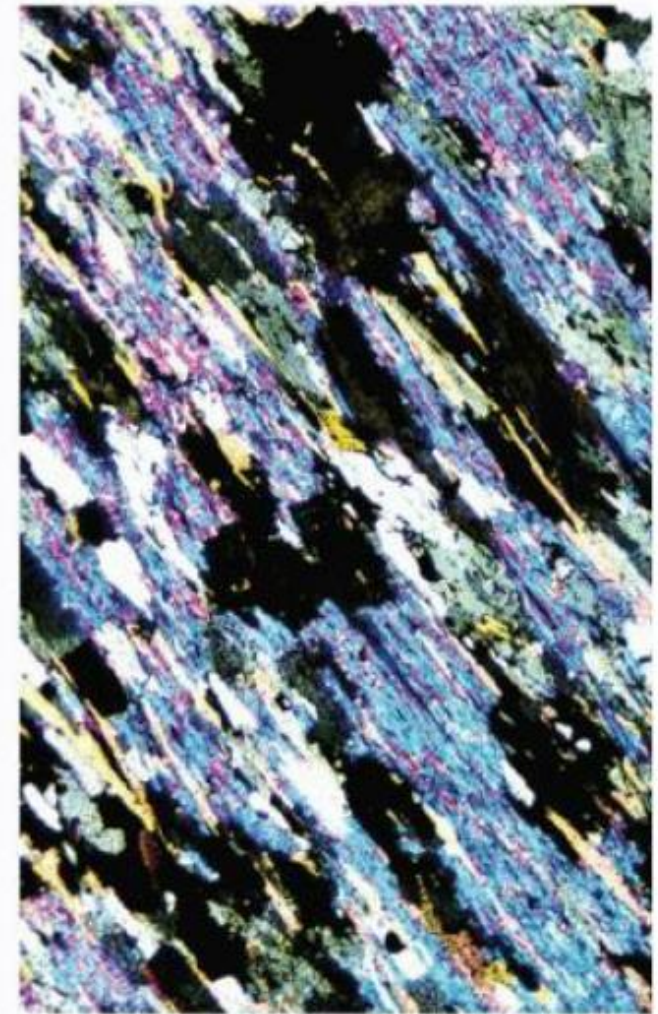
(A) Igneous

1 mm



(B) Sedimentary

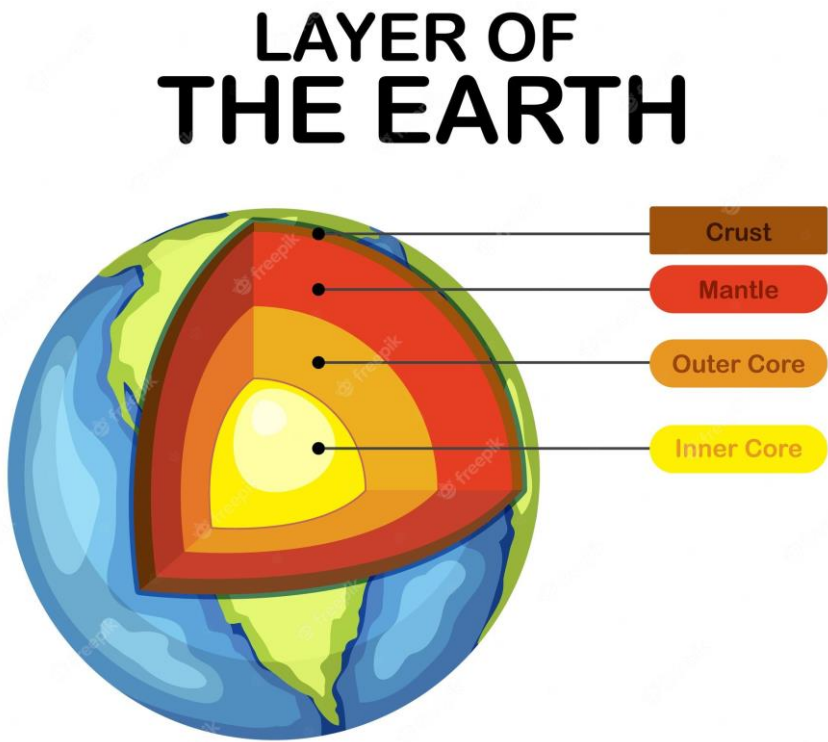
1 mm



(C) Metamorphic

Composição das diferentes camadas da Terra

Camada	Ferro (FeO)	Níquel (NiO)	Silício (SiO2)	Magnésio (MgO)	Alumínio (Al2O3)	Cálcio (CaO)	Potássio (K2O)	
Crosta Continental	8%	-	60%	-	16%	6%	5%	
Crosta Oceânica	15%	-	50%	25%	2%	-	-	
Manto Superior		• Native elements			Au, Cu, Pt		-	-
Manto Inferior		• Sulfides			ZnS, FeS ₂ , CuFeS ₂		-	-
		• Sulfosalts			Cu ₃ AsS ₄ , Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃		-	-
Núcleo Externo		• Oxides			Al ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , TiO ₂		-	-
Núcleo Interno		• Hydroxides			Mg(OH) ₂ , FeO(OH)		-	-
		• Halides			NaCl, KCl, CaF ₂			
		• Carbonates			CaCO ₃ , CaMg(CO ₃) ₂			
		• Phosphates			Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)			
		• Sulfates			CaSO ₄ ·2 H ₂ O			
		• Tungstates			CaWO ₄			
		• Silicates			Mg ₂ SiO ₄ , Al ₂ SiO ₅			



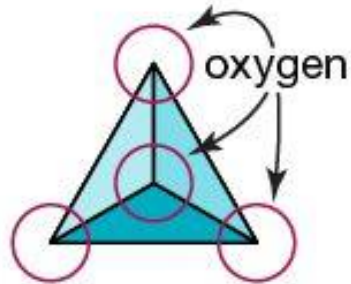
Silicatos e polimerização – neso, soro e ciclossilicatos

Structural linkage schemes among silicates

Nesosilicates

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

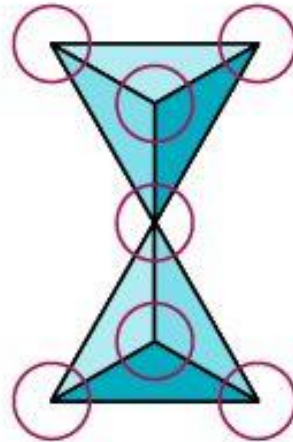
Example: olivine,
 $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$



Sorosilicates

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

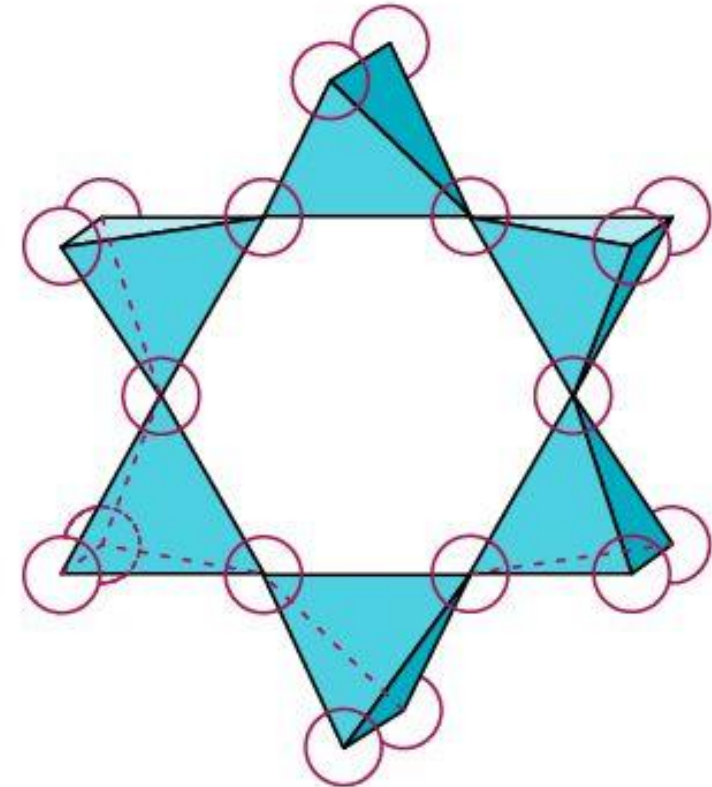
Example: hemimorphite,
 $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$



Cyclosilicates

Unit composition: $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$

Example: beryl,
 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$

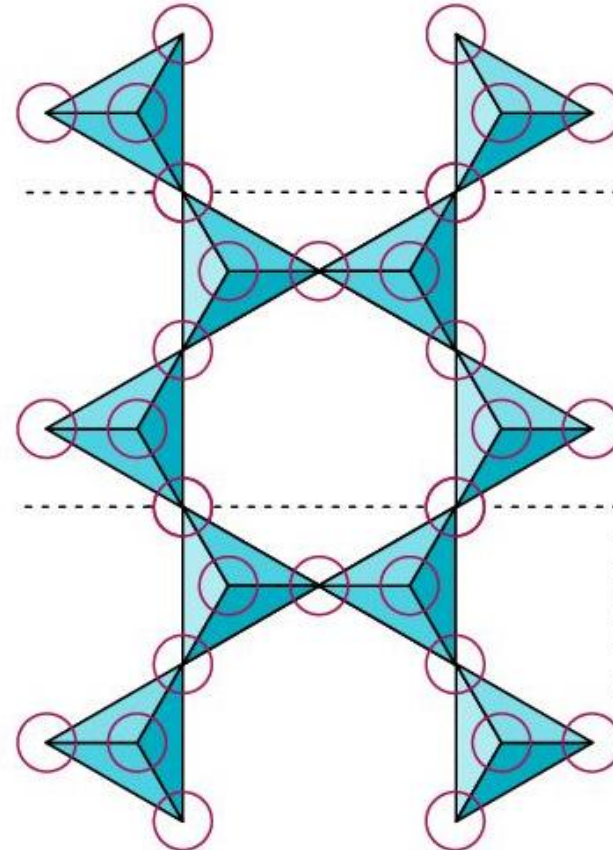
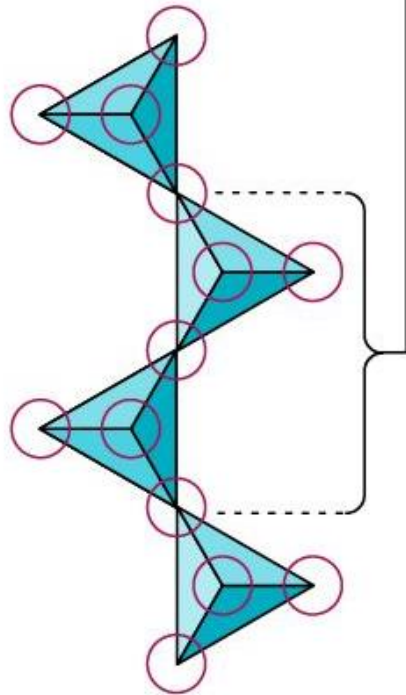


Silicatos e polimerização – inossilicatos

Inosilicates (single chain)

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

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

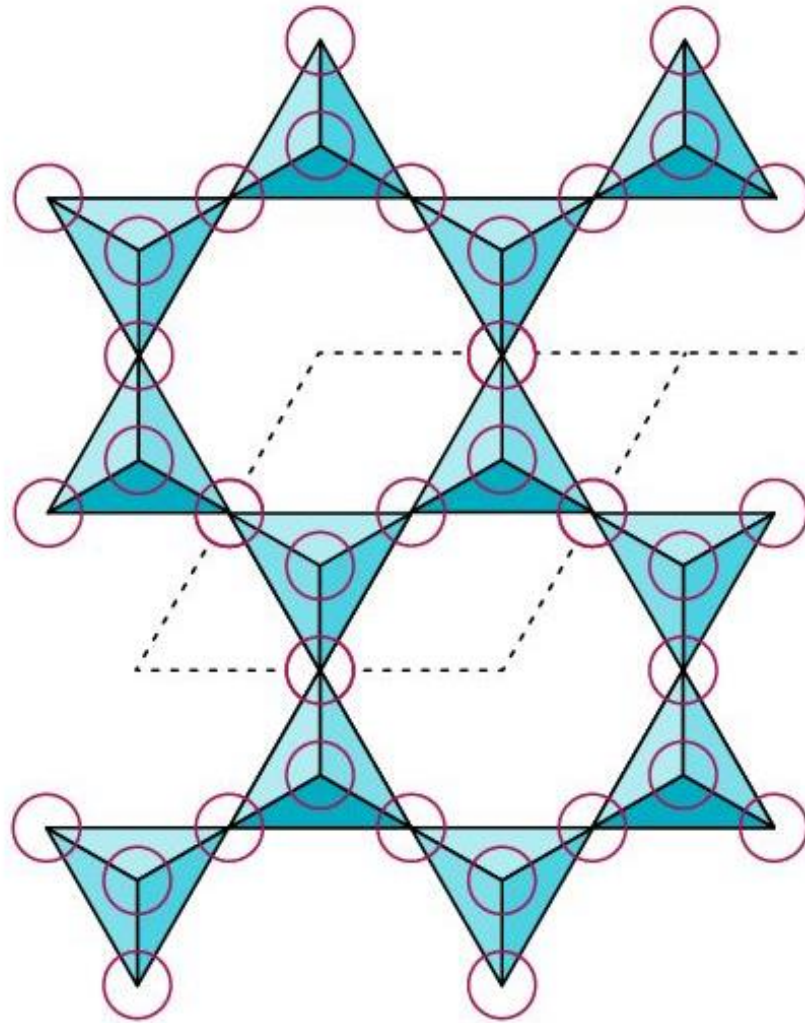


Inosilicates (double chain)

