

Os Materiais Terrestres: Rochas e Minerais



https://1.bp.blogspot.com/-o2lX0LitMsY/Xi9T-gM42u/AAAAAACvOA/JcXLtxivGoWGxxwyzBm0fp-s80SNNK2ACLcBGAsYHQ/s640/cambara_do_sul%2B%252819%2529.jpg



<https://imagens.mfrural.com.br/mfrural-produtos-us/223277-237360-1240640-afloramento-de-granito-licenca-de-exploracao.jpg>



<https://conhecimentocientifico.r7.com/wp-content/uploads/2021/02/rochas-sedimentares-o-que-sao-principais-tipos-e-importancia-960x640.jpg>

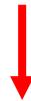


<https://static.mundoeducacao.uol.com.br/mundoeducacao/conteudo/afloramento-rochoso-alterado.jpg>

Processos cíclicos atuam na superfície da Terra



Superfície da Terra se encontra em contínua transformação sempre em busca do equilíbrio com as condições ambientais



Processos fazem com que os materiais que constituem a Terra sólida - **minerais e rochas** - sejam constantemente criados, transformados e destruídos pela ação da dinâmica interna e externa

A energia que gera as forças geológicas

Fontes

Interna

(energia residual)
(decaimento radioativo)



Rochas formadas no interior da terra
Rochas formadas na superfície

Externa

(energia solar)
(energia de marés)



Erosão e intemperismo
Transporte
Sedimentação

ROCHA

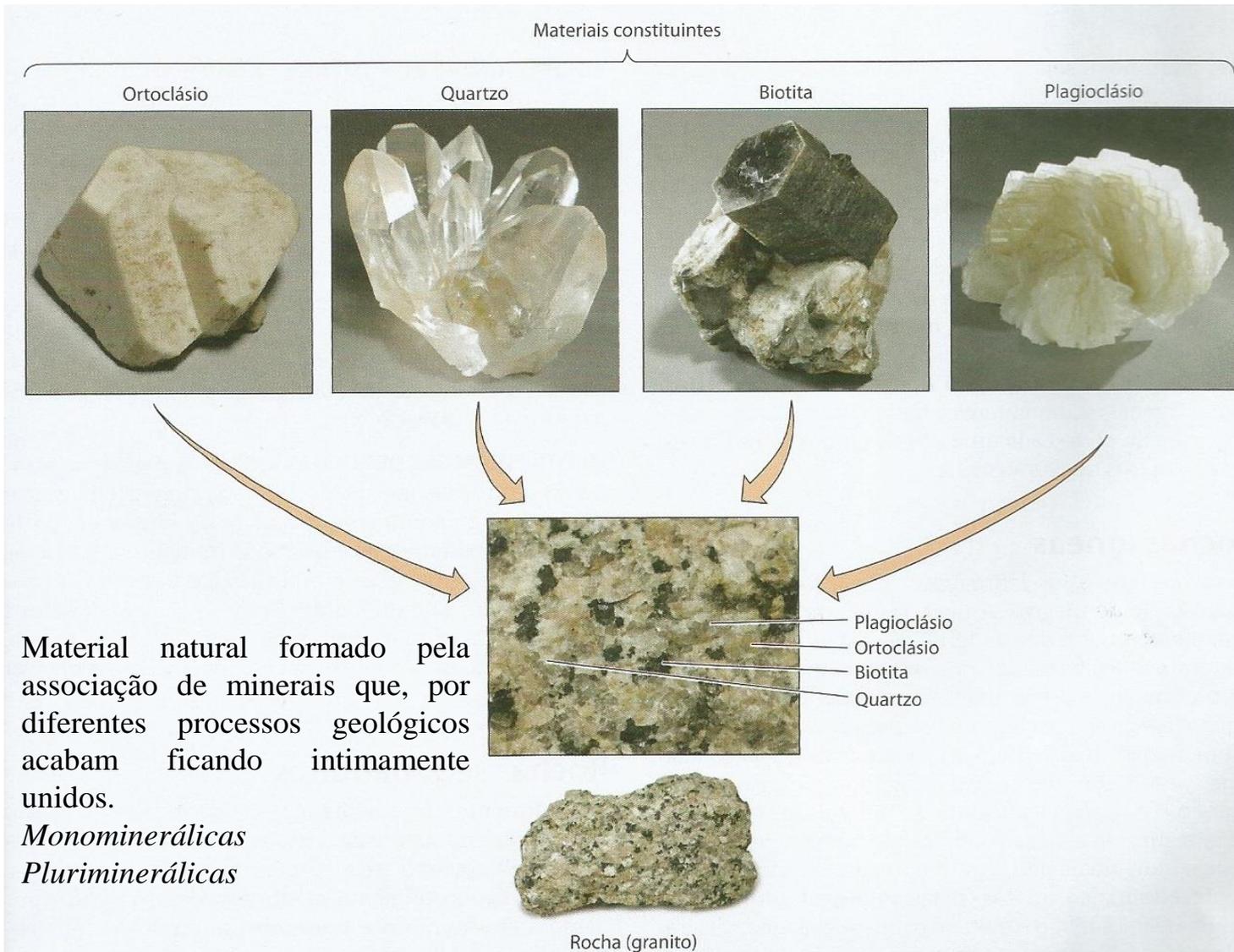


FIGURA 3.23 ■ Uma rocha é uma ocorrência natural de minerais agregados. [John Grotzinger/
Ramón Rivera-Moret/Harvard Mineralogical Museum]

MINERAIS

Elementos ou compostos químicos,

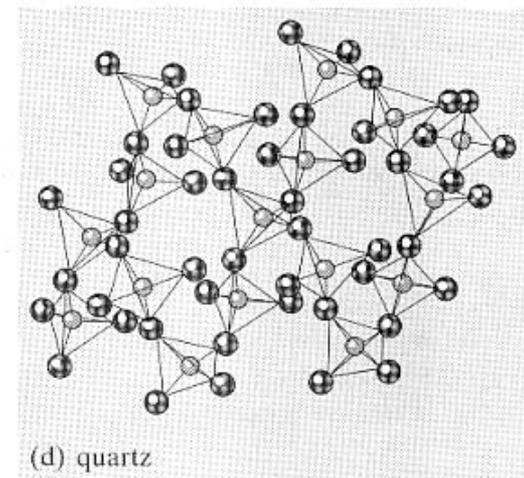
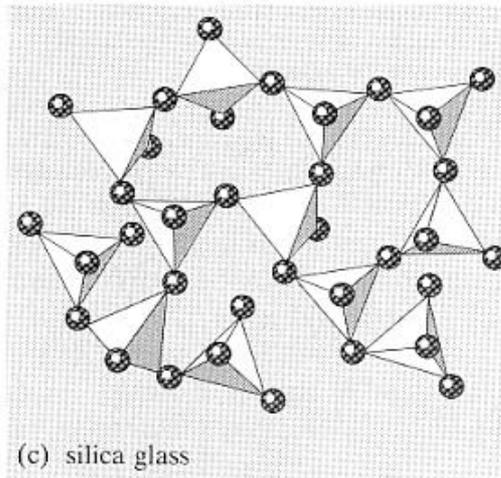
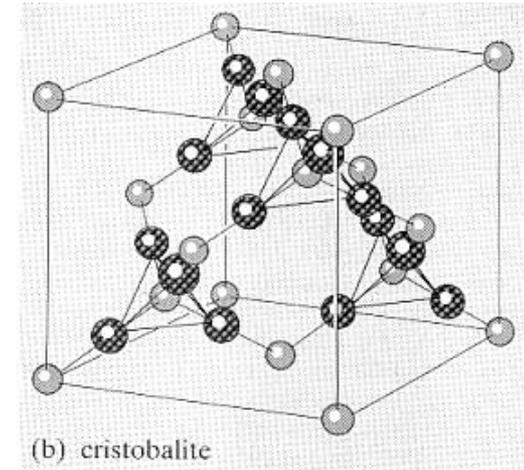
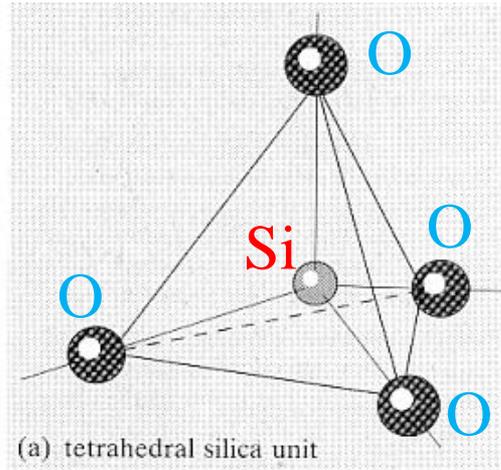
com *composição definida dentro de*

certos limites, cristalizados segundo uma

ordem tridimensional determinada, e

formada naturalmente por meio de

processos inorgânicos



Cristobalita (b) e Quartzo (d) – Material cristalino

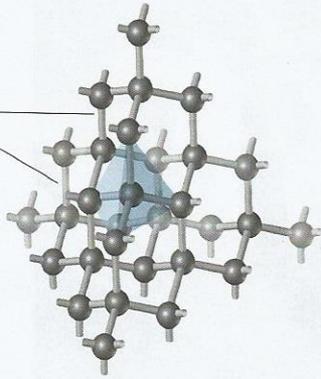
Vidro (c) – Material não cristalino ou amorfo

O **diamante** natural é formado nas altas pressões e temperaturas do manto terrestre.

Ligações fortes conectam átomos de carbono com empacotamento fechado em uma estrutura em forma de tetraedro.

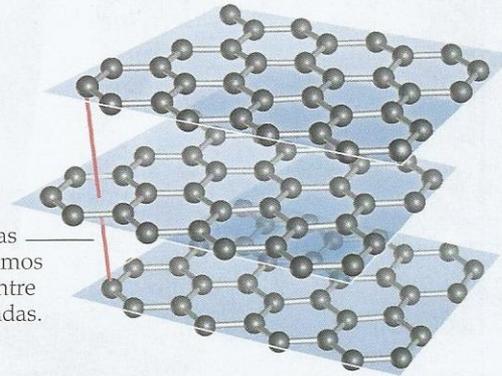


Diamante



A **grafita** forma-se em pressões e temperaturas mais baixas que o diamante. Ligações fortes conectam átomos de carbono dispostos em folhas.

Ligações fracas conectam átomos de carbono entre folhas alternadas.

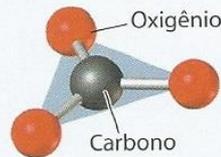


Grafita

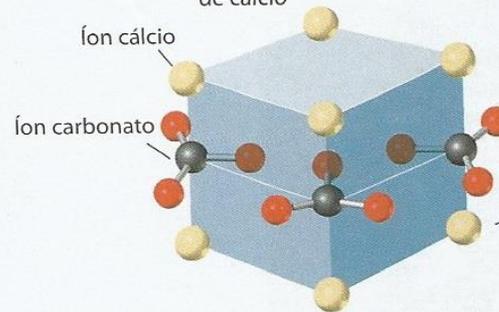
FIGURA 3.10 ■ A grafita e o diamante são **polimorfos**, estruturas alternativas formadas do mesmo composto químico, o carbono. [Fotos de John Grotzinger/Ramón Rivera-Moret/Harvard Mineralogical Museum]

Grotzinger & Jordan (2013)

(a) Íon carbonato (CO_3^{2-})



(b) Estrutura do carbonato de cálcio



Carbonato e cálcio dispõem-se em folhas alternadas.

(c) Calcita

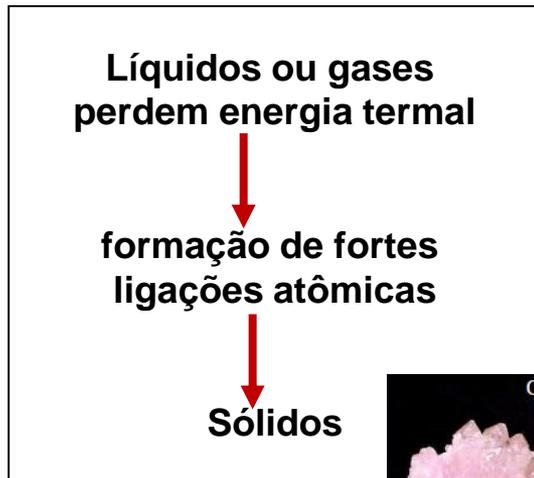


FIGURA 3.12 ■ Os carbonatos, como a calcita (carbonato de cálcio, CaCO_3), têm uma estrutura em camadas. (a) Vista do topo do íon carbonato, composto por um íon carbono circundado, em um triângulo, por três de oxigênio. (b) Vista das camadas alternadas de íons de cálcio e carbonato na calcita. (c) Calcita. [Foto de John Grotzinger/Ramón Rivera-Moret/Harvard Mineralogical Museum]