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

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

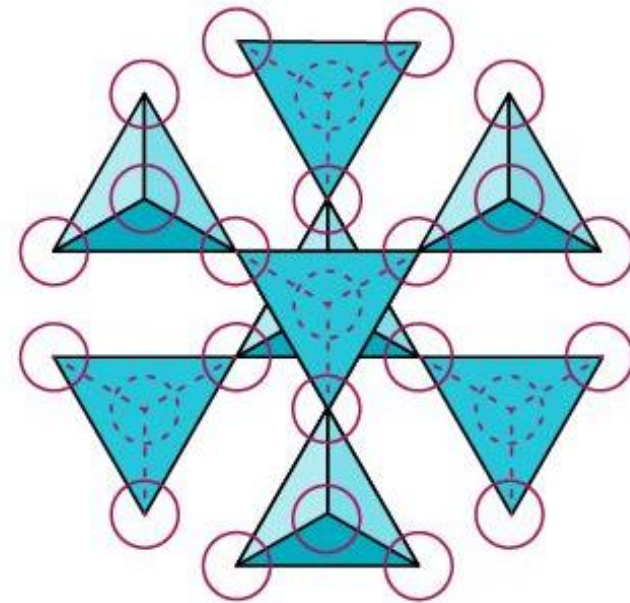
Silicatos e polimerização – Filo e tectossilicatos



Phyllosilicates

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

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

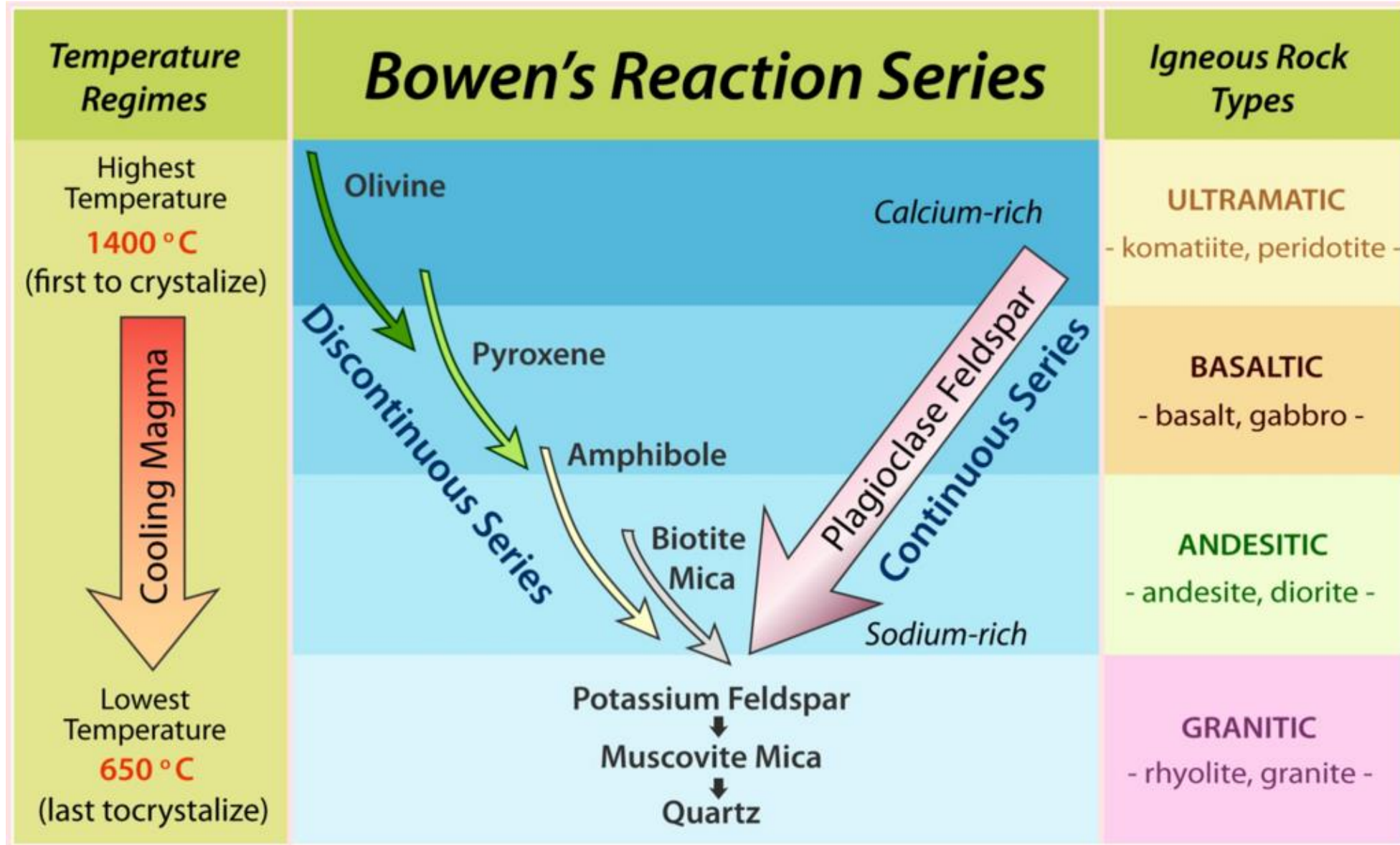


Tectosilicates

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

Example: high cristobalite,
 SiO_2

Afinidade geoquímica e sequência de cristalização



Rochas ígneas – identificação em campo (plutônicas máficas – ultramáficas)



Piroxenito

Composição: > 90% piroxênios

Gabro



Dunito

Composição: > 90% olivina

Diabásio

Composição: plagioclásio, piroxênio, magnetita, olivina, apatita

Rochas ígneas – identificação em campo (plutônicas graníticas)



Alkali-feldspato granito



Sienogranito



Monzogranito



Granodiorito



Tonalito

Composição “obrigatória”: feldspatos e quartzo

Composição variável: micas (biotita, muscovita), piroxênios e anfibólios

Composição acessória: zircão, óxidos (magnetita, ilmenita), apatita

Rochas ígneas – identificação em campo (vulcânicas)



Riolito

Composição:
de monzo a sienogranito



Dacito

Composição:
De tonalito a granodiorito



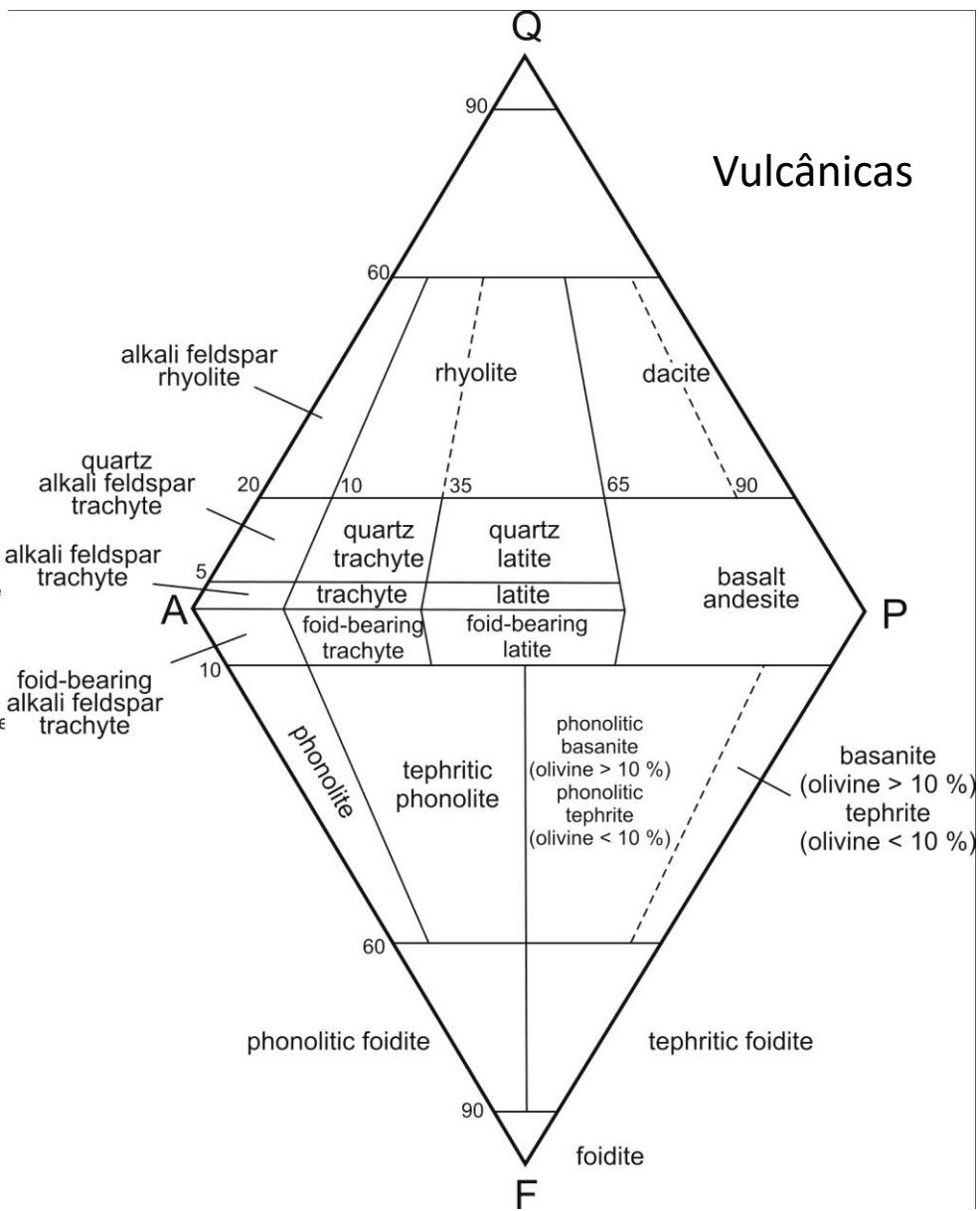
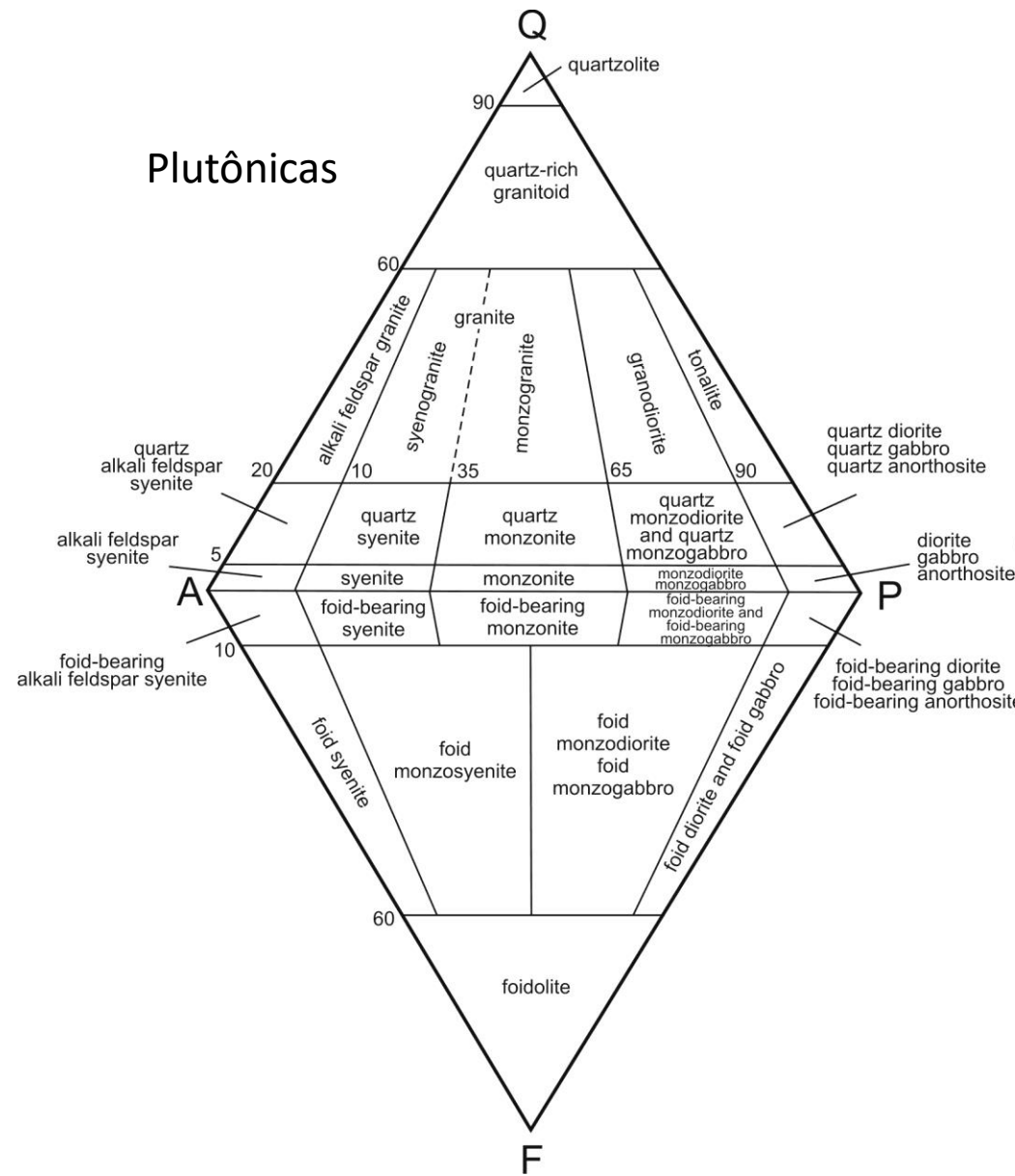
Basalto

Composição:
Dacítica, mas com < 20% qtz



Pórfiro (estrutura)

Rochas ígneas – Diagrama QAPF



Rochas sedimentares – identificação em campo



Arenito



Calcário | dolomito

© geology.com



Conglomerado

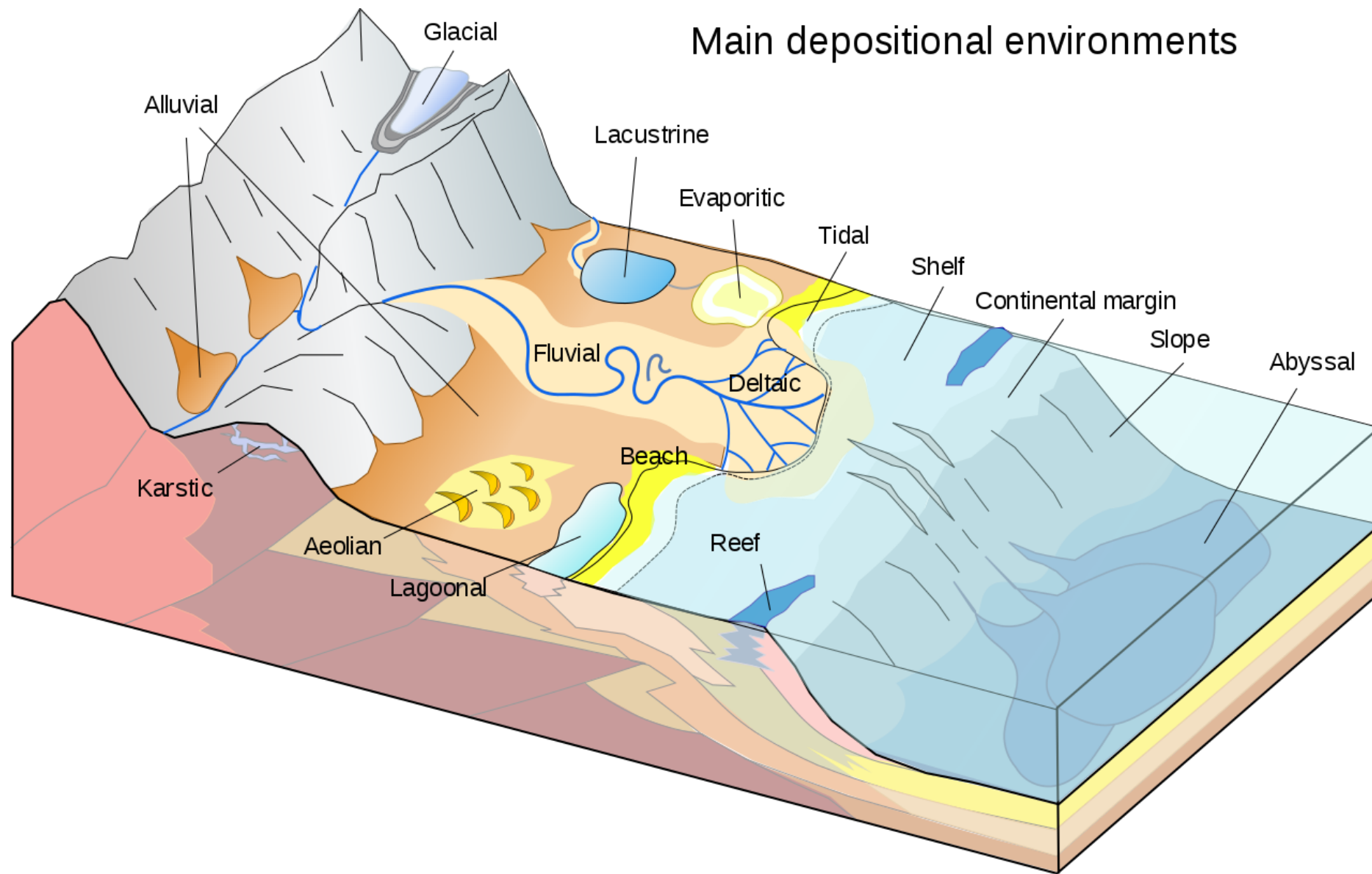
A composição de rochas sedimentares dependem de três fatores chave:

- Composição da rocha erodida (fonte)
- Energia do ambiente deposicional e processos de alteração (intemperismo)
- Condições climáticas (principalmente para rochas sedimentares químicas)



Ritmito

Rochas sedimentares – ambientes de sedimentação



Continentais

- Aluvionar
- Eólico
- Fluvial
- Lacustre

Transicionais

- Deltaico
- Lagunar
- De maré
- Praia

Marinhos

- Plataforma cont.
- Talude
- Abissal

“Outros”