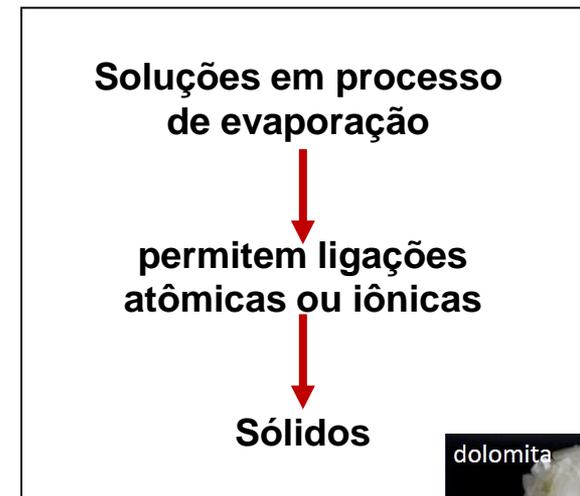
Formação dos minerais

CRISTALIZAÇÃO

RESFRIAMENTO

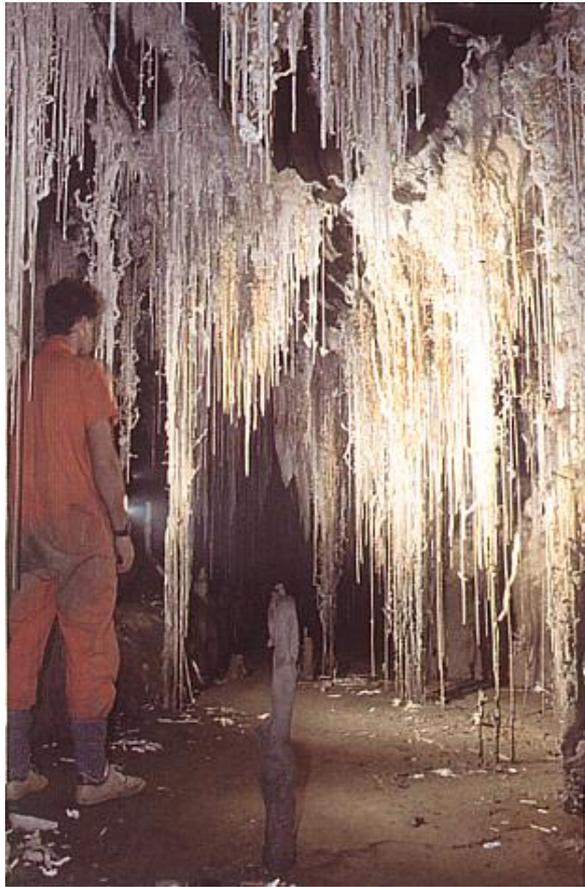


PRECIPITAÇÃO



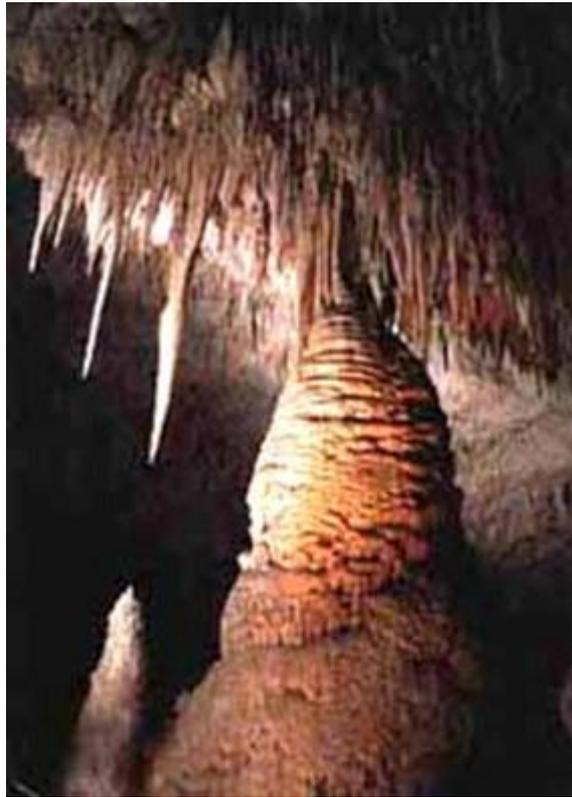
Condensação de vapores - enxofre

PRECIPITAÇÃO



Calcita

Teixeira et al. (2000)



<https://player.slideplayer.com.br/1/279647/data/images/img16.jpg>

PRECIPITAÇÃO



Sais clássicos (NaCl, KCl.....)



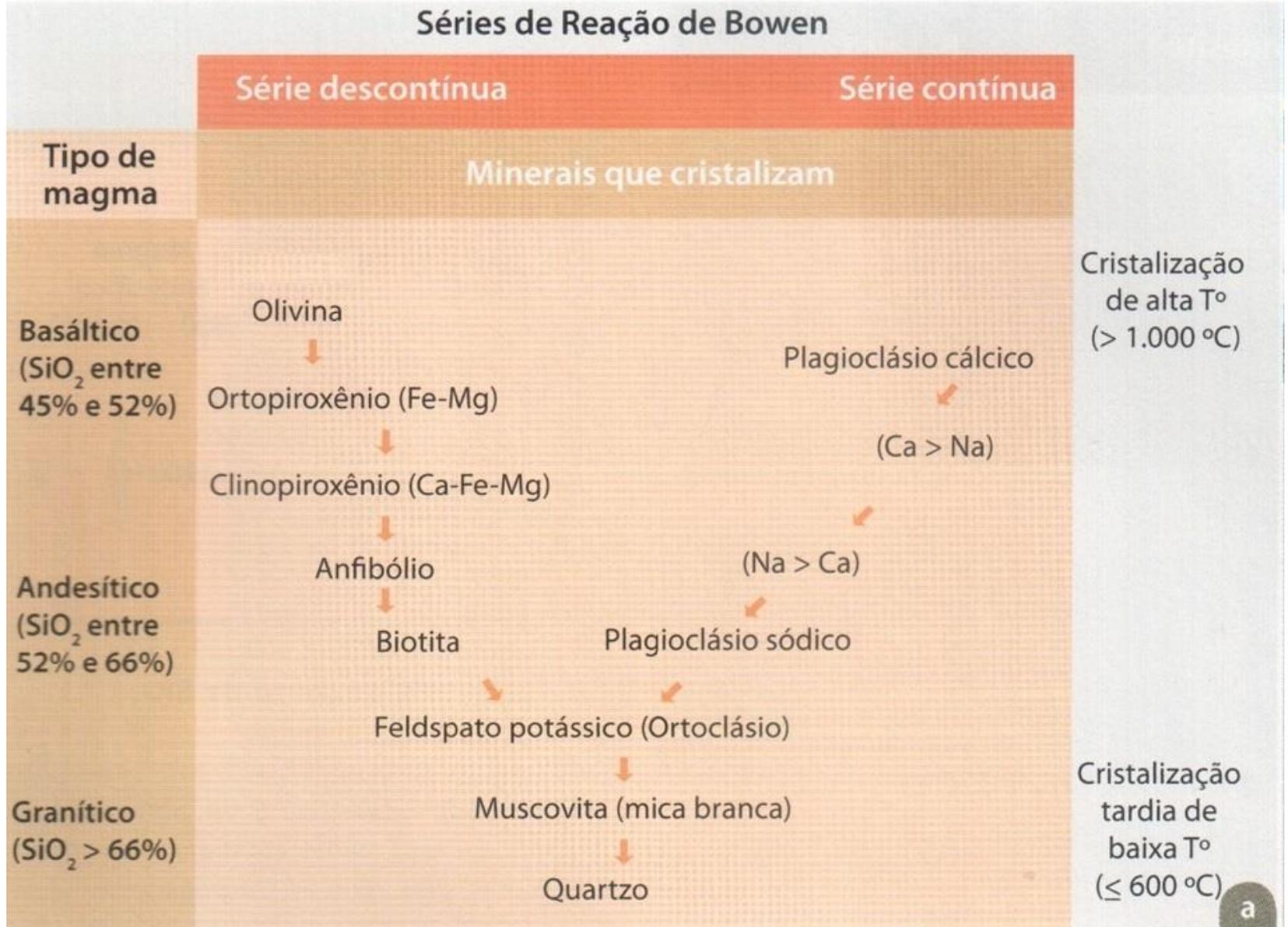
FIGURA 3.9 ■ Cristais de halita precipitando-se em uma moderna lagoa hipersalina na ilha de San Salvador, nas Bahamas. Note a forma cúbica dos cristais. [John Grotzinger]

Grotzinger & Jordan (2013)

RESFRIAMENTO



Minerais formadores das rochas (resfriamento do magma)



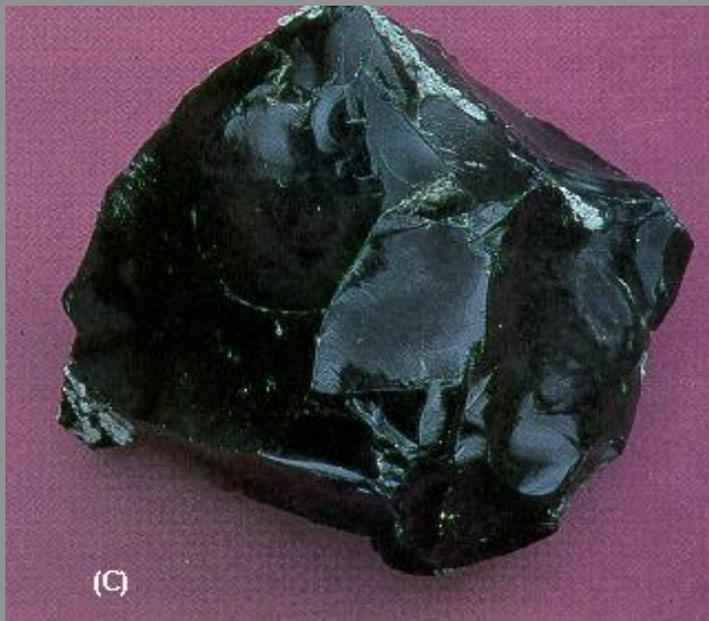
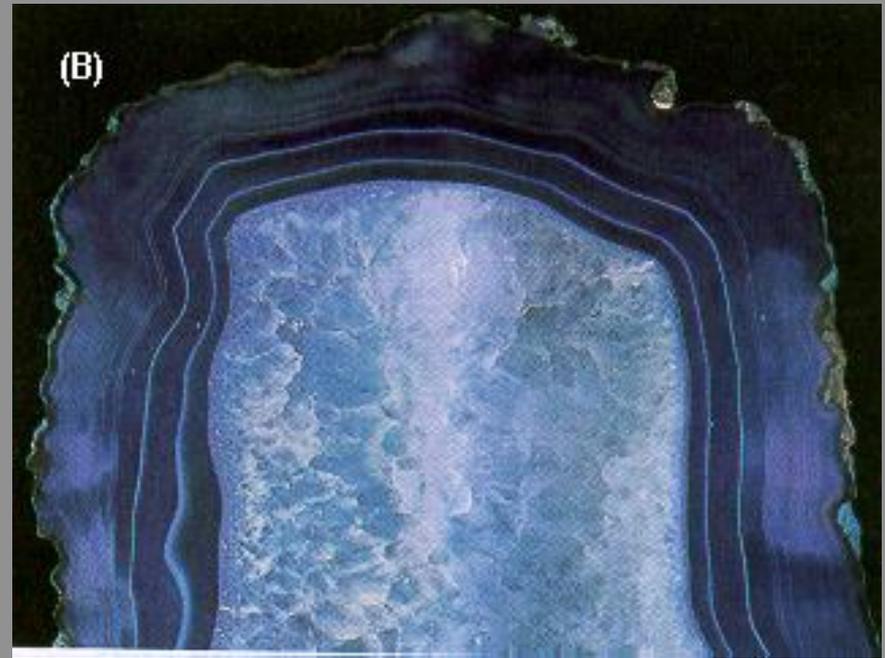
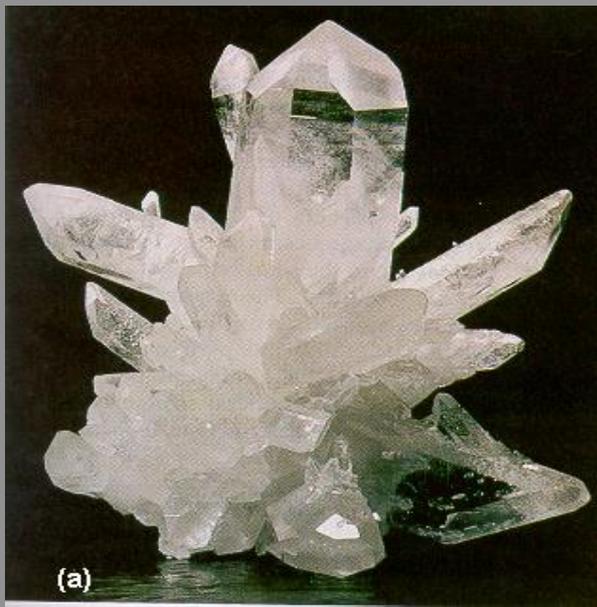
Condições de resfriamento

Lentas

Átomos se organizam em estruturas cristalinas formando cristais

Rápidas

Átomos não têm tempo de se organizarem, resultando um sólido sem estrutura cristalina. Não forma um mineral (mineralóide)

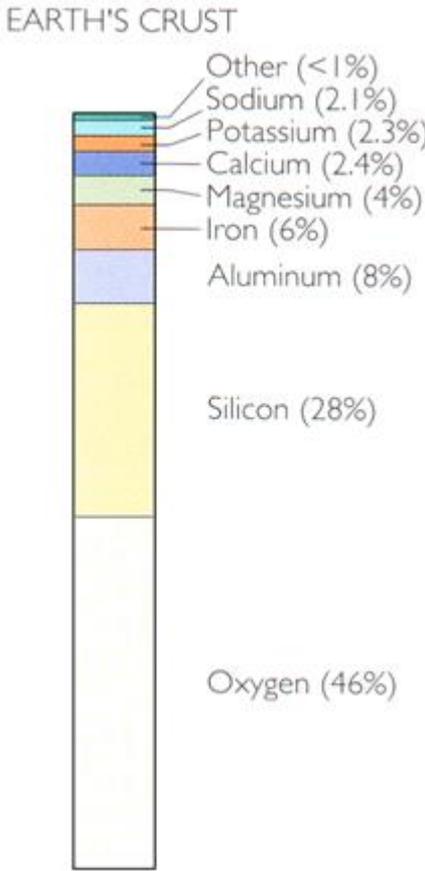


Formas desenvolvidas durante o crescimento mineral

- (a) cristal de quartzo formado em cavidades abertas
- (b) Quando o crescimento é impedido como o caso de quartzo preenchendo uma cavidade (geodo)
- (c) vidro vulcânico, resfriamento muito rápido falta um ordenamento interno do cristal (obsidiana)

Principais Grupos de Minerais

- Existem mais de 2000 espécies minerais na natureza
- Composição química simples da crosta (8 elem.=99% em peso) um pequeno número de minerais aparecem representados nas rochas que ocorrem na superfície da Terra



Minerais formadores de rochas

Silicatos (Si, O) – 97% da crosta

Constituição mineralógica (crosta)