- Evaporítico
- Glacial
- Vulcânico
- Tsunâmico

Rochas metamórficas – identificação em campo

Gnaiss



Migmatito



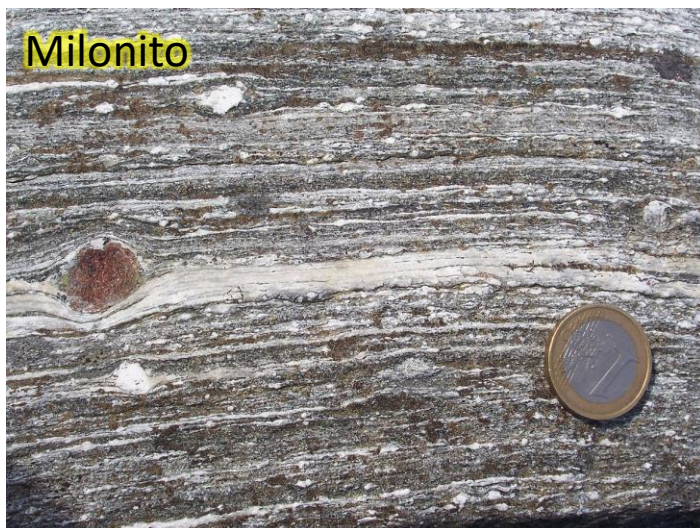
Ardósia



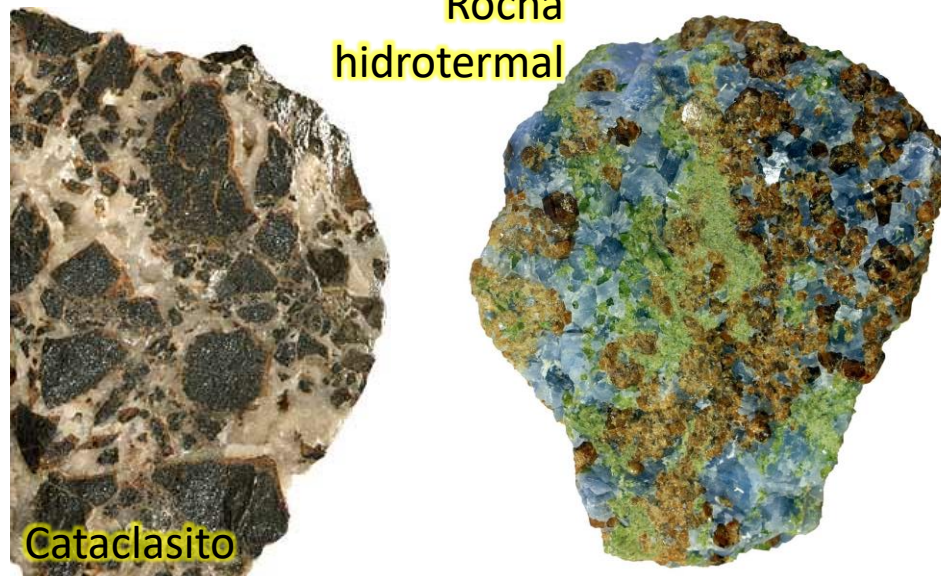
Filito



Milonito

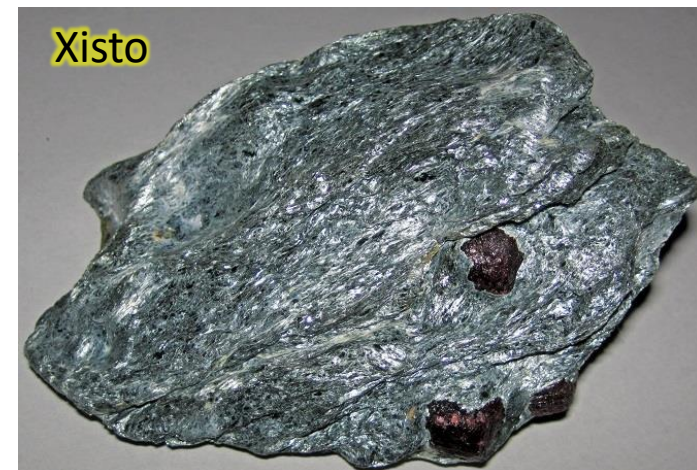


Rocha
hidrotermal



Cataclasito

Xisto



Rochas metamórficas – identificação em campo

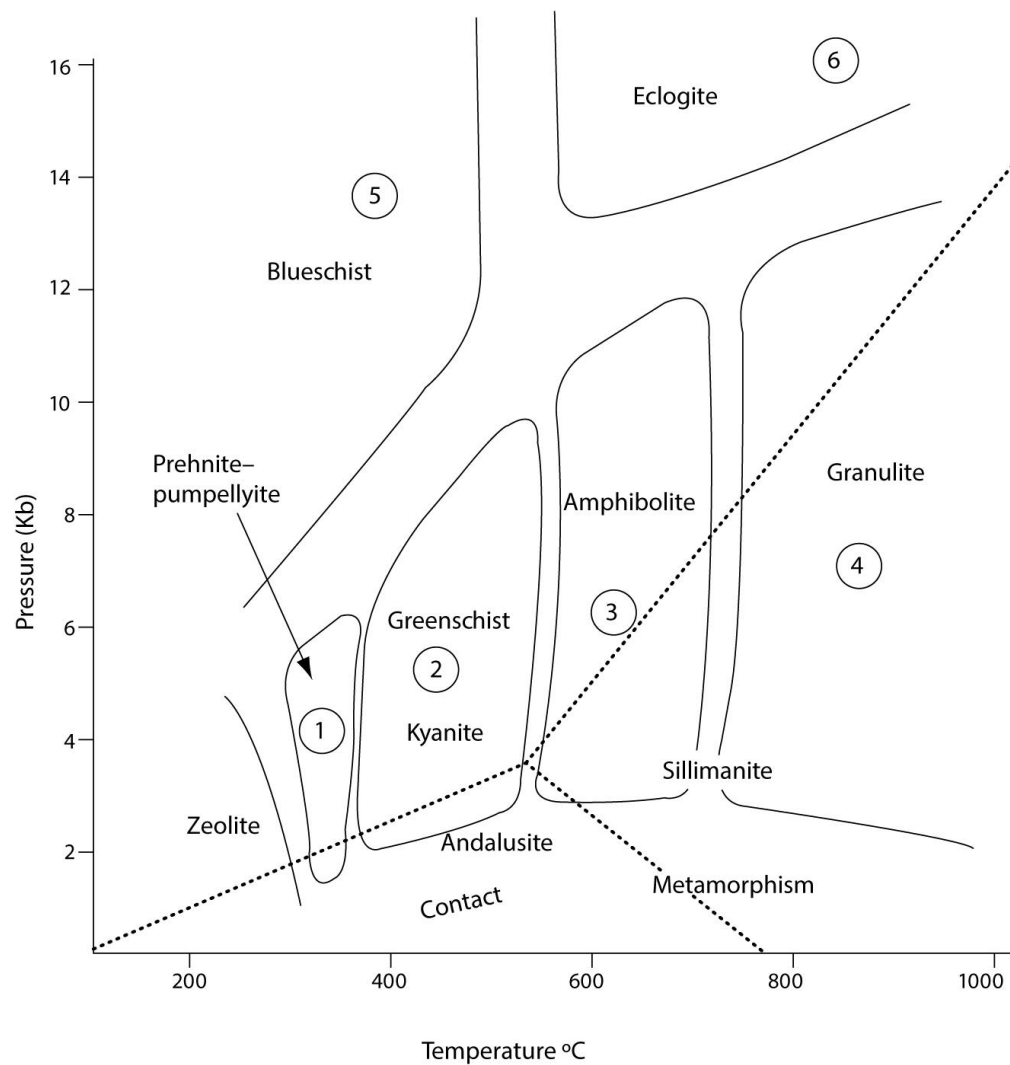


Figure 2 Temperature and pressure fields of various metamorphic facies and examples of diagnostic minerals and assemblages (after Bucher and Frey, 1994 and Yardley, 1989)

A composição de rochas metamórficas dependem de dois fatores chave:

- Protólito (rocha original)
 - Grau metamórfico (pressão e temperatura)
- (+ potenciais entradas ou saídas de fluidos & elementos químicos)

Desta forma, os minerais que serão formados serão “resposta” a composição inicial do protólito e do grau metamórfico, e a rocha resultante receberá a nomenclatura de acordo com estes fatores.

Cianita-granada xisto

Granada gnaiss | para (ou orto) gnaiss

Granulito máfico | félsico

Rochas metamórficas – principais minerais

Estaurolita



Silimanita



Granada



Cianita



Andalusita



Clorita



Anfibólios ± biotita

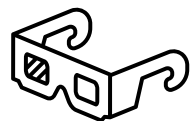


Parte II

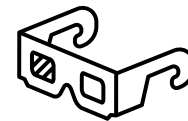
Geologia aplicada à solos



Intemperismo no perfil de solo



“Geográfico” (espacial)



Geoquímico (de processos)

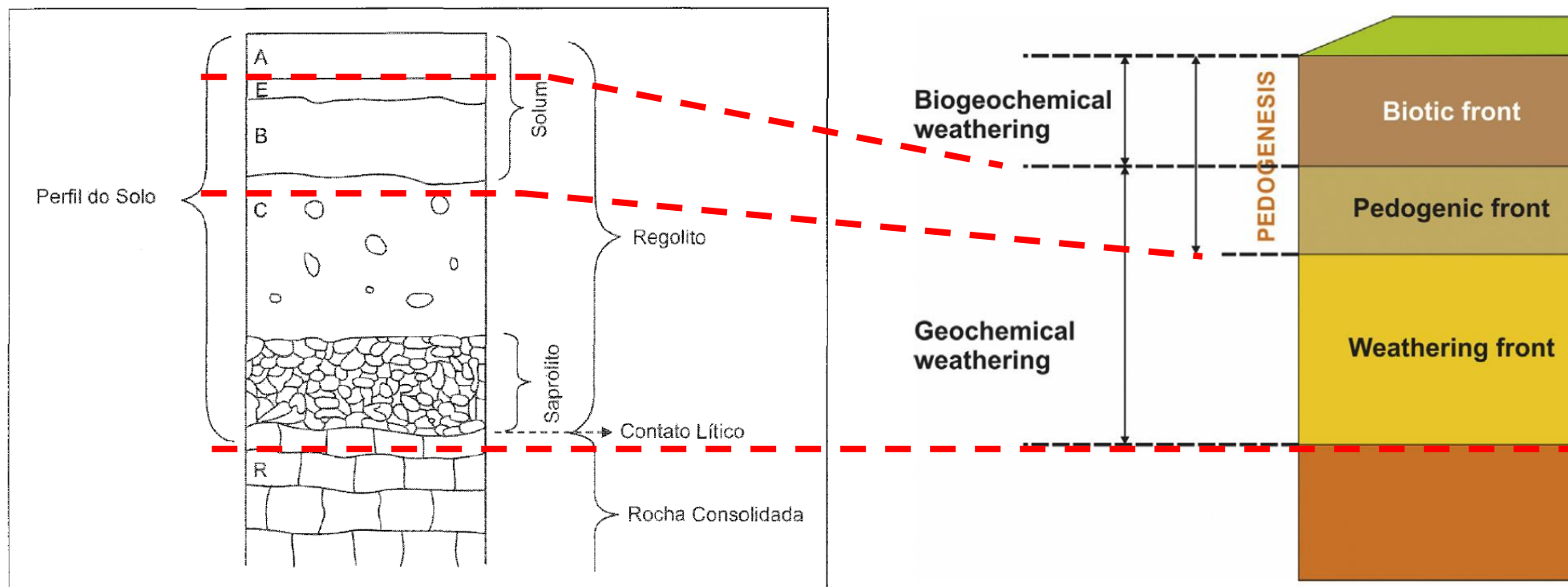
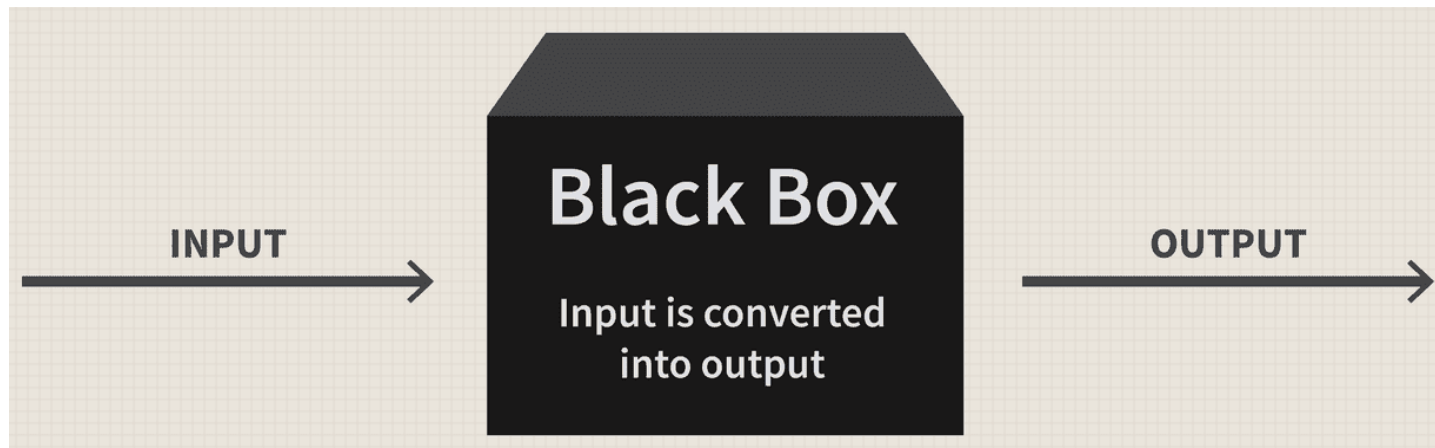


Figura 1. Rocha, saprolito, regolito, incluindo perfil de solo.

Transformação buscando equilíbrio





Caulinita
 $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$

Hematita
 Fe_2O_3

Ferridrita
 $\text{Fe}^{3+}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$

Andesito porfirítico

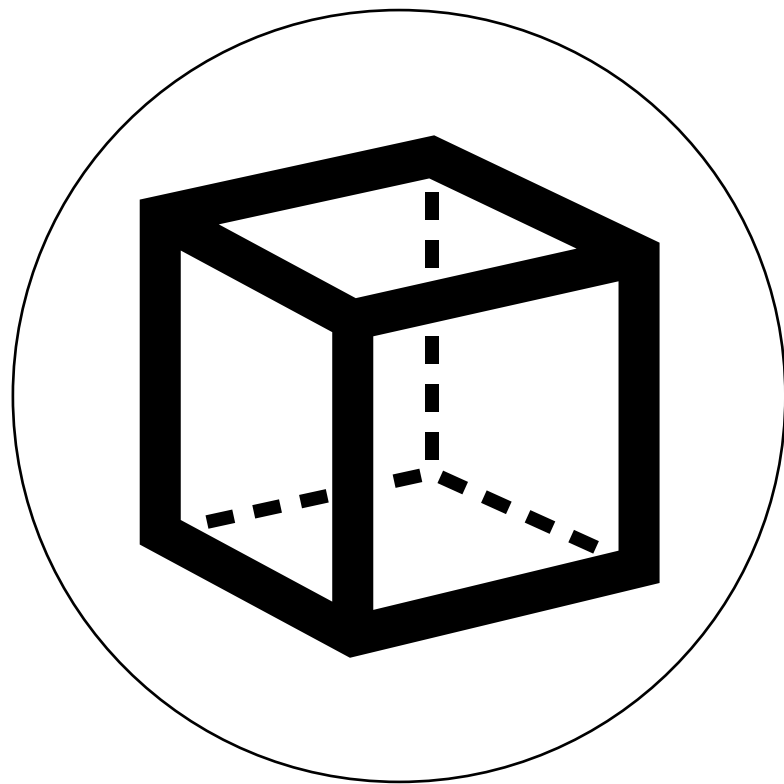
Plagioclásio
 $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_8$

Hornblenda
 $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Al})(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

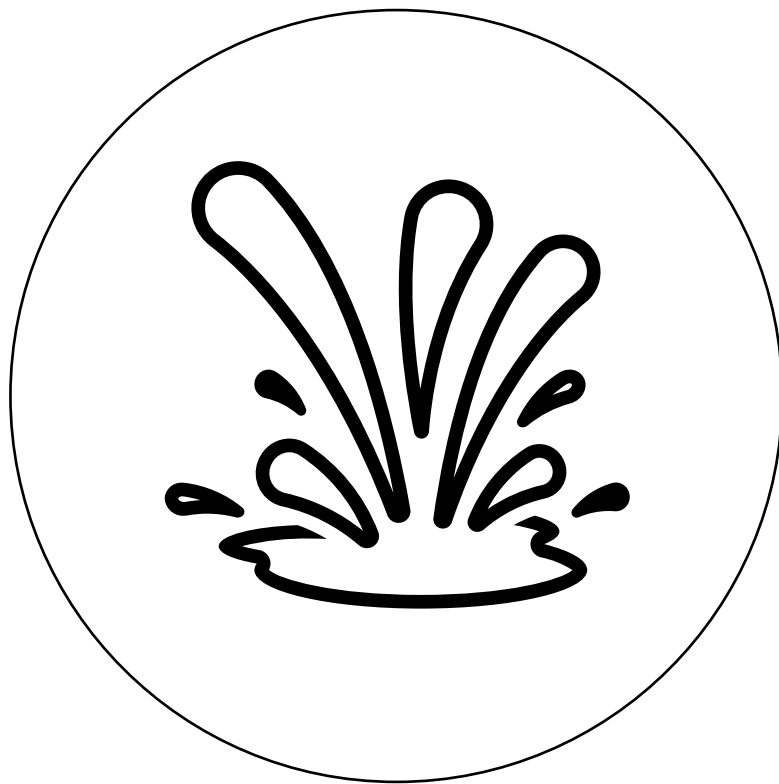
Quartzo
 SiO_2

Magnetita
 $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$

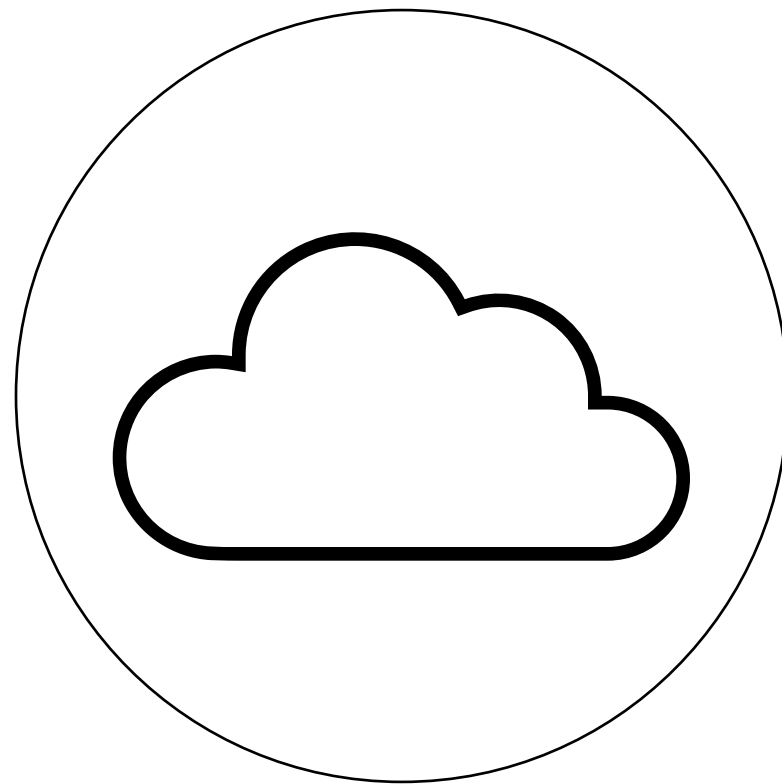
Estados da matéria



Rochas

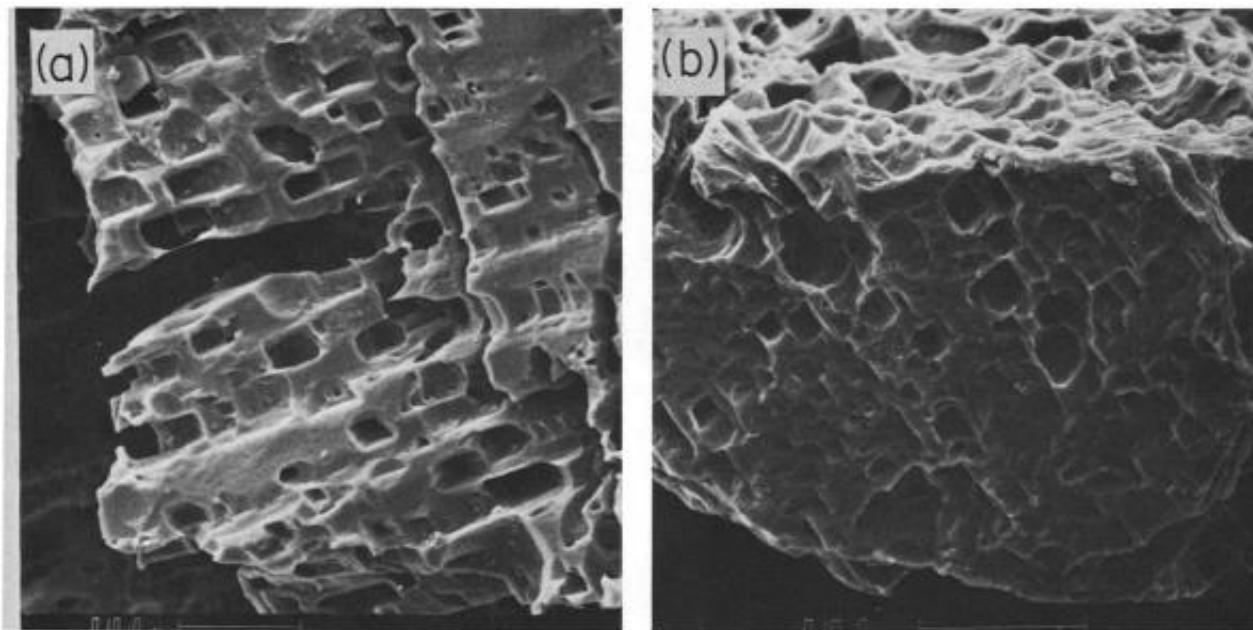
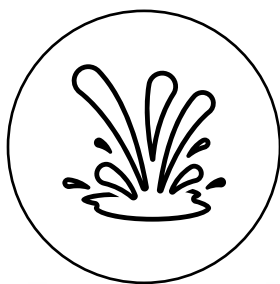


Água

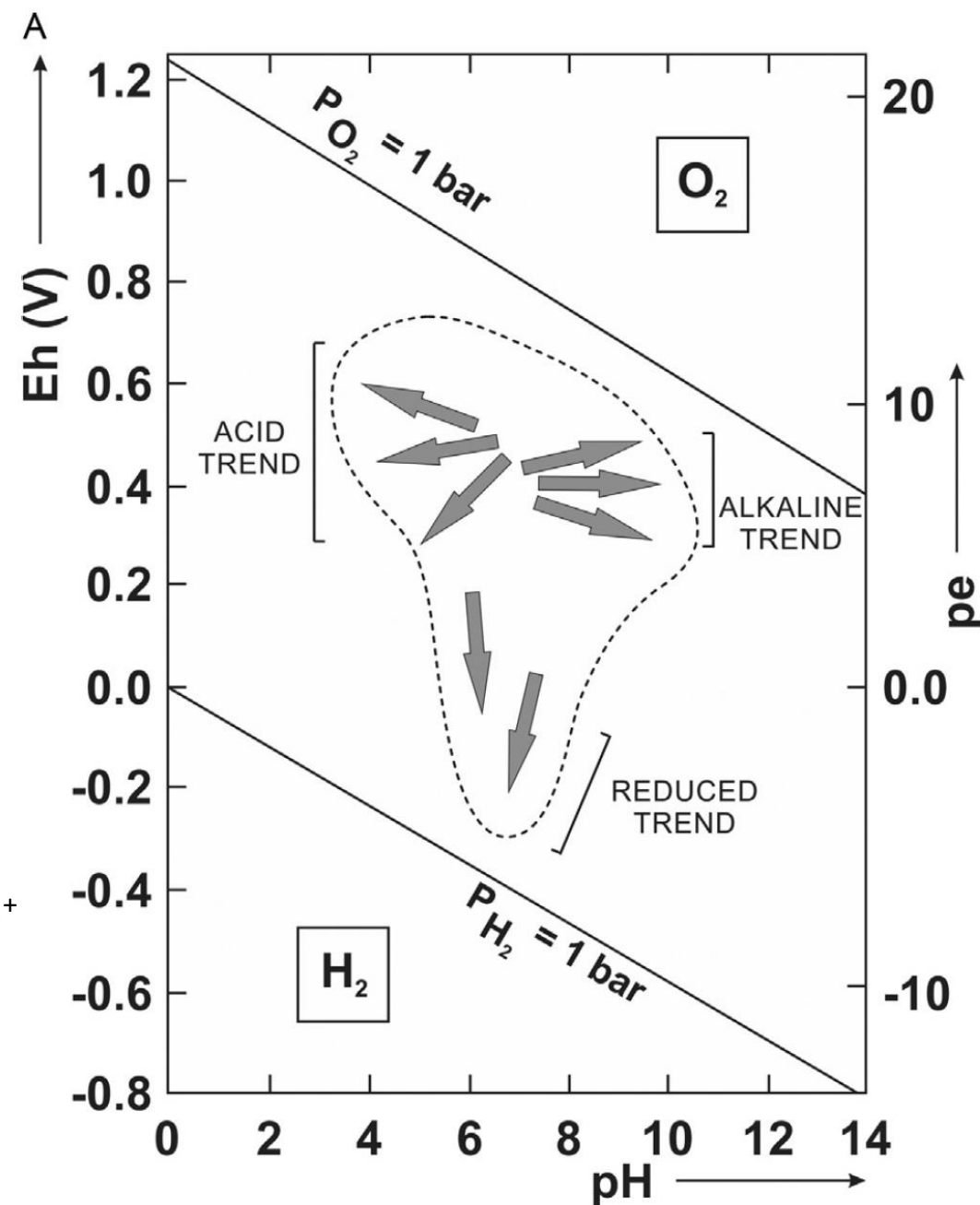
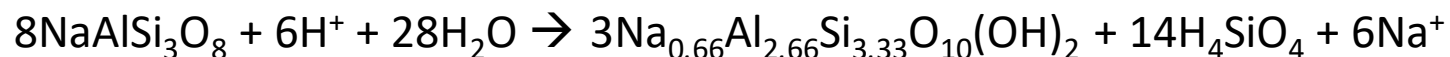


Ar

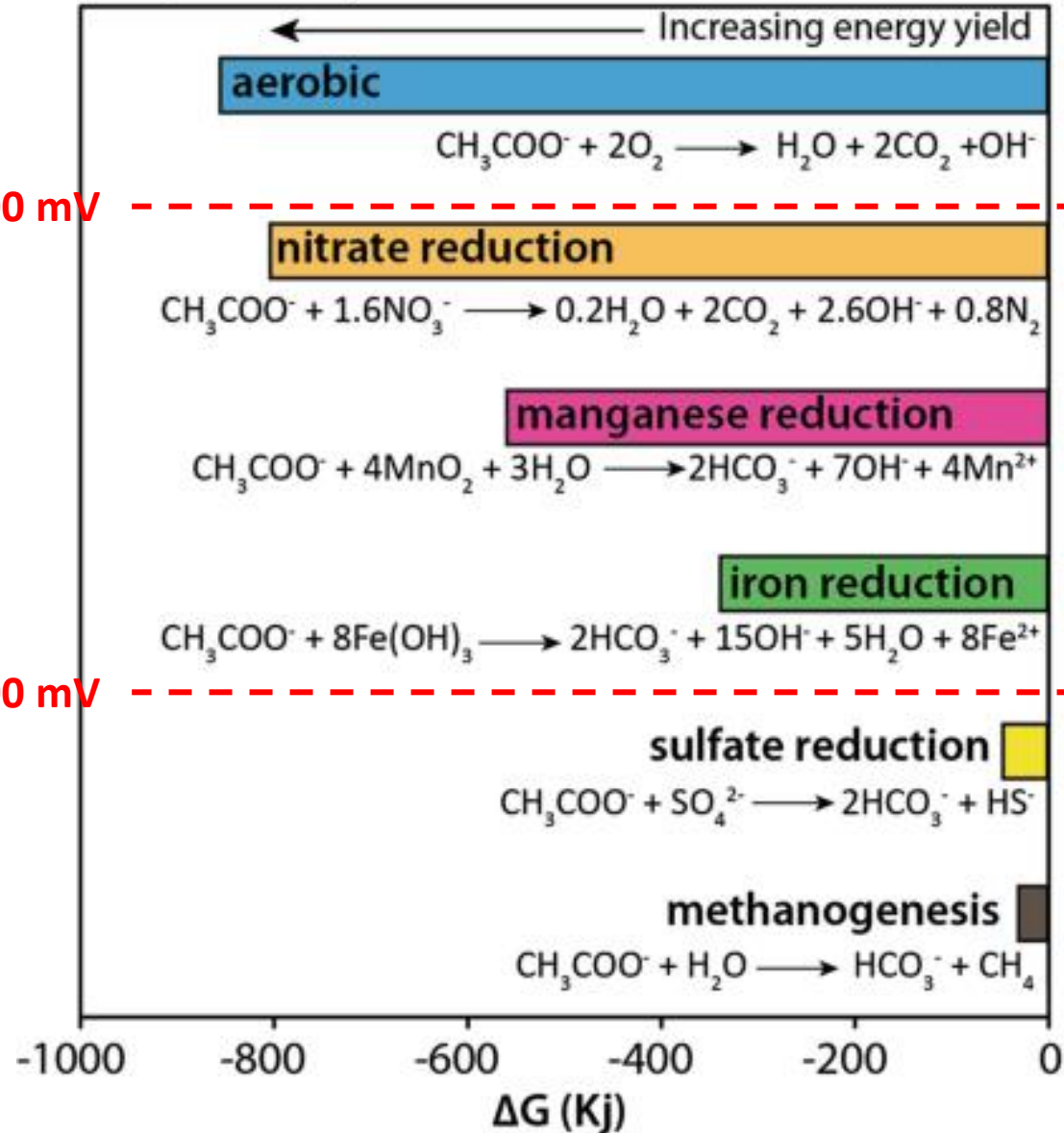
Processos físico-químicos – água: solução do solo



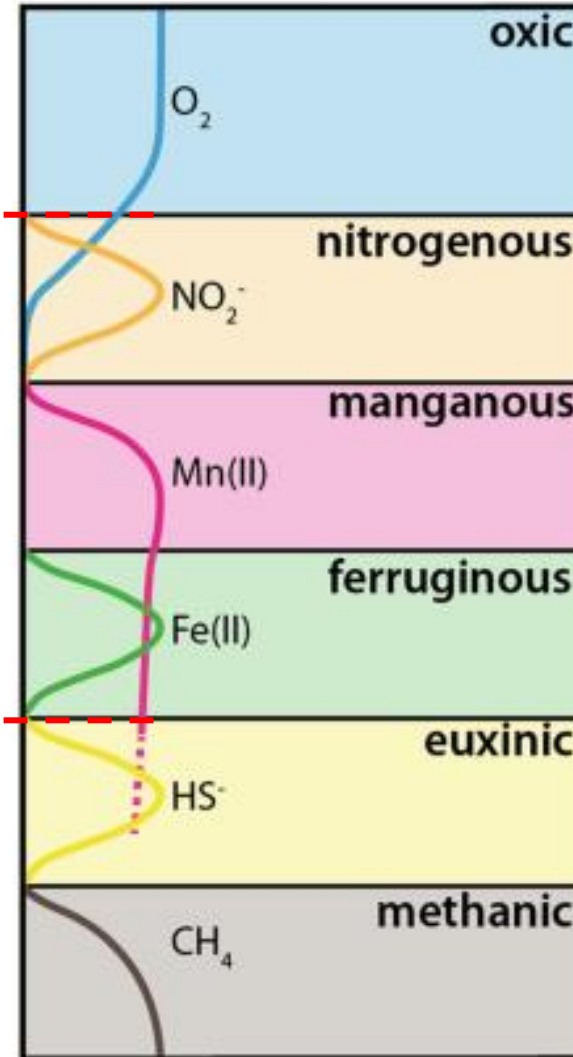
Hidrólise



Respiration process



Chemical zone



Abundância na crosta

$\text{O}_2 \rightarrow 46,1\%$

$\text{Si} \rightarrow 28,2\%$

$\text{Al} \rightarrow 8,2\%$

$\text{Fe} \rightarrow 5,6\%$

...