Mineral	% em volume
Feldspatos	58
Piroxênio e Anfibólio	13
Quartzo	11
Micas e Argilominerais	10
Olivinas	3
Epidoto, Granada, Zeólita	2
Carbonatos, Óxidos, Sulfetos	3%

Silicatos

Os silicatos são os minerais mais abundantes na superfície da litosfera. Neste grupo estão **minerais primários herdados das rochas originais**, bem como os **argilominerais (minerais secundários)**, neoformados durante os processos de intemperismo e da pedogênese.

adaptada de Press & Siever (1998)

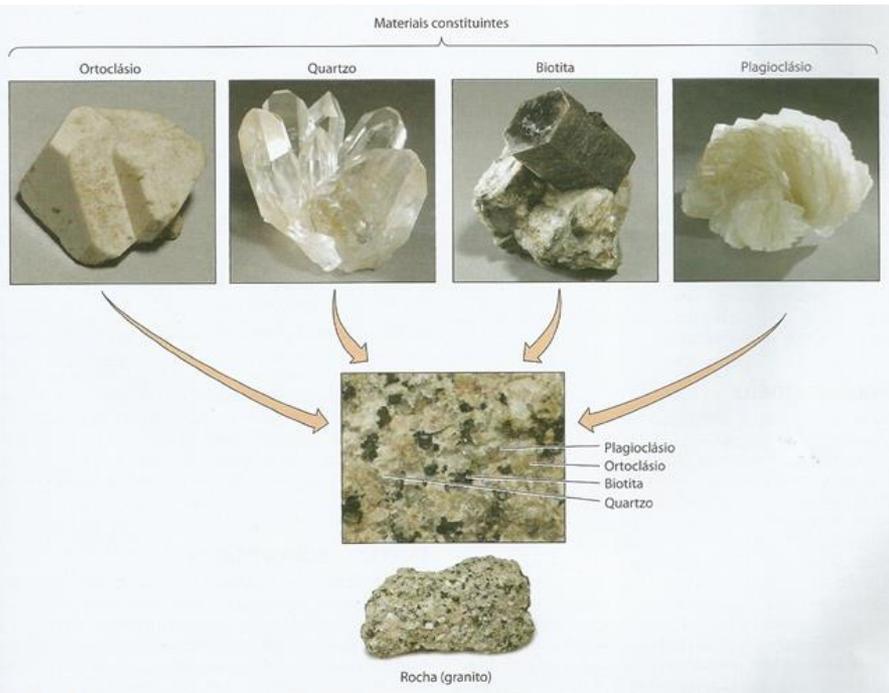
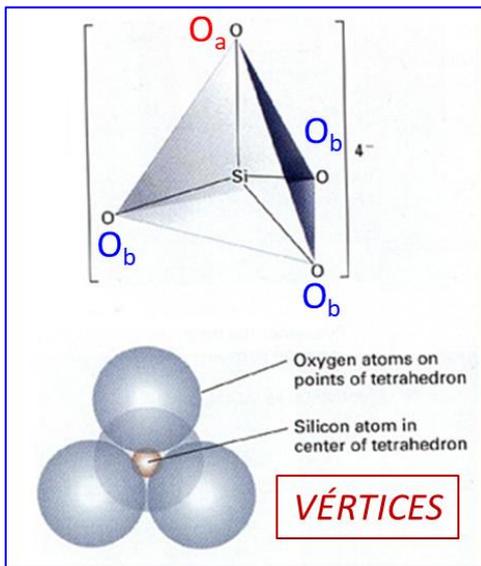


FIGURA 3.23 ■ Uma rocha é uma ocorrência natural de minerais agregados. [John Grotzinger/Ramón Rivera-Moret/Harvard Mineralogical Museum]

Estruturas dos Silicatos

★ São os minerais mais abundantes na superfície da litosfera



★ A estrutura fundamental dos silicatos consiste em um arranjo de quatro O^{2-} dispostos nos vértices de um tetraedro regular circundando e sendo coordenado por um átomo de Si^{4+} no centro

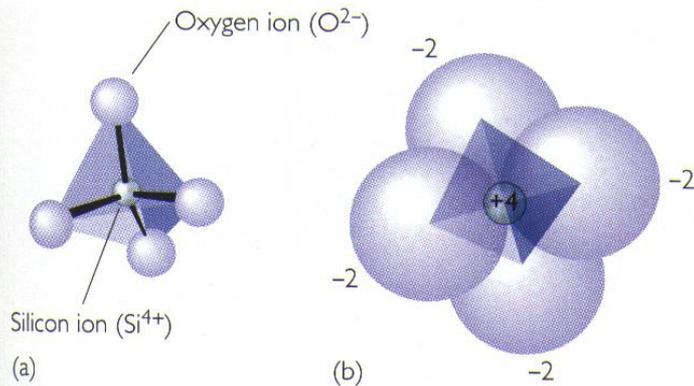


FIGURE 2.16 Silicate ion. (a) A model showing the structure of the silicon-oxygen tetrahedron. In the center of this figure is one silicon ion carrying a positive charge of 4. It is surrounded by four oxygen ions, each carrying a minus charge of 2. After bonding, the resulting silicate ion carries a negative charge of 4 (4 minus 8 equals -4). (b) A more realistic model of the silicate ion with the atoms drawn to scale and filling space.

Press & Siever (1998)

★ As ligações entre o Si e O são 50% iônica (atração pelos íons de cargas opostas) e 50% covalente (compartilhamento de elétrons)

Tetraedros – alta carga negativa (- 4) – se polimerizam e se ligam uns aos outros formando cadeias ou camadas de moléculas, ligadas pelos oxigênios

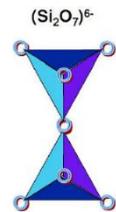
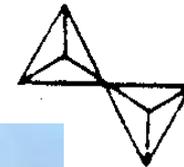
★ A classificação dos silicatos está baseada no grau de polimerização dos grupos $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ligados por vértices comuns

Nesosilicatos: são constituídos de tetraedros isolados, sem vértices comuns. Os grupos $[\text{SiO}_4]^{4-}$ são ligados entre-si por cátions de tamanho médio. Os principais nesossilicatos são : olivinas, zircão, granadas



Zircão
 ZrSiO_4

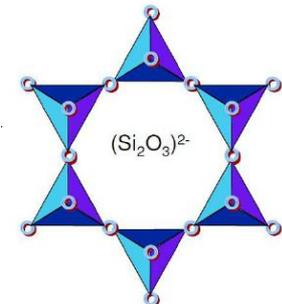
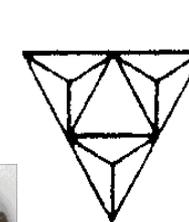
Sorosilicatos: são constituídos de pares de tetraedros ligados por um vértice em comum. Os principais representantes são os epidotos



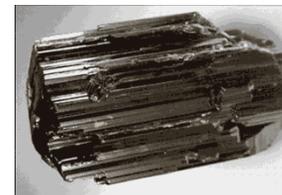
Epidoto



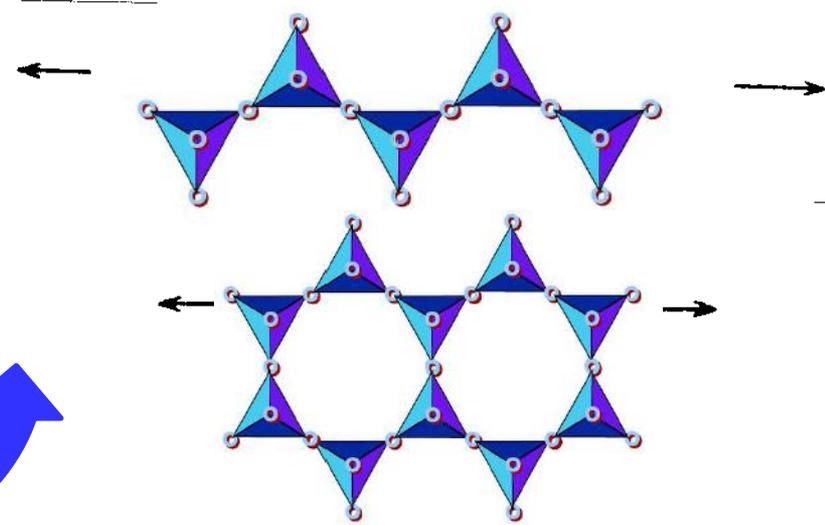
Ciclossilicatos: são constituídos de tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$ com dois vértices comuns agrupados em anéis de 3, 4, 6 tetraedros ou mais. Os principais são berilo, turmalina, cordierita



Turmalina



Inossilicatos: são constituídos de tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$ com dois ou três vértices comuns, agrupados em cadeias lineares simples ou duplas. Os principais representantes dessa categoria são os piroxênios (cadeias simples, inossilicatos em cadeia) e os anfibólios (cadeias duplas, inossilicatos em fitas)



Piroxênio - augita

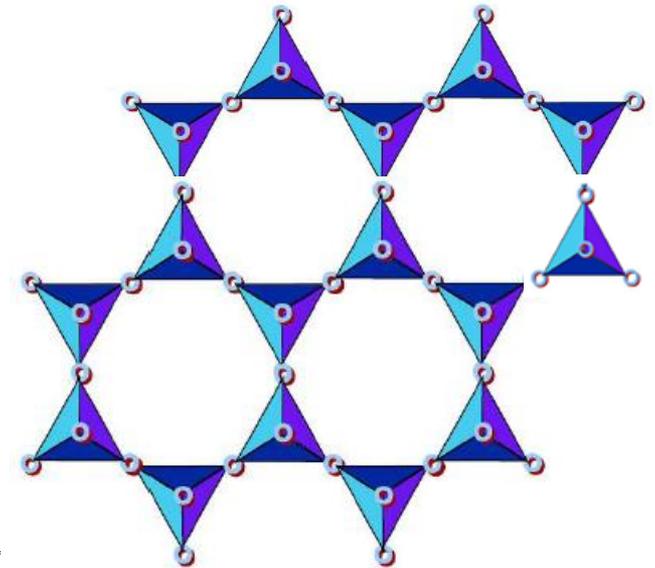


Anfibólio - hornblenda





Filossilicatos: são constituídos de tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$ com três vértices em comum, arranjados em camadas bidimensionais. Os principais constituintes são as micas, coloritas, argilominerais, talco, pirofilita e serpentinas



Muscovita



Biotita





Quartzo

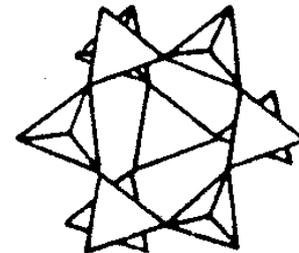
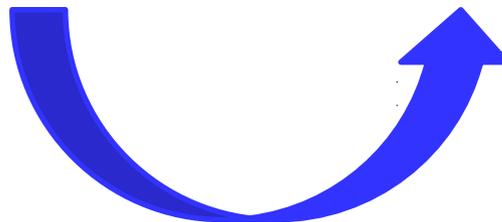
Feldspato



Quartzo



Tectosilicatos: são constituídos de tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$ com quatro vértices comuns, portanto todos ligados entre-si, formando um arranjo tridimensional. Sua formula geral é $[(\text{Si,Al})\text{O}_2]^n$. Os principais são quartzo, feldspatos, feldspatóides, zeolitas



Outros minerais formadores das rochas

3% dos minerais



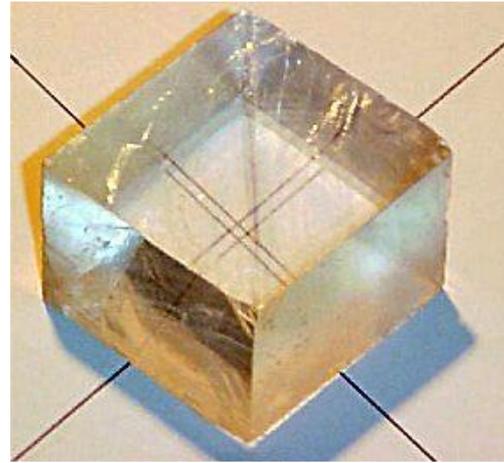
Óxidos
Hidróxidos
Carbonatos
Sulfetos
Sulfatos
Halóides
Elementos nativos

Normalmente aparecem nas rochas em quantidades reduzidas.

Quando concentrados formam, em geral, minérios (calcário, hematita, gibbsita, calcopirita, galena, gipso, evaporitos).



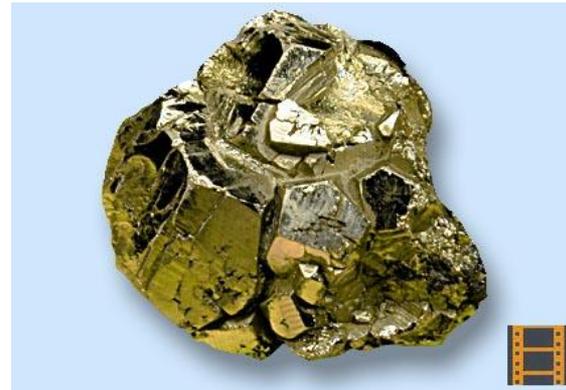
Quartzo (SiO_2)



Calcita (CaCO_3)



Hematita (Fe_2O_3)



Pirita (FeS_2),



Goethita (FeOOH)



Gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),



Halita (NaCl)



Ouro (Au)

ROCHAS: Unidades formadoras da crosta

Quanto à gênese
(processos geológicos)

Ígneas ou magmáticas

Sedimentares

Metamórficas

Diferenciam-se → **mineralogia** (tipo e quantidade)
textura (forma e tamanho)
estrutura (modo de associação)

Energia interna
→
Altas P e T

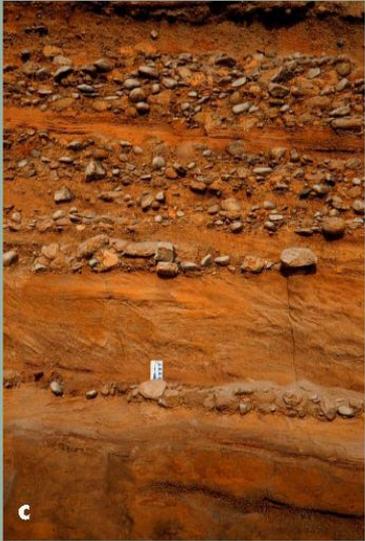
**abalos sísmicos
atividades vulcânicas
movimentos tectônicos**

Energia externa
→
baixas P e T

**Intemperismo
Erosão**

Rochas ígneas – (i) ataques de agentes atmosféricos e organismos fragmentam (clastos) e dissolvem minerais (ii) Agentes erosivos (água, vento, gelo) transportam e depositam (iii) sedimentos incoerentes (iv) expulsão de água e cimentação (v) **rochas sedimentares** (vi) aumento de P e T (vii) **rochas metamórficas** (viii) aumento ainda maior de P e T fusão total ou parcial (ix) regenera **rocha ígnea** (x) início de novo ciclo

Fig. 2.12 O CICLO DAS ROCHAS



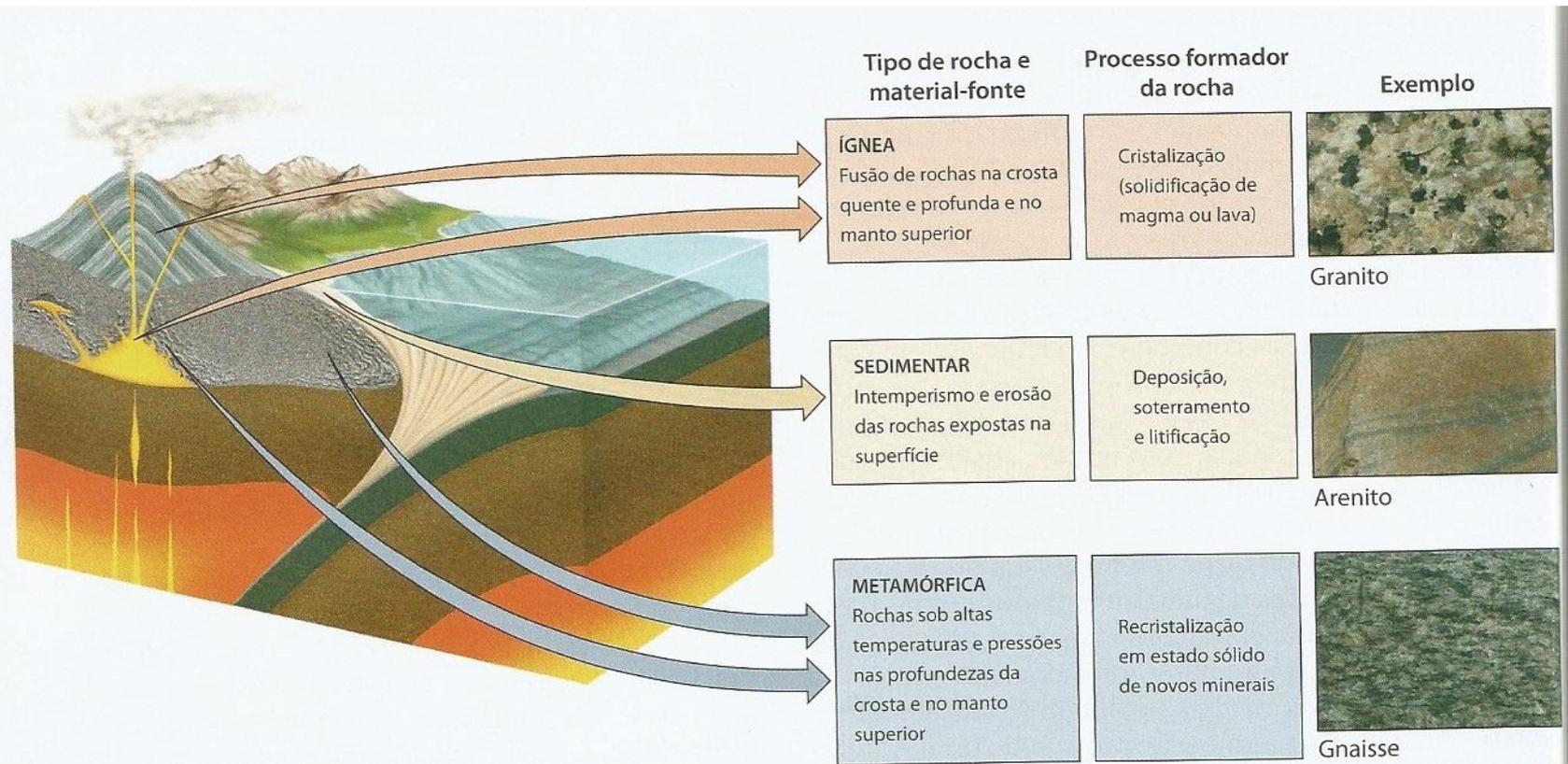


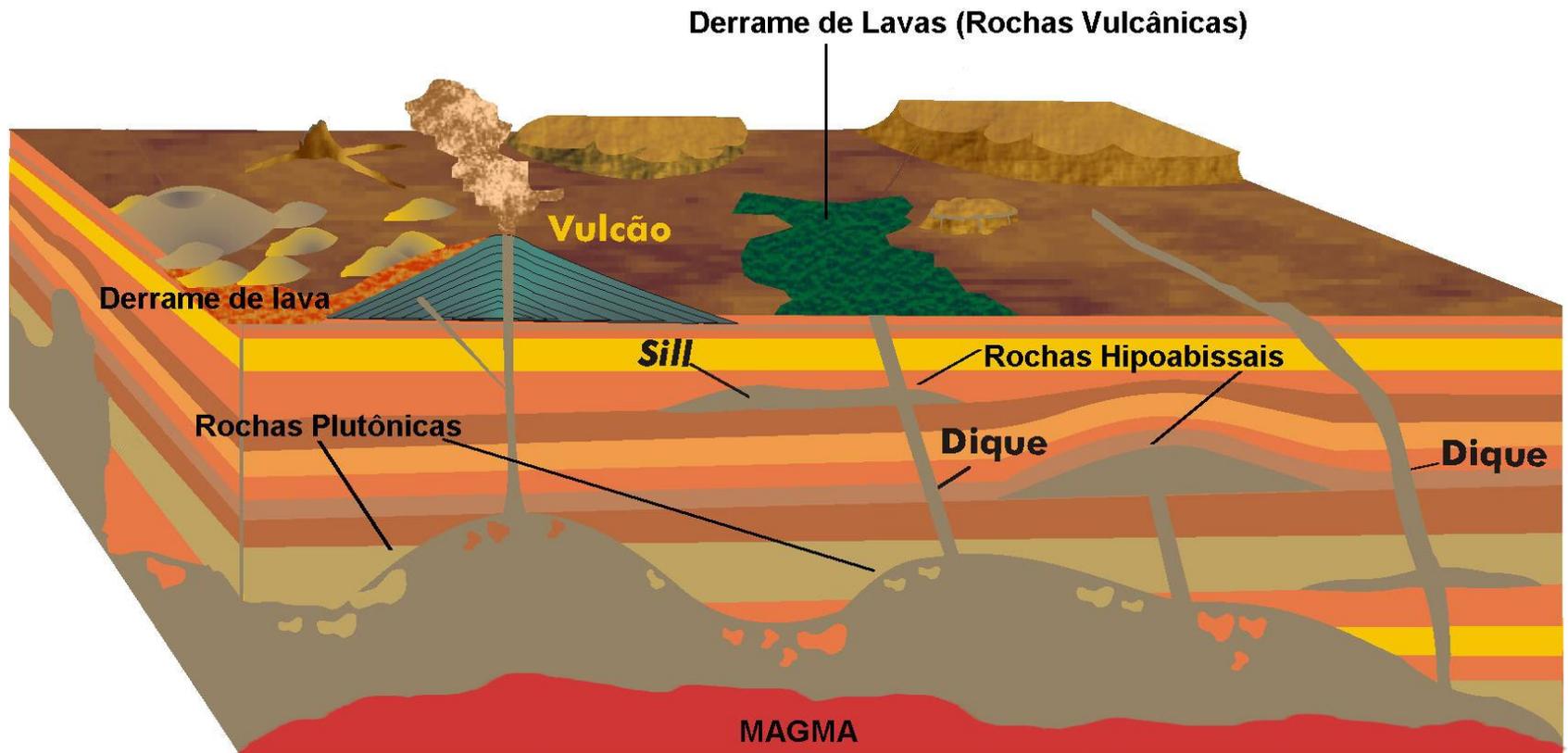
FIGURA 3.24 ■ As três famílias de rochas são formadas em diferentes ambientes geológicos e por diferentes processos. [*granito e gnaisse*: John Grotzinger/Ramón Rivera-Moret/Harvard Mineralogical Museum; *arenito*: John Grotzinger/Ramón Rivera-Moret/MIT]

Rochas ígneas ou magmáticas

Resfriamento
do magma

Intrusivas/Plutônicas – **resfriamento no interior da Terra**
(hipoabissal)

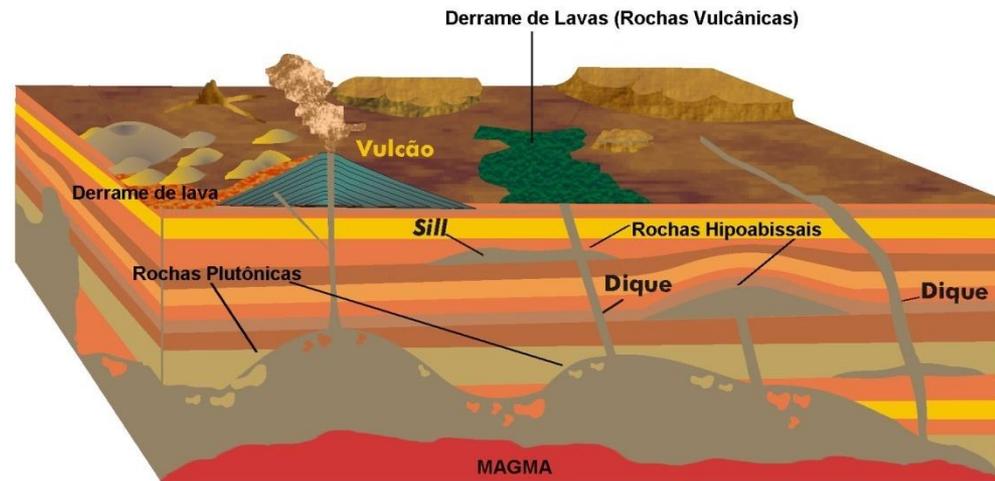
Extrusivas ou vulcânicas – **resfriamento na superfície**

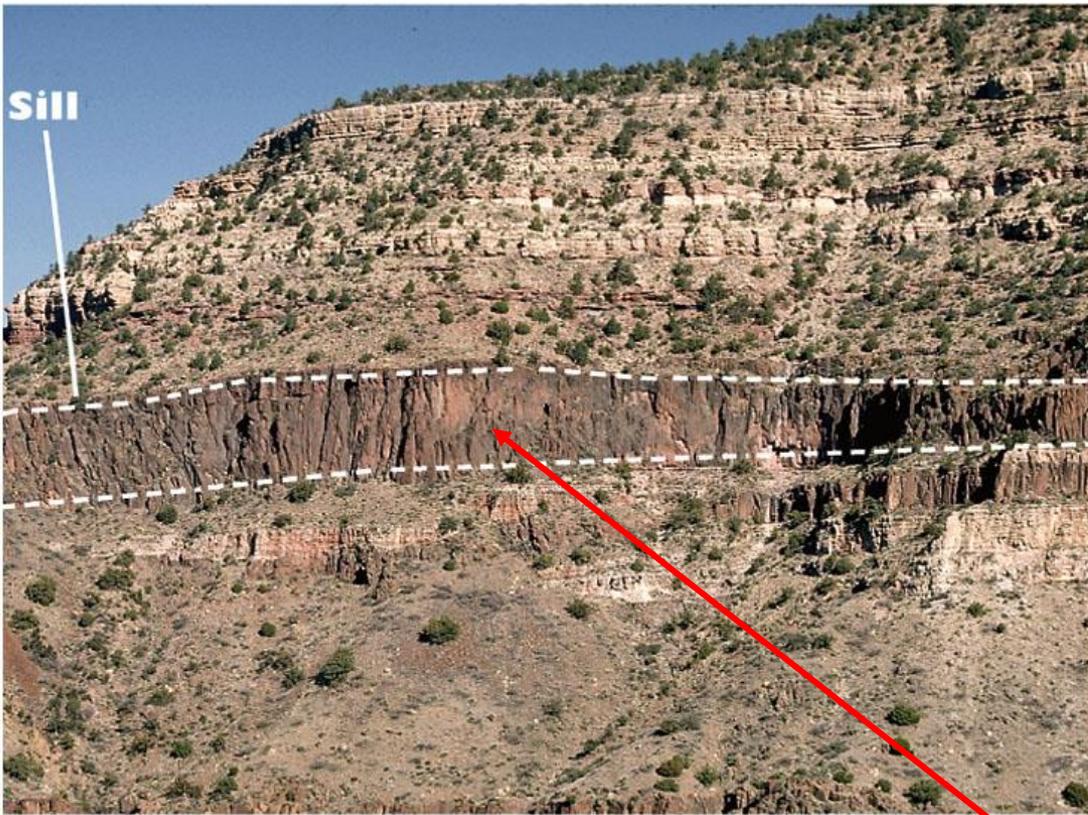


adaptada de Teixeira et al. (2000)