$\text{Mn} \rightarrow 0,095\%$

$\text{S} \rightarrow 0,035\%$

$\text{N} \rightarrow 0,0019\%$

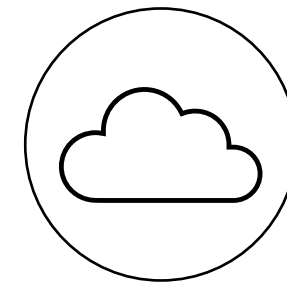
$\text{Fe} / \text{N} = 2.947 \text{ vezes}^*$

$\text{Fe} / \text{Mn} = 59 \text{ vezes}$

$\text{Fe} / \text{S} = 160 \text{ vezes}^*$

Fe é importante não só pela sua abundância relativa, mas por naturalmente se acumular no ambiente de superfície (pedogênico)!

Processos físico-químicos – gases: atmosfera e solo



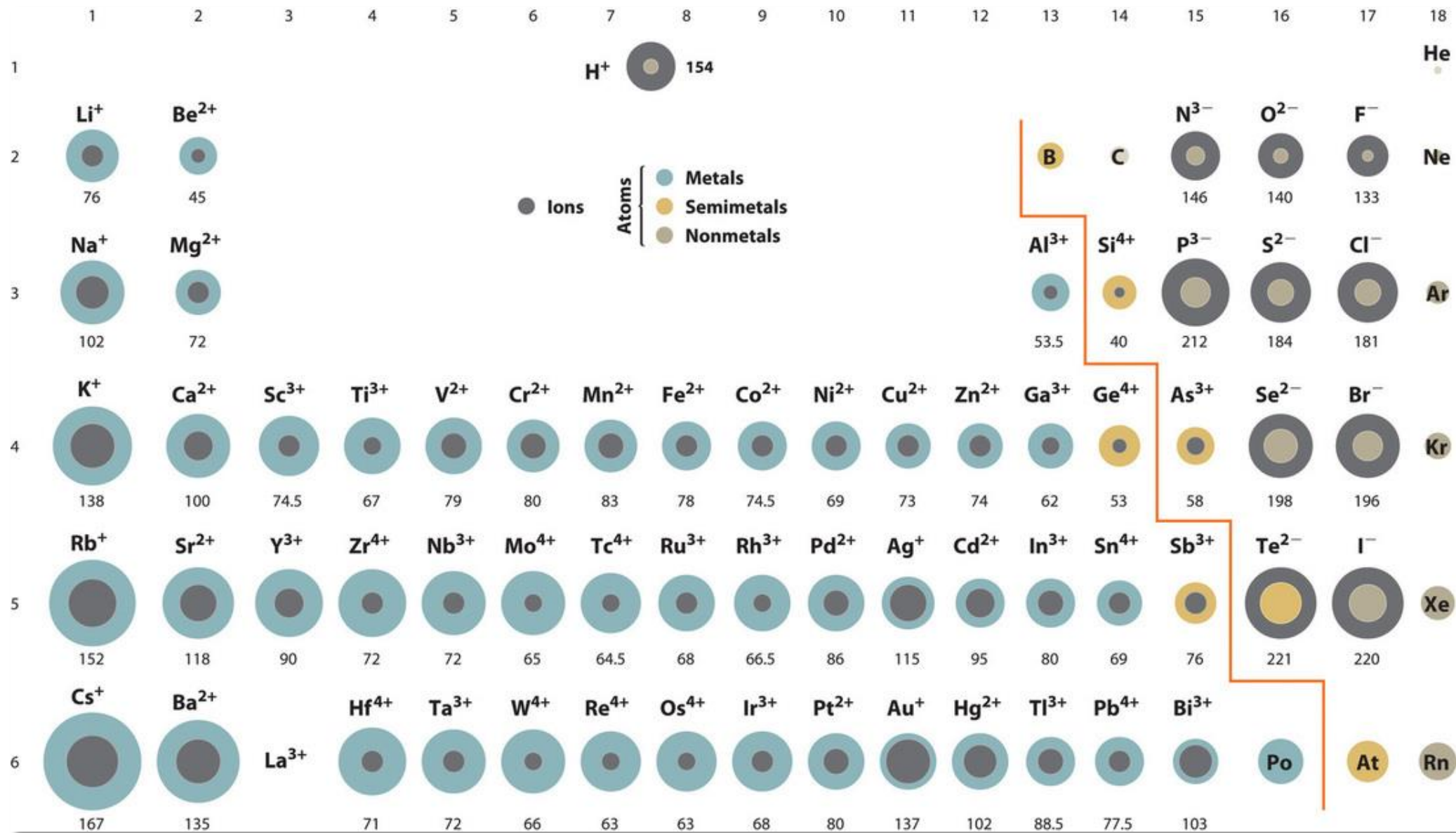
Atmosfera terrestre:

- 78% N₂
- 21% O₂ →
- 0,9% Ar
- 0,04% CO₂ →
- 0,06% (Ne + H₂ + CH₄ + Kr + H₂ + N₂O + ...)

“Atmosfera” do solo:

- 78% N₂
- 21% O₂ → Similar quantidade de O₂
- 0,9% Ar
- 0,3% a 0,5% CO₂ → De 7x a 13x mais CO₂
- 0,01% a 0,03 H₂O + (...)

Propriedades dos elementos químicos: íons





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



Augita – inossilicato (piroxênio)
 $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al,Ti})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$



Hornblenda – inossilicato (anfibólio)
 $(\text{Ca,Na})_{2-3}(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$



Muscovita – filossilicato (mica)
 $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$

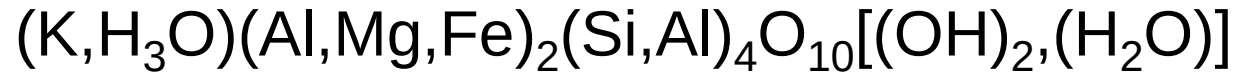


Biotita – filossilicato (mica)
 $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$.

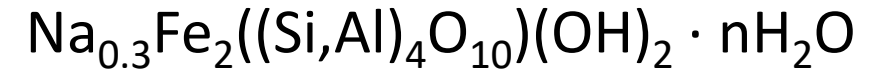
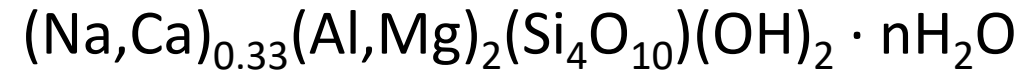
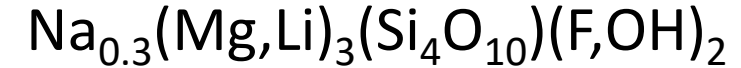
Biotita

Solução rica em
cátions e sílica

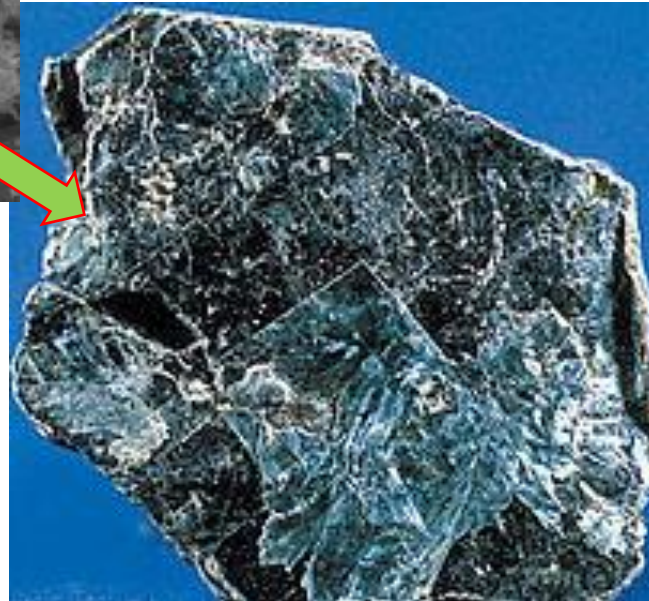
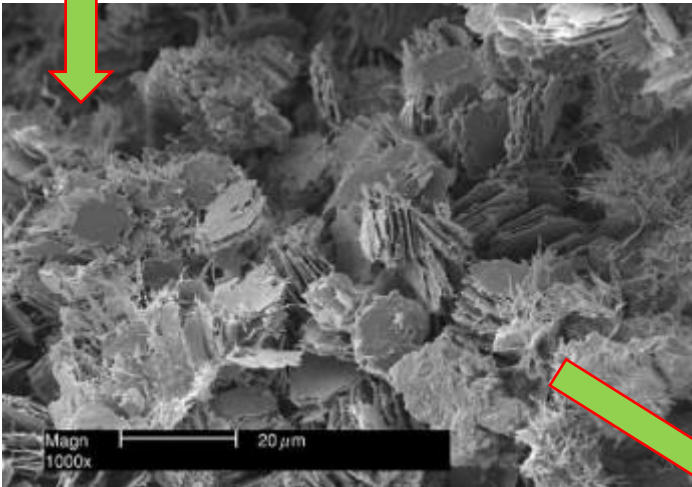
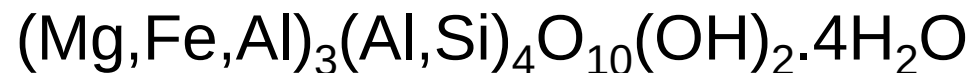
Ilita – filossilicato (argila)



Esmectita – filossilicato (argila)



Vermiculita – filossilicato (argila)