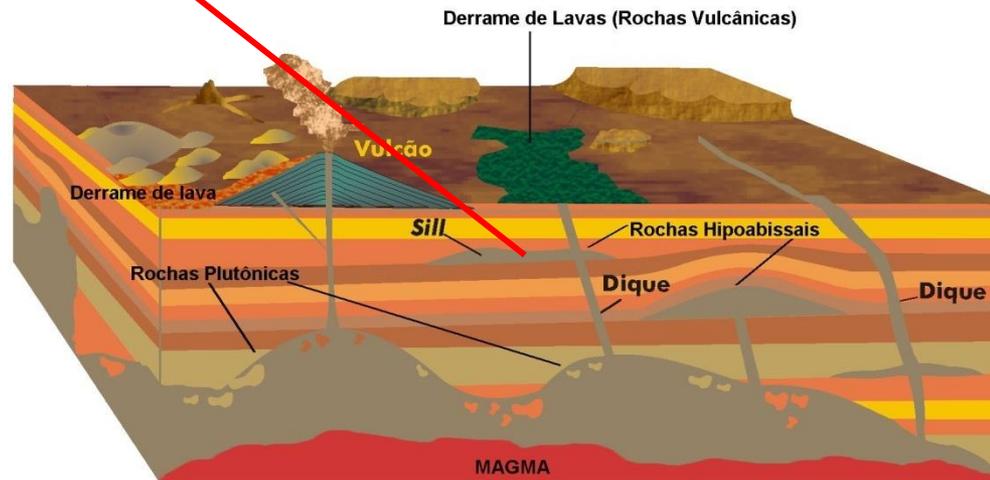


Rocha ígnea plutônica - Batólito granítico



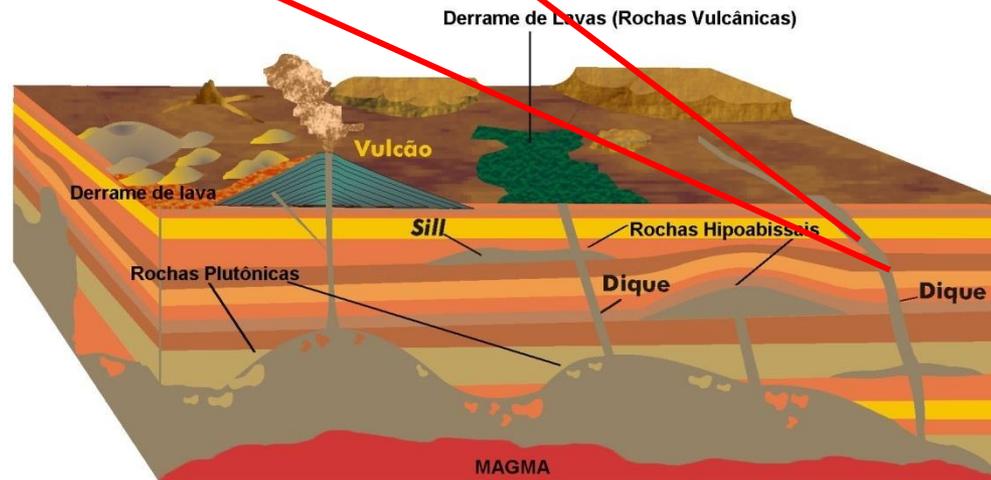


Sill (soleira) de diabásio intrusivo em rochas sedimentares





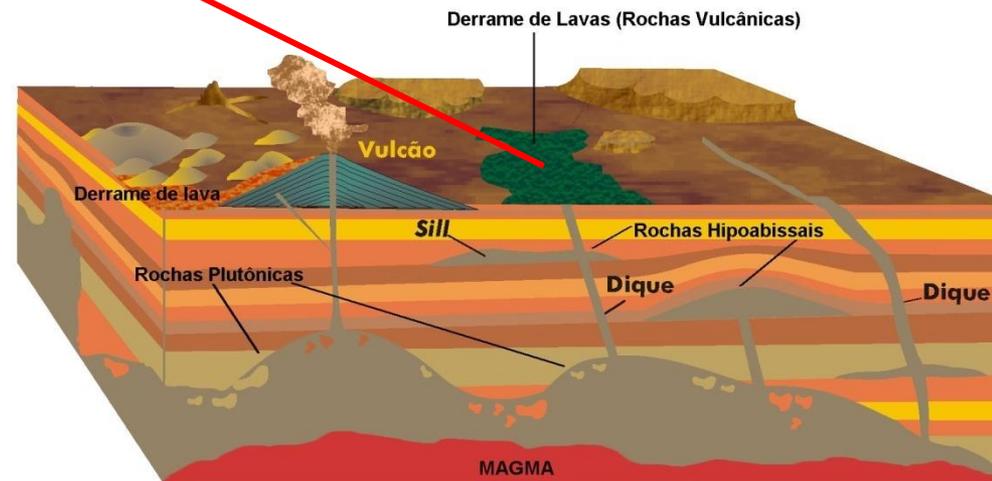
Dique de diabásio



Extrusivas ou vulcânicas



Lava vulcânica parcialmente consolidada

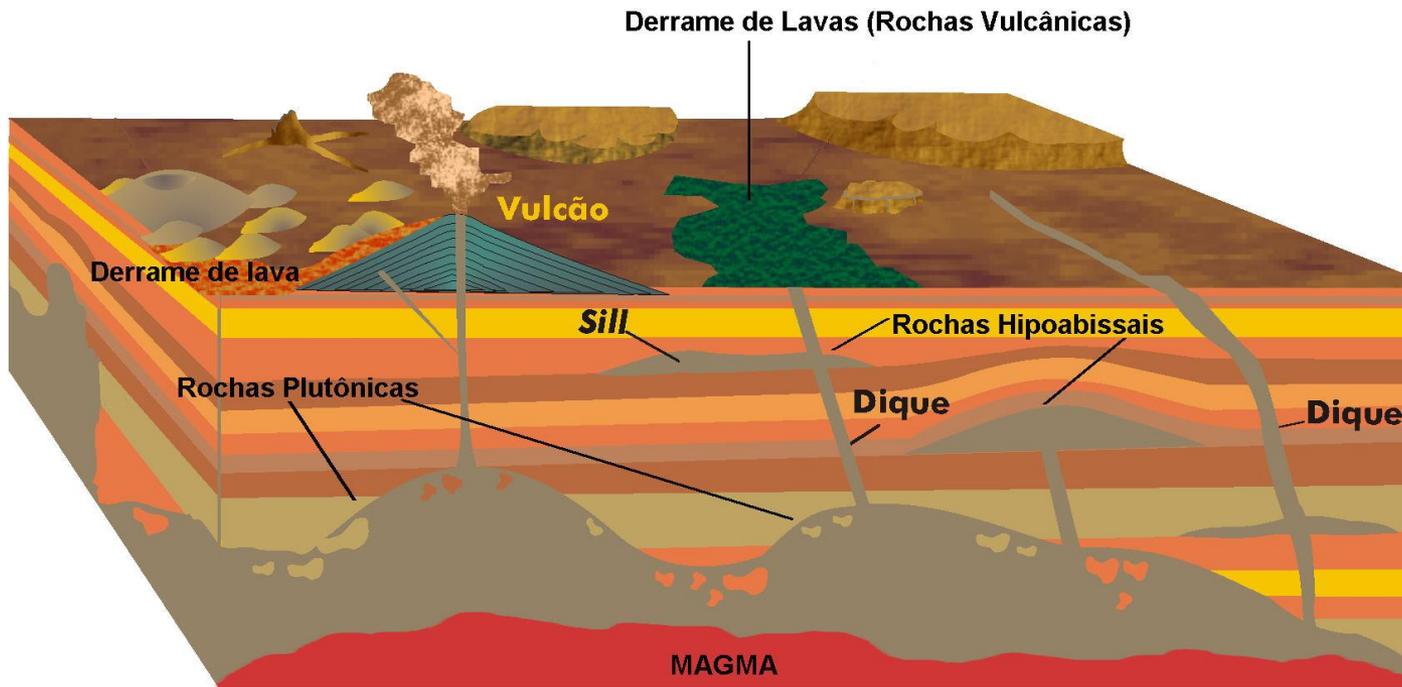




Extrusivas ou vulcânicas

Nos derrames continentais são produzidas disjunções colunares – contração muito rápida do magma ao se solidificar





adaptada de Teixeira et al. (2000)

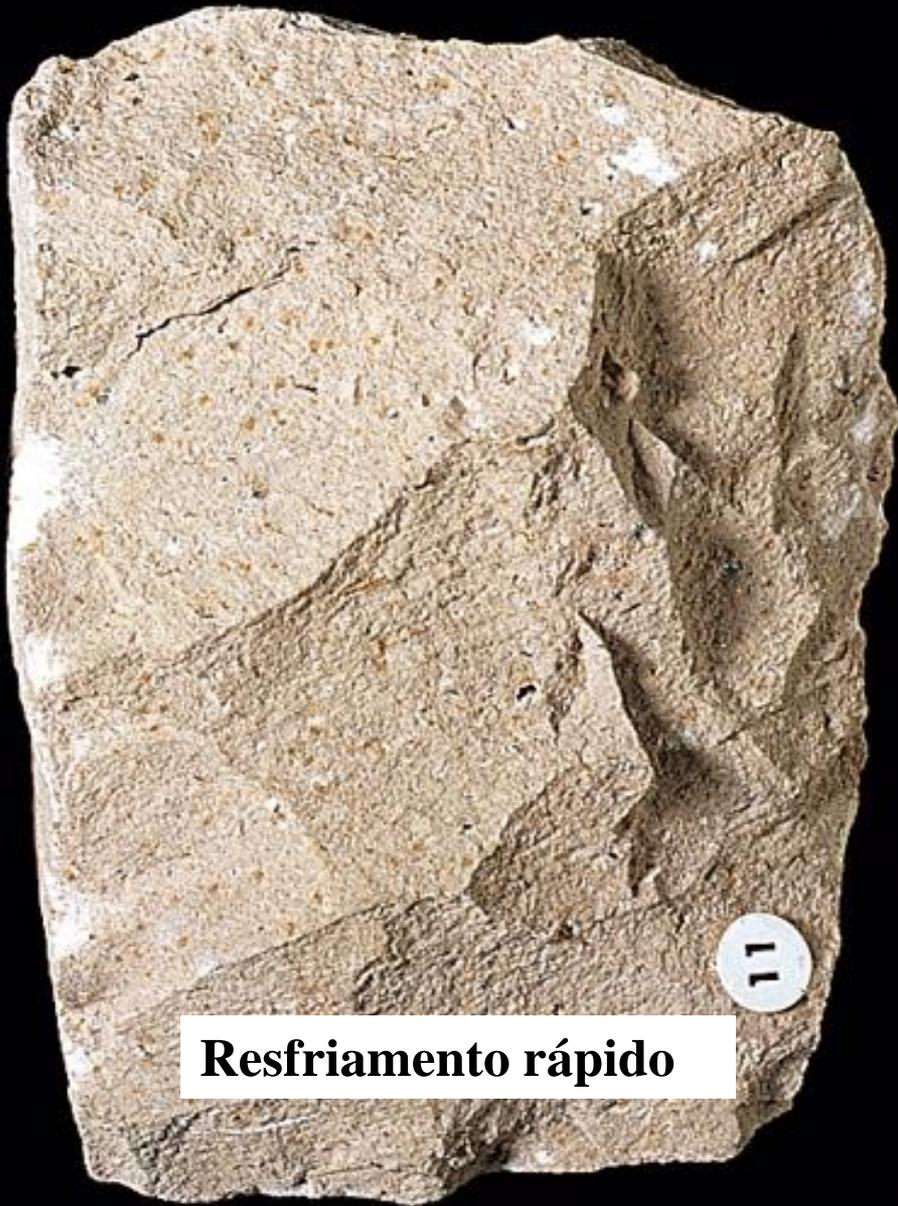
Textura

Resfriamento lento – minerais maiores (centimétricos)

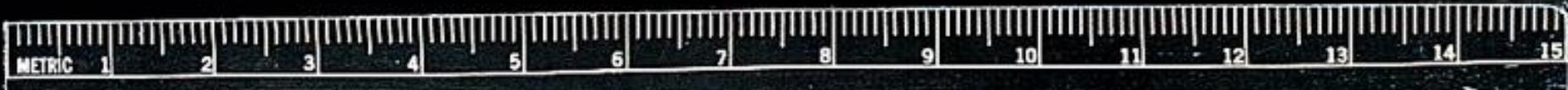
Resfriamento rápido – minerais menores ou amorfos



Resfriamento lento

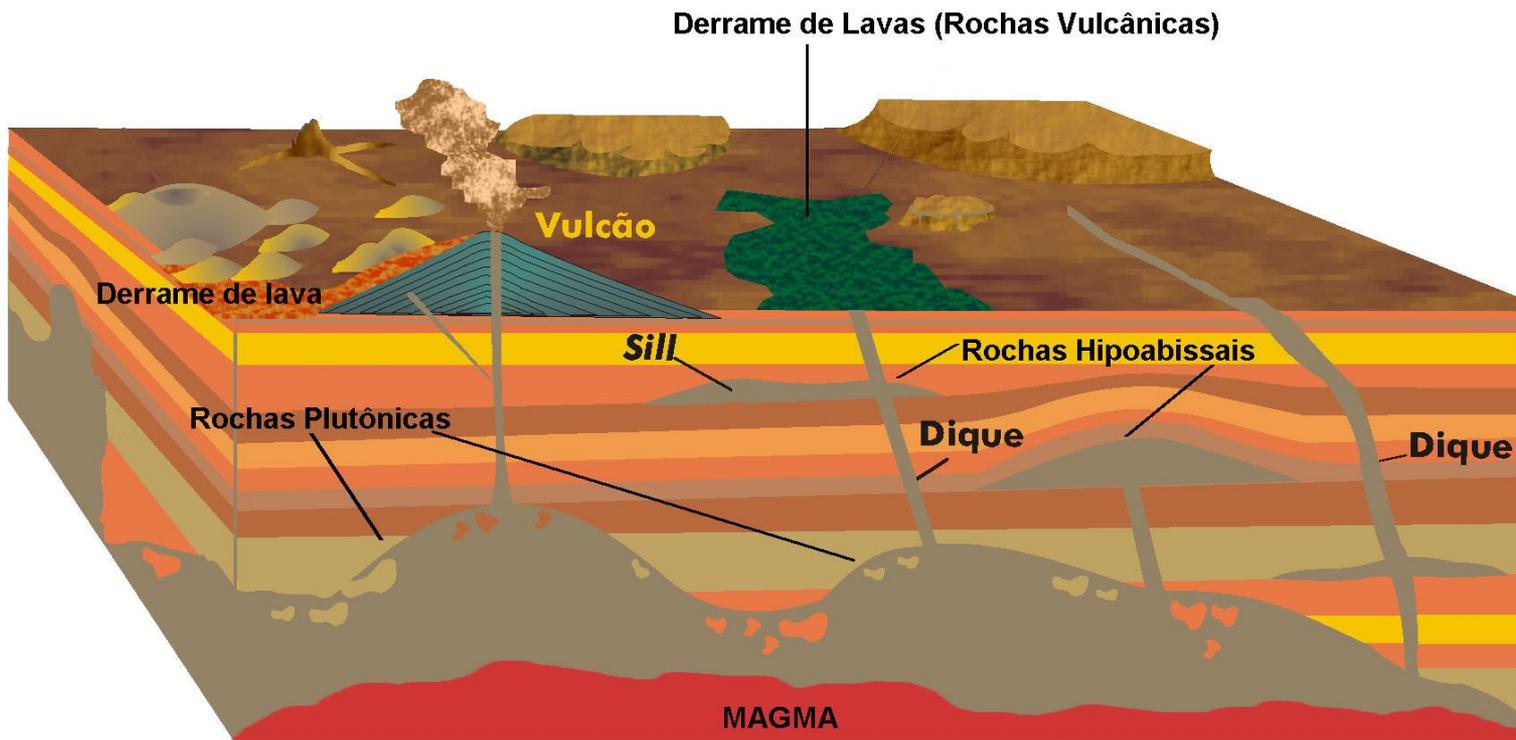


Resfriamento rápido





Granito - Minerais predominantes: plagioclásio (branco), ortoclásio (rosado/laranja), quartzo (transparente/acinzentado), biotita (preto).



adaptada de Teixeira et al. (2000)

Mineralogia

Minerais escuros (Fe e Mg) – rochas máficas (basalto)

Minerais claros (Si e Al) – rochas siálicas (granito)

Rochas máficas

Rochas intermediárias

Rochas félsicas

Rochas ígneas extrusivas



Basalt



Andesite



Rhyolite

Rochas ígneas intrusivas



Gabbro



Diorite



Granite

diminuição do tamanho dos minerais

aumento do conteúdo de sílica

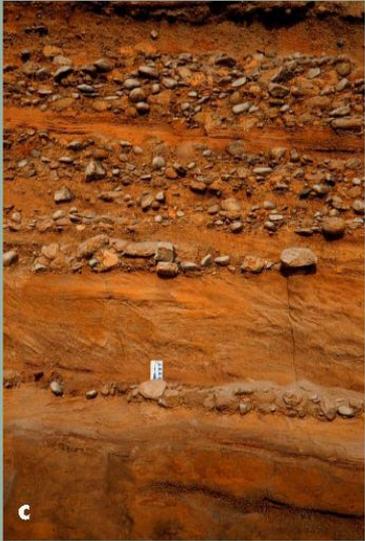
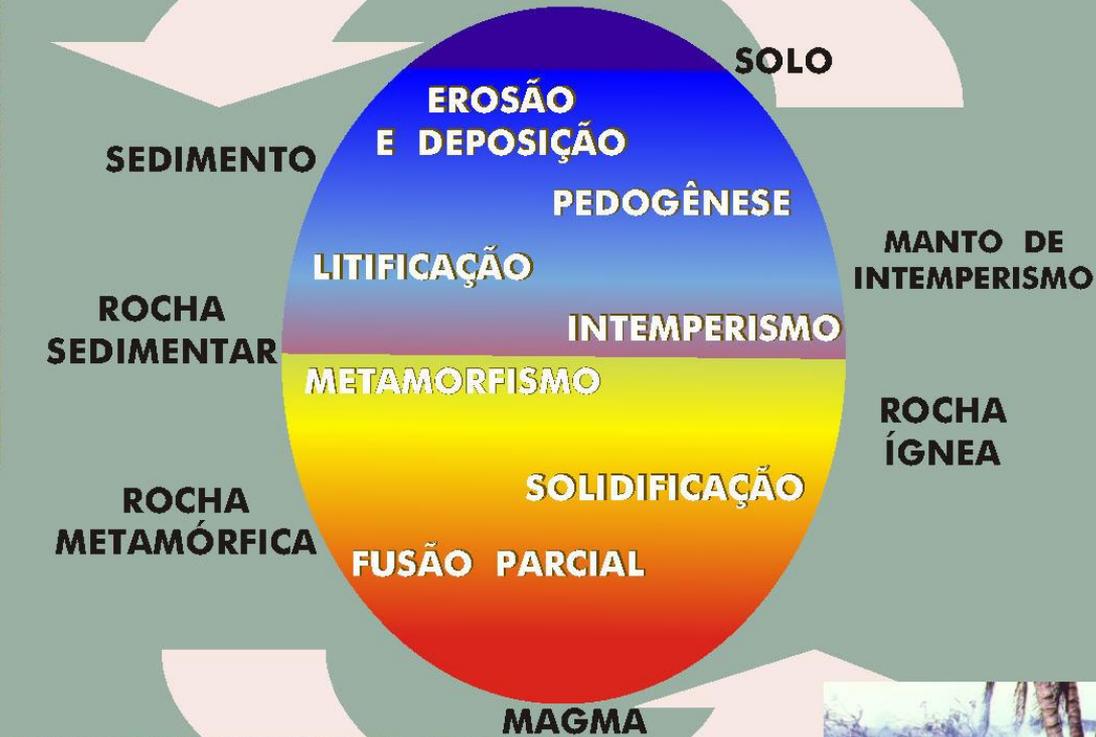
Merritts et al. (1998)



aumento do conteúdo de ferro e magnésio

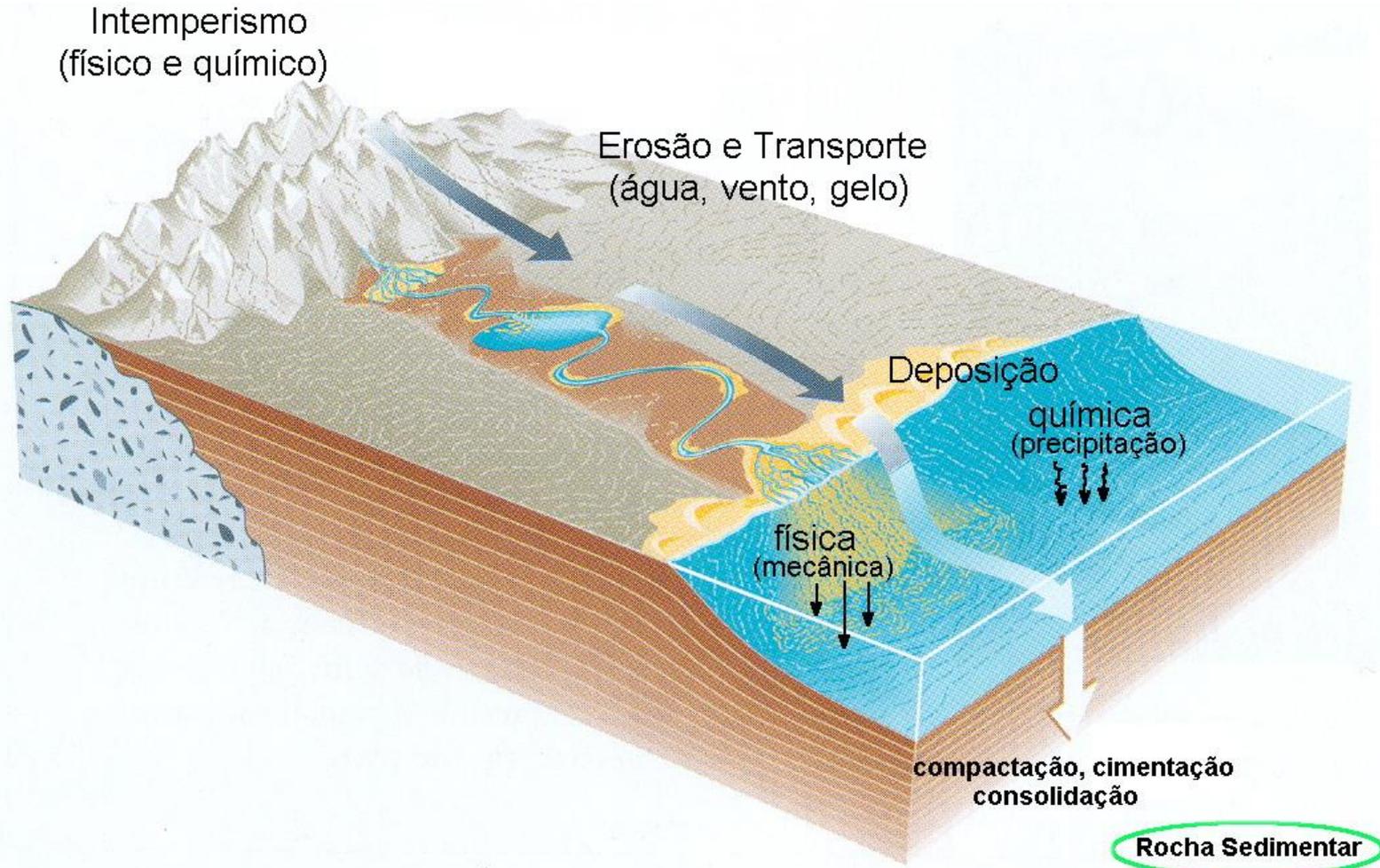


Fig. 2.12 O CICLO DAS ROCHAS

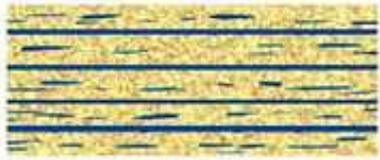


Rochas sedimentares

Gênese { **Compactação/cimentação de fragmentos de rochas preexistentes**
(intemperismo e pedogênese + transporte por vento, água, gelo, etc + deposição)
Precipitação de íons em solução (gerada pelo processo de intemperismo)



Compactação



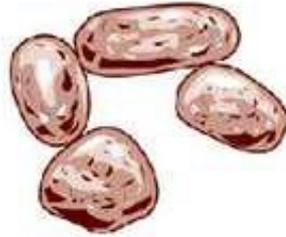
50 a 60% de água



10 a 20% de água



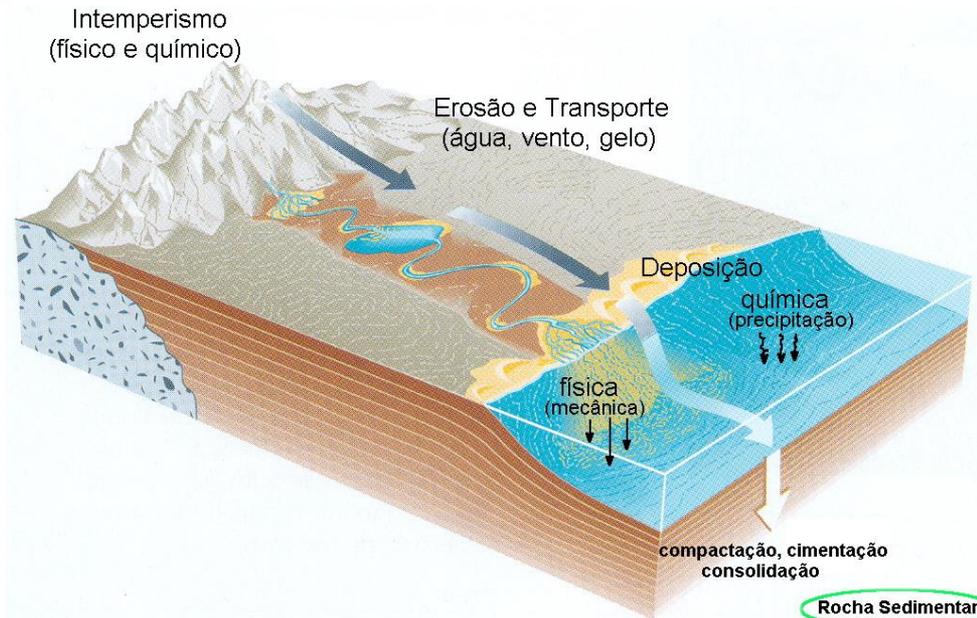
Cimentação



substâncias
cimentantes



LITIFICAÇÃO OU DIAGÊNESE



Rochas sedimentares

Rochas clásticas

Intemperismo físico – compactação/cimentação de partículas (clastos) por processos de diagênese ou litificação na superfície (*P baixa e T no máximo de 250°C*). De acordo com o tamanho dos clastos: conglomerado, arenito, siltito e argilito

Rochas químicas

Intemperismo químico – precipitação dos radicais salinos produzidos pela dissolução dos minerais primários e dissolvidos nas águas de rios, lagos e mares. Principais cátions: Na, K, Ca e Mg

Rochas orgânicas/biogênicas

Acumulações orgânicas - restos de vegetais, Conchas de animais, excrementos de aves, etc. São pseudo-rochas, pois suas partículas não são minerais. Ex: turfa, coquina, guano

**Rocha sedimentar
(Vila Velha - PR)**



Afloramentos de rochas sedimentares cenozóicas da Bacia de São Paulo

- 1** Troncos fósseis carbonificados
- 2** Brechas com clastos de argila
- 3** Conglomerados
- 4** Camadas de arenitos ricos em matéria orgânica
- 5** Arenitos médios a grossos com estratificação cruzadas