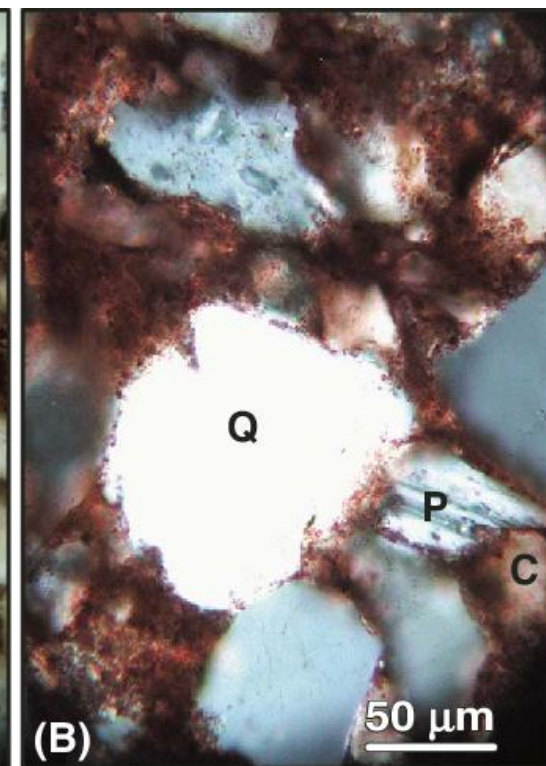
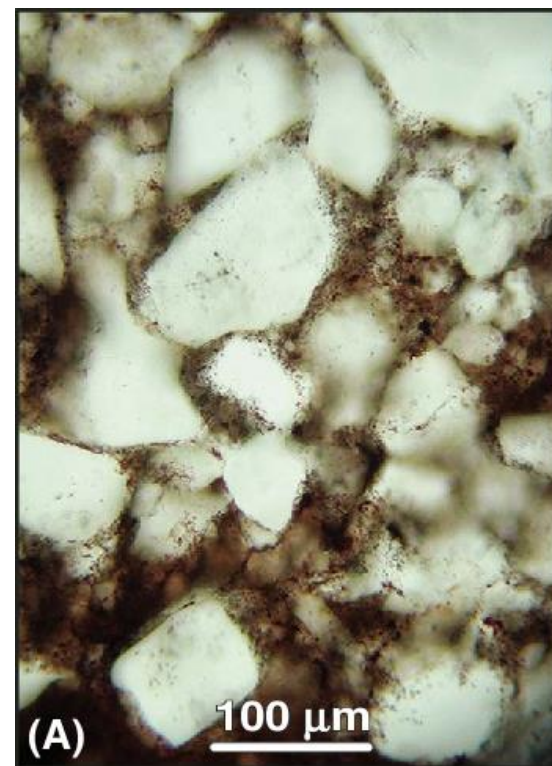
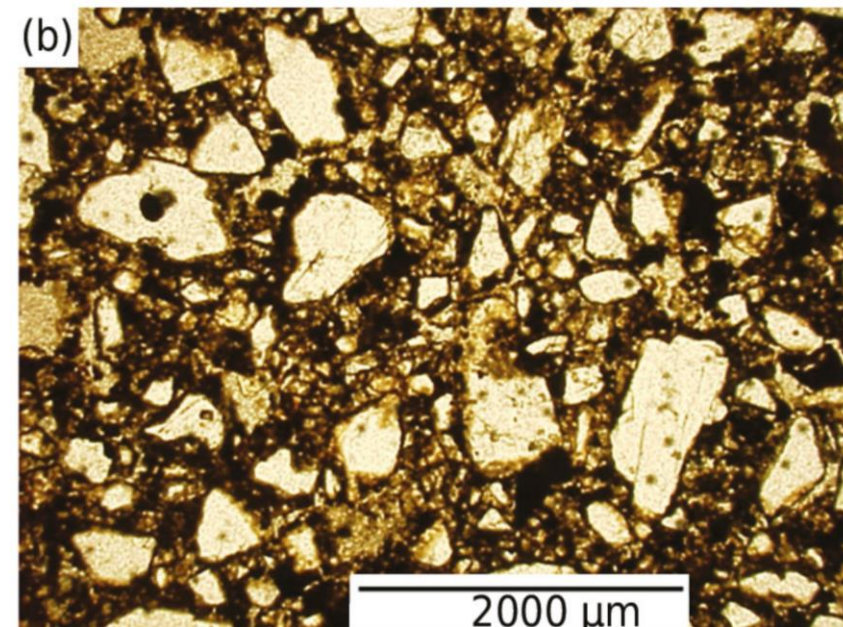




Matéria
orgânica

Goethita
 FeOOH

Hematita
 Fe_2O_3

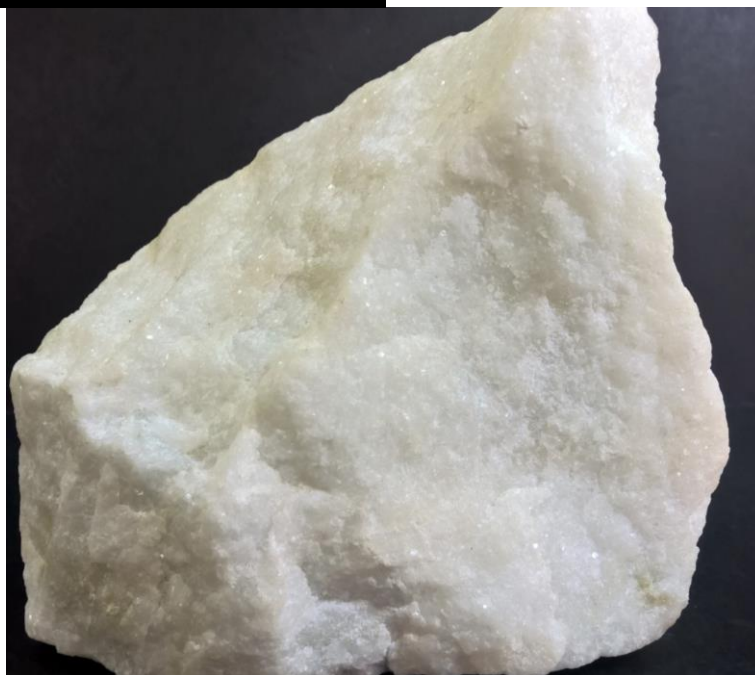




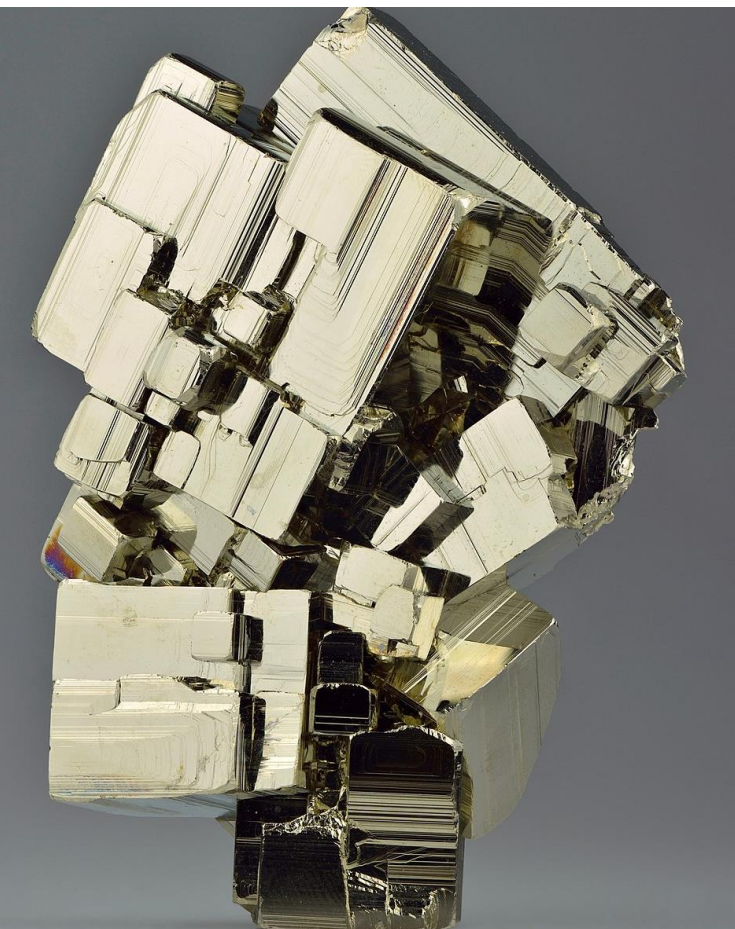
Feldspato potássico
tectossilicato
 KAlSi_3O_8



Feldspato sódico – tectossilicato
 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$



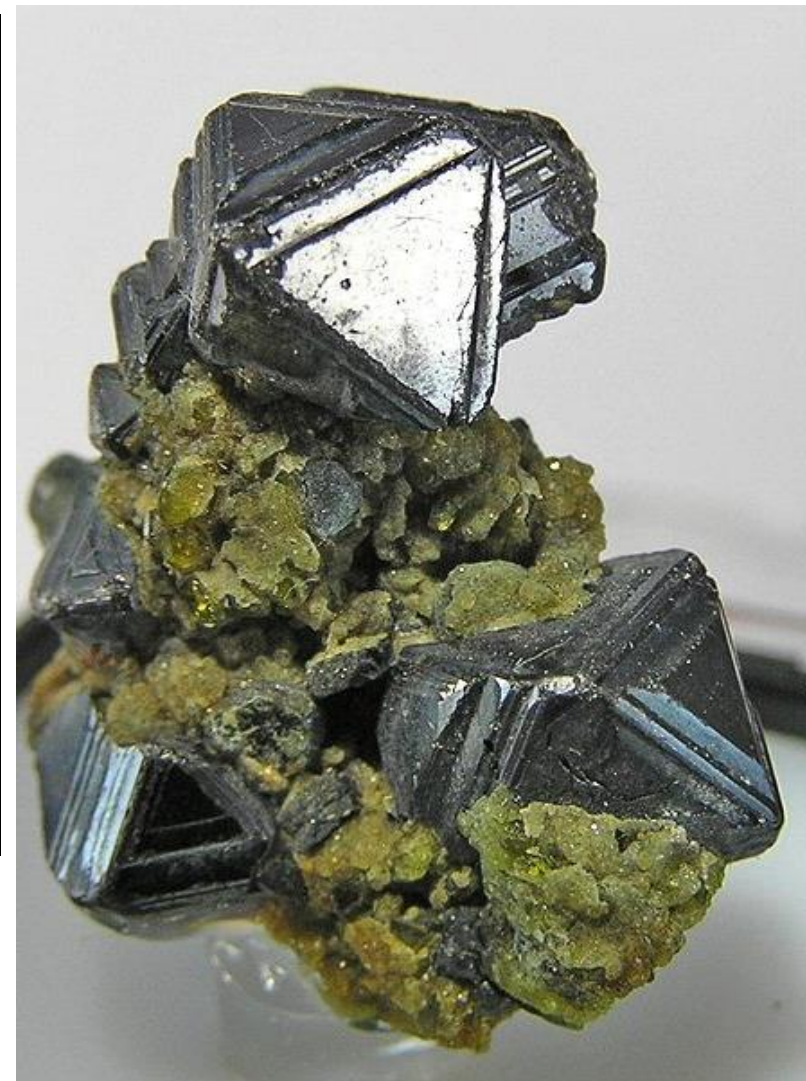
Feldspato cálcico – tectossilicato
 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$