**Rocha sedimentar
de origem glacial
(Varvito – Itú)**



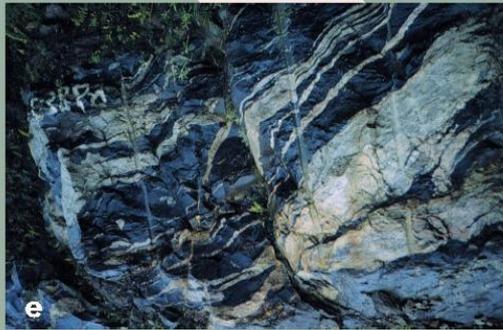
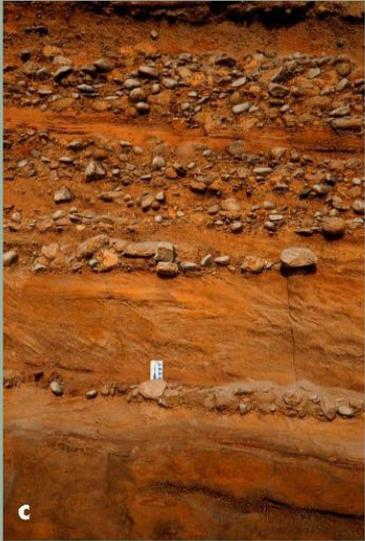


- 1 Cascalheira em terraço fluvial do rio do Braço (Cruzeiro, SP)**
- 2 Depósito glacial (diamectitos)**
- 3 Estratificação cruzada**



Estratificação cruzada

Fig. 2.12 O CICLO DAS ROCHAS



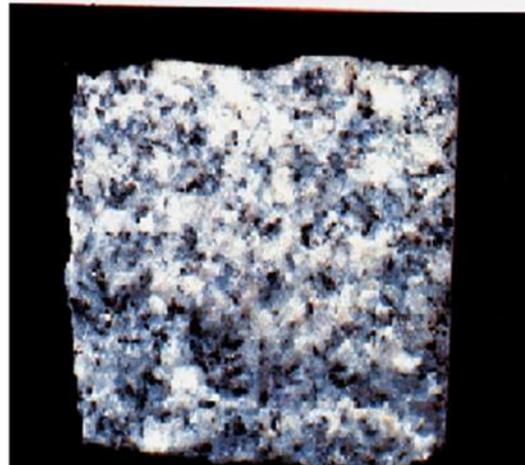
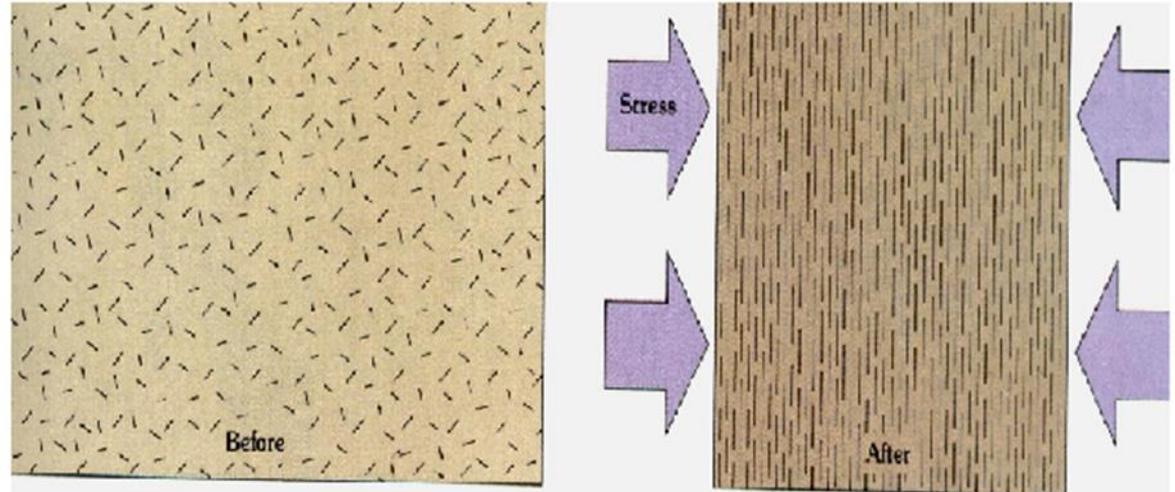
Rochas metamórficas

- ✓ Transformação de rochas pré-existentes no estado sólido sob a ação de P e T elevadas (***Ponto de fusão dos minerais não é atingido***).
- ✓ Rochas são orientadas (foliação) e normalmente dobradas

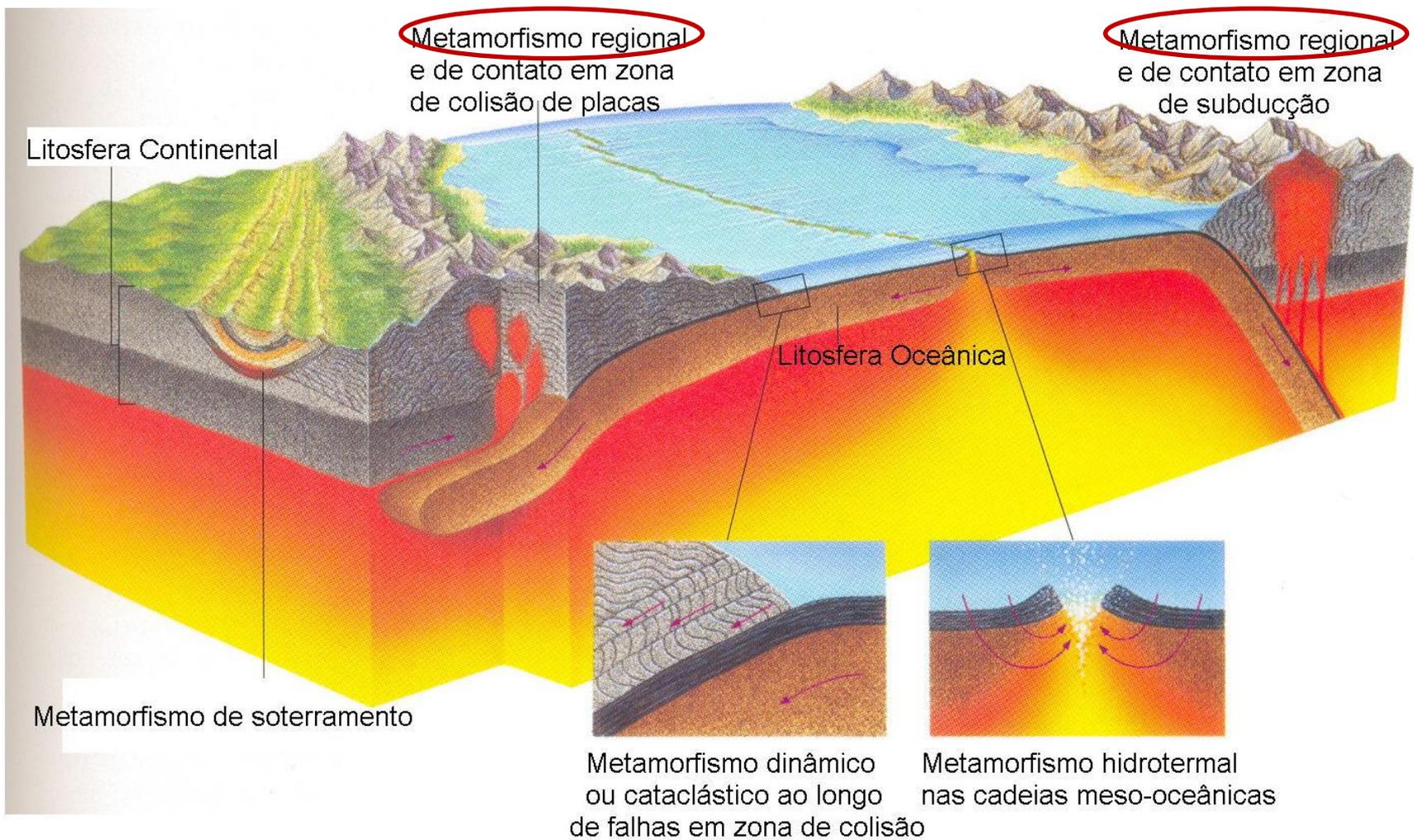
Metamorfismo regional



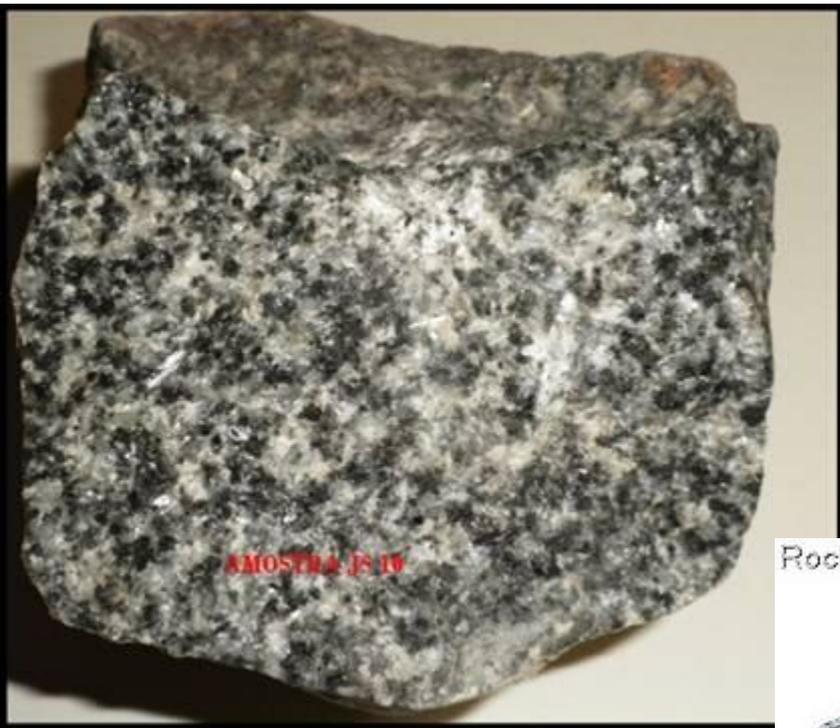
Grandes extensões superficiais
– evento geológico de grande porte (orogênese). Vários graus (***P e T***): alto, médio e baixo:
Gnaiss, xisto, ardósia



Orientação dos minerais perpendicular ao esforço



adaptada Press & Siever (1998)



Granito

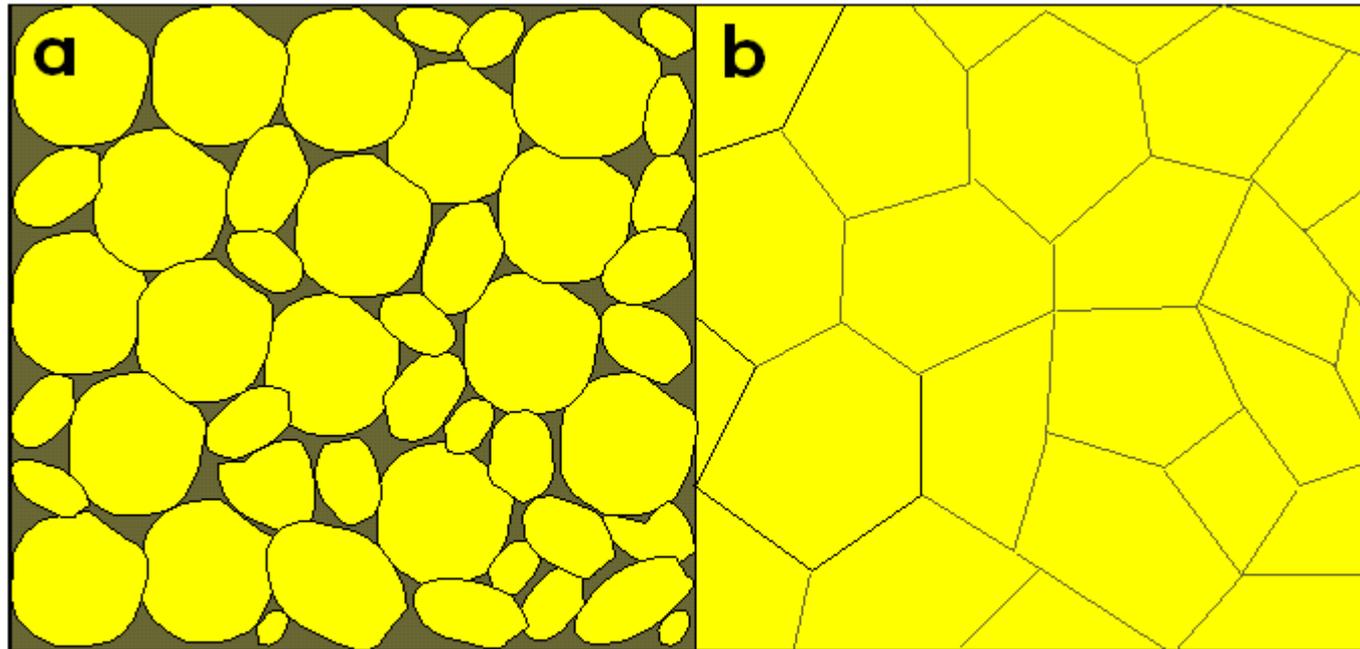
AMOSTRA JS 10

Rocha gnáissica

Gnaisse



ARENITO → QUARTZITO



1 mm

Soldagem dos grãos; porosidade é eliminada

Arenito



Quartzito



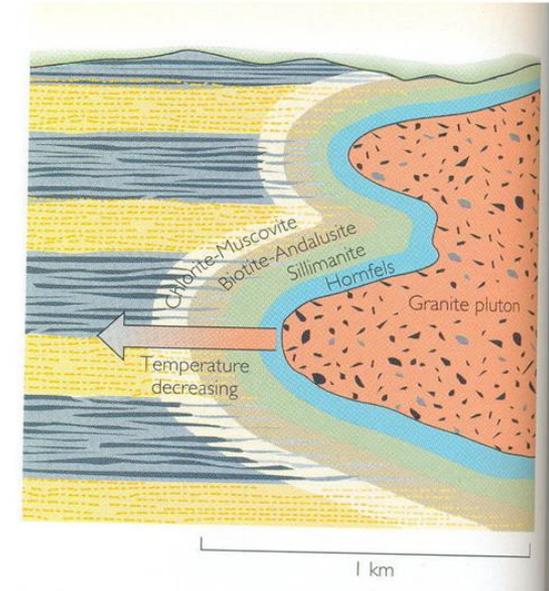
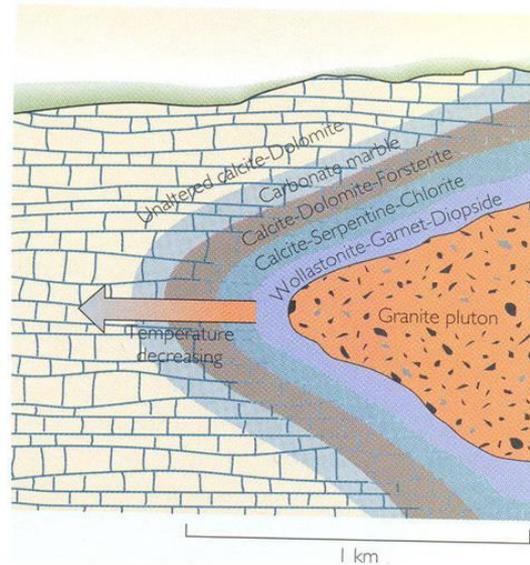