Pirita – sulfeto
 FeS_2

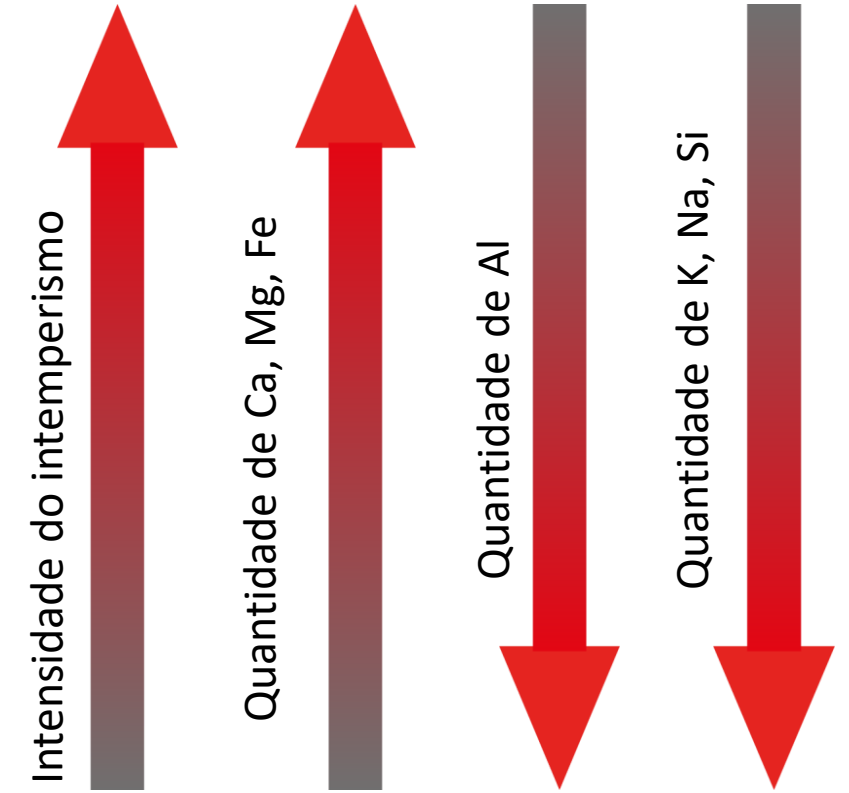
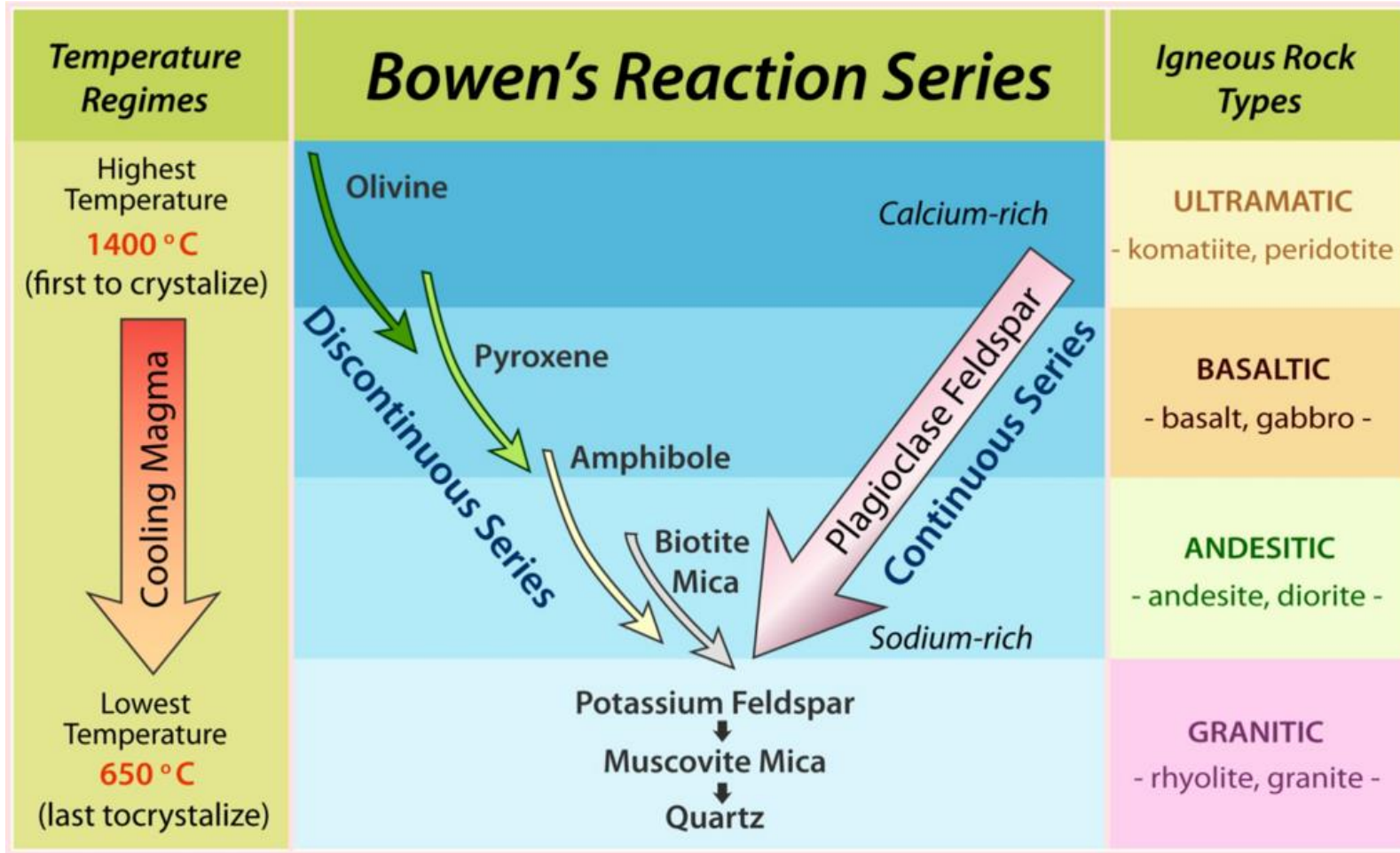


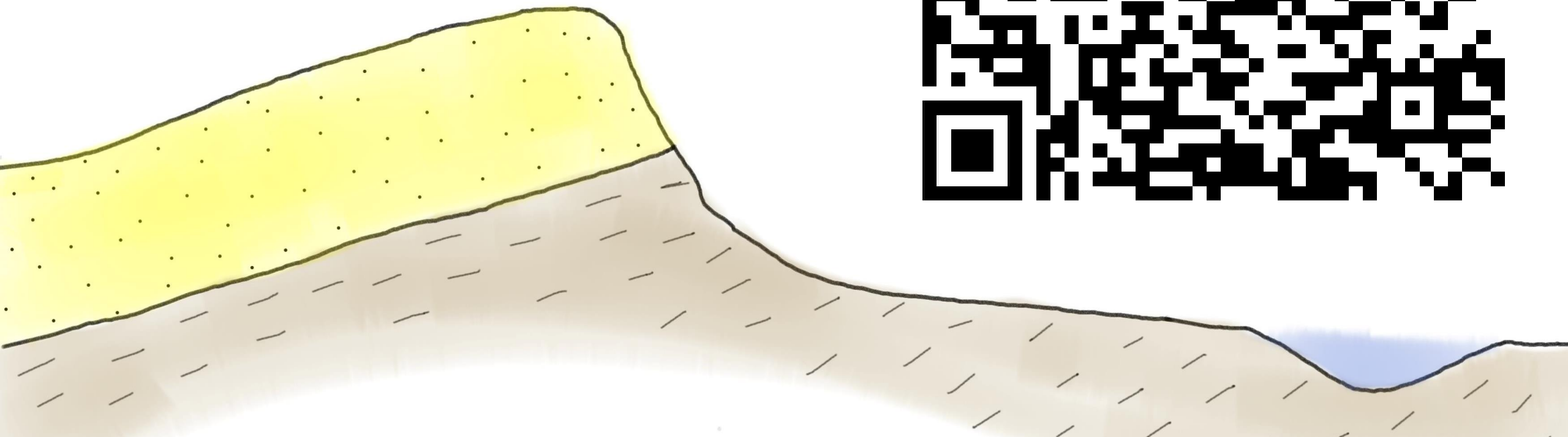
Calcita – carbonato
 CaCO_3

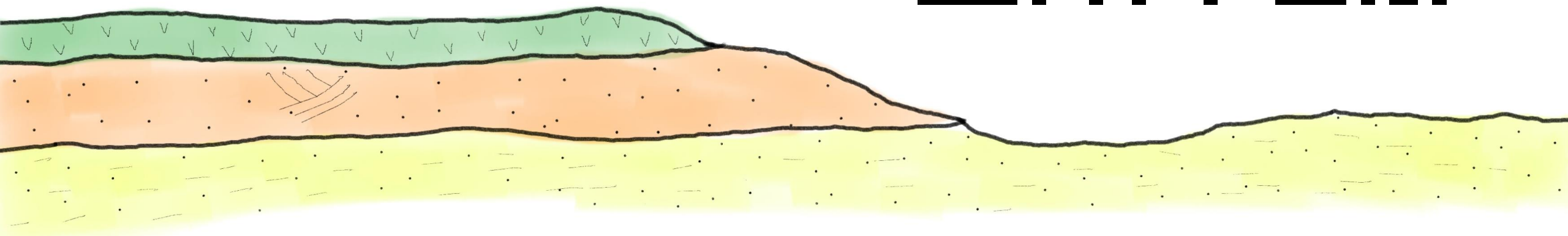


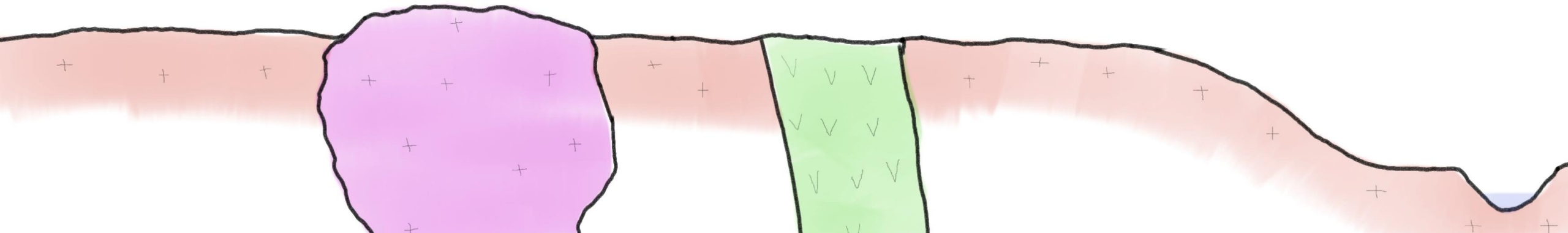
Magnetita – óxido
 Fe_3O_4

Silicatos e polimerização – implicações para formação de solos









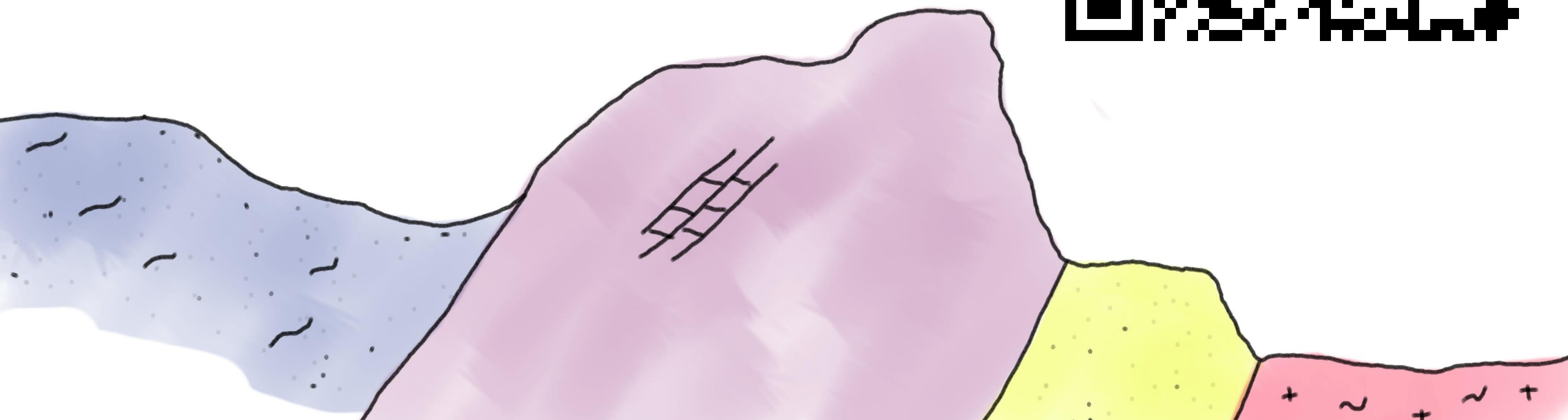


Tabela 2. Elementos formativos e significados dos nomes das classes.

Classes	Elementos formativos	Termos de conotação e de memorização
ARGISSOLO	ARGI	Do latim <i>argilla</i> , “argila”; conotativo de solos com processo de acumulação de argila
CAMBISSOLO	CAMBI	Do latim <i>cambiare</i> , “trocar”, “mudar”; conotativo de solos em formação (transformação). Horizonte B incipiente
CHERNOSSOLO	CHERNO	Do russo <i>chorniy</i> , “preto”; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura
GLEISSOLO	GLEI	Do russo <i>gley</i> , “massa do solo pastosa”; conotativo de excesso de água. Horizonte glei
LATOSSOLO	LATO	Do latim <i>lat</i> , “tijolo”; conotativo de solos muito intemperizados. Horizonte B latossólico
LUVISSOLO	LUVI	Do latim <i>luere</i> , “lavar”; conotativo de translocação de argila. Horizonte B textural com alta saturação por bases e Ta
NEOSSOLO	NEO	Do grego <i>neo</i> , “novo”; conotativo de solos com pouco desenvolvimento pedogenético
NITOSSOLO	NITO	Do latim <i>nitidus</i> , “brilhante”; conotativo de superfícies brilhantes nas unidades estruturais. Horizonte B nítico
PLANOSSOLO	PLANO	Do latim <i>planus</i> , “plano”; conotativo de solos desenvolvidos em planícies ou depressões com encharcamento estacional. Horizonte B plânico
VERTISSOLO	VERTI	Do latim <i>vertere</i> , “virar”, “inverter”; conotativo de movimento de material de solo na superfície e que atinge a subsuperfície (expansão/contração). Horizonte vértico

Classificações do Grupo A

Grupo		Tipo		S
A	Tropical	f	Equatorial	-
		m	de monção	-
		w	de savana	-
		s		-

Classificações do Grupo B

Grupo		Tipo		Subtipo	
B	Seco	W	Árido	h	quente
				k	frio
		S	Semiárido	h	quente
				k	frio

Classificações do Grupo C

Grupo		Tipo		Subtipo	
C	Temperado	f	Sem estação seca	a	Verão quente
				b	Verão fresco
				c	Verão frio
		w	Inverno seco	a	Verão quente
				b	Verão fresco
				c	Verão frio
		s	Verão seco	a	Verão quente
				b	Verão fresco
				c	Verão frio

OBRIGADO

yuri.castilho@usp.br



GEPGEOQ