Rochas metamórficas

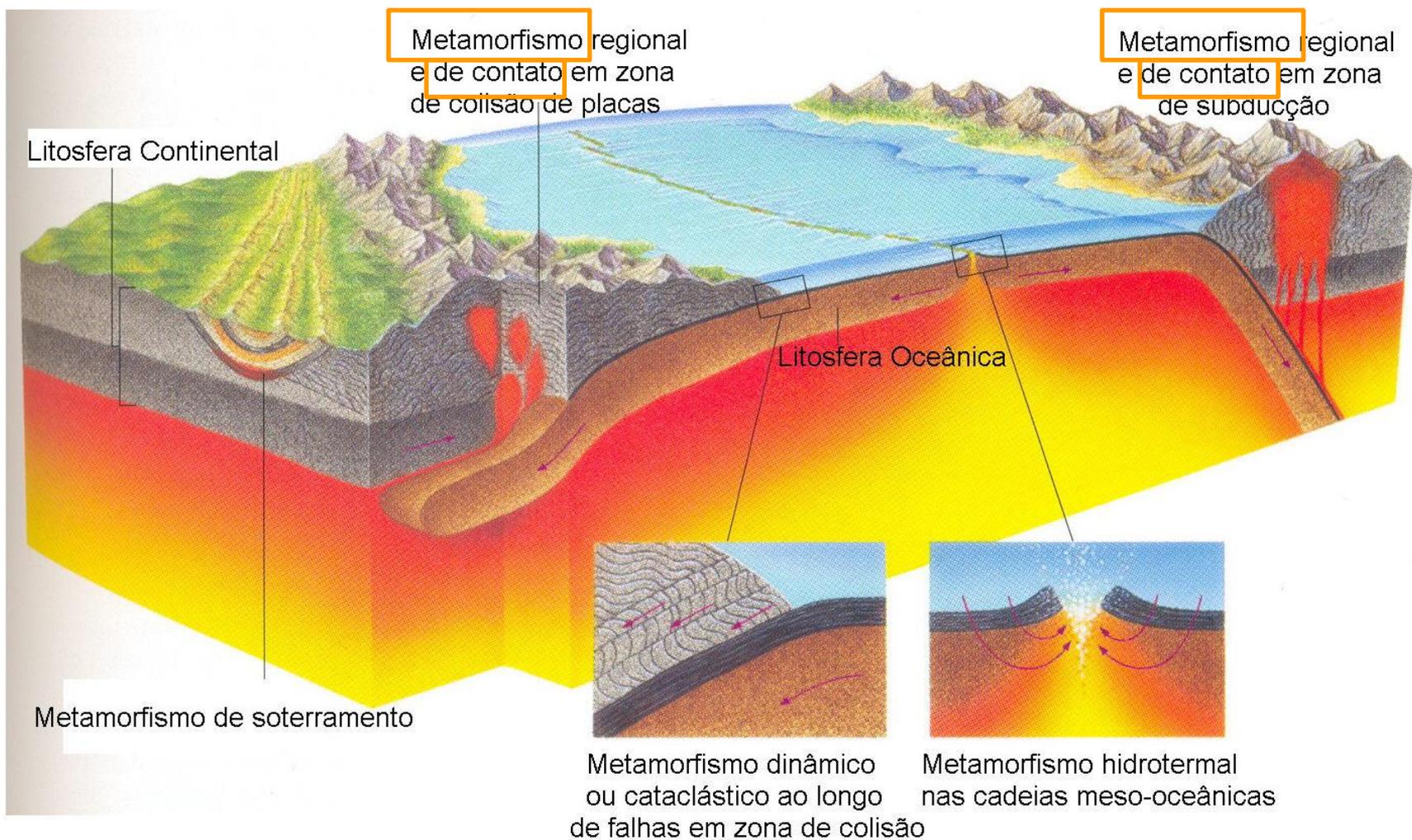
**Metamorfismo
Termal ou
de contato**



Processos localizados (cm a m) – Predomina o *aumento de T* (contato com uma câmara magmática ou com lavas)



Metamorfismo de contato



adaptada Press & Siever (1998)



Calcário

Mármore





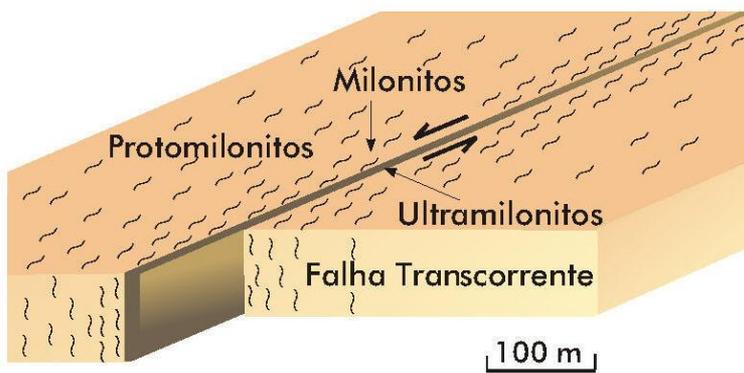
Fotomicrografia de lâmina delgada.

Banda de milonito no mármore.

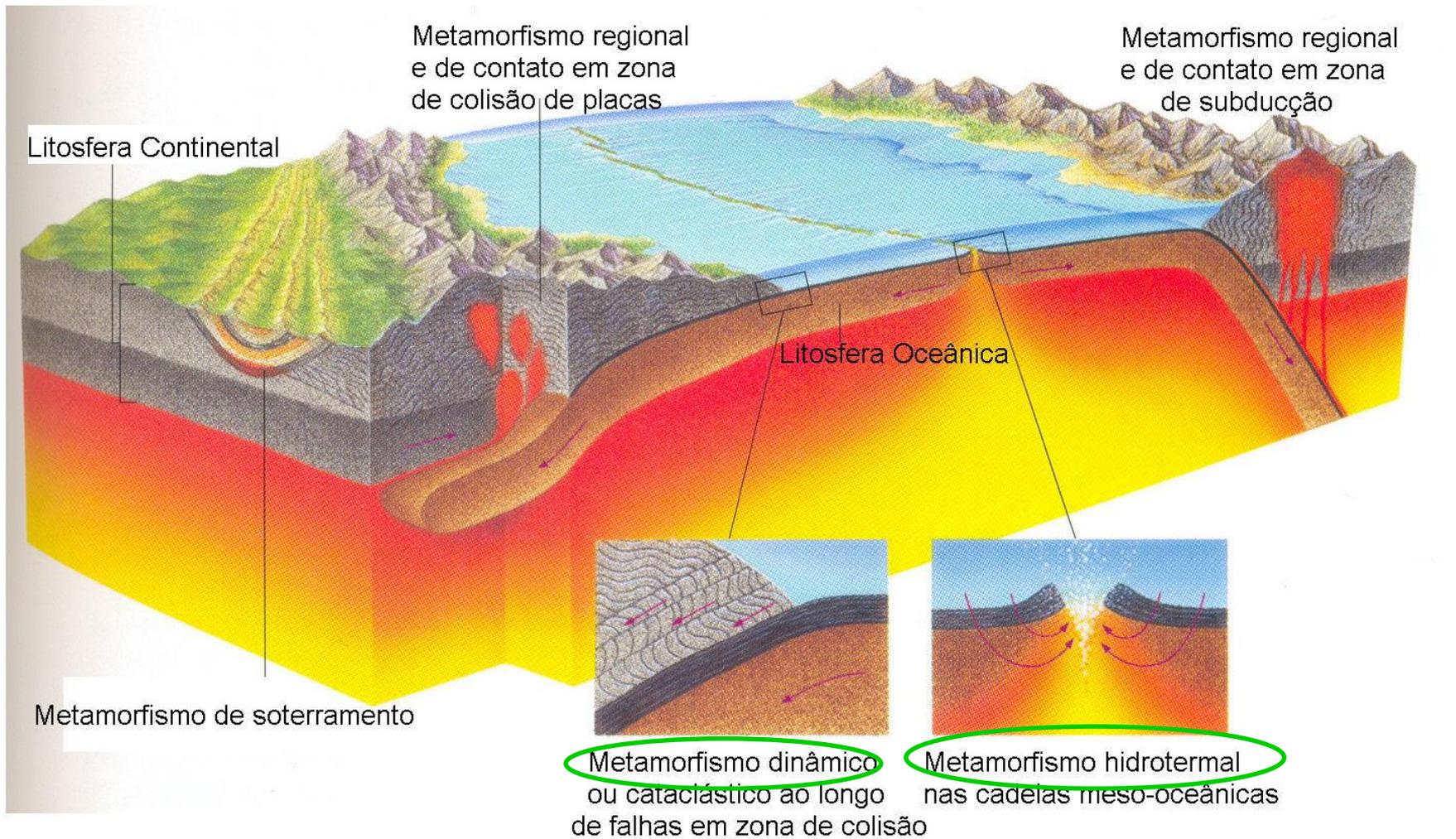
**Metamorfismo
dinâmico**



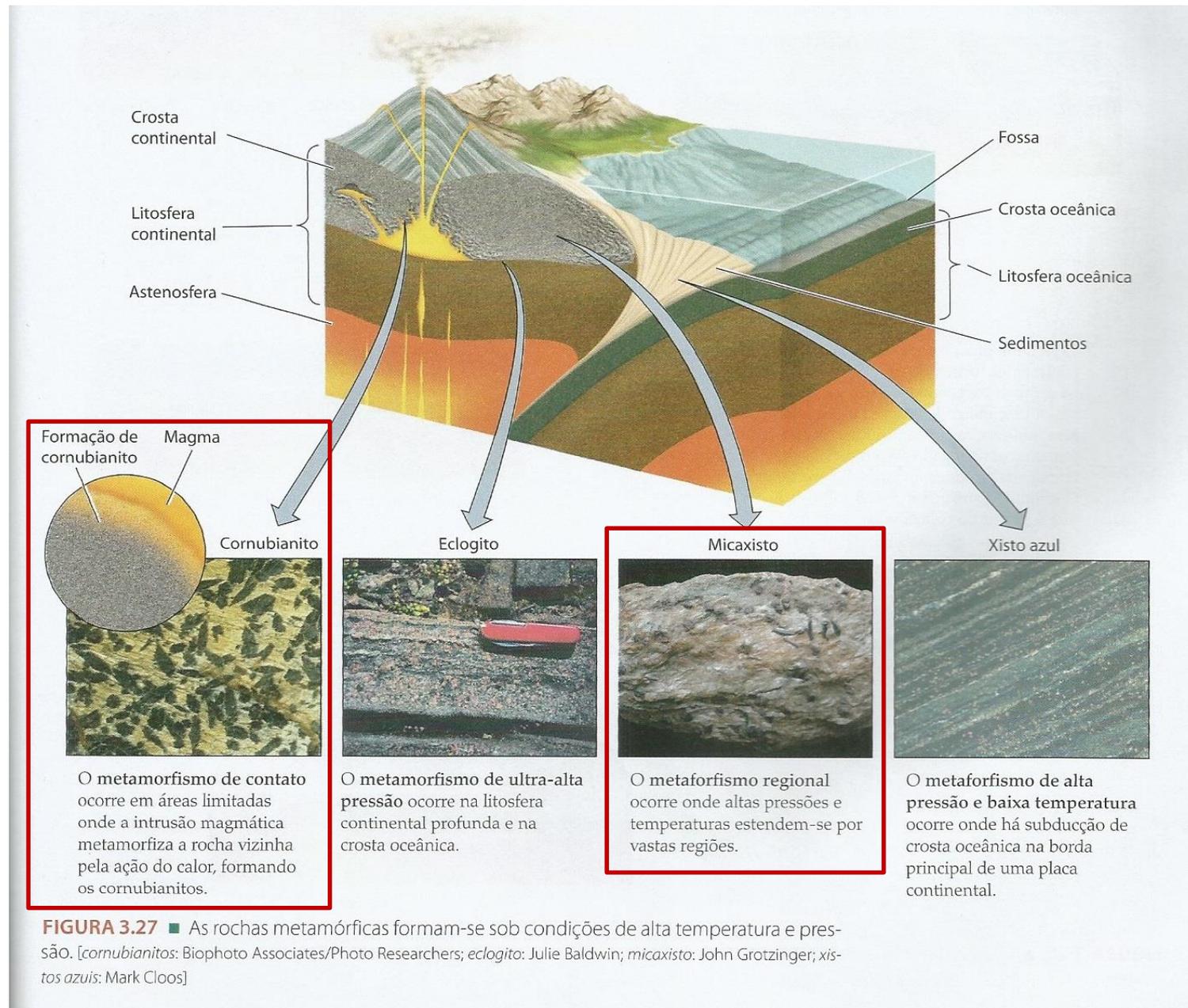
Processos localizados (cm a m) – Predomina o *aumento de P* em zona de falhas (milonitos)



Metamorfismo dinâmico
ou cataclástico



adaptada Press & Siever (1998)



O metamorfismo de contato ocorre em áreas limitadas onde a intrusão magmática metamorfiza a rocha vizinha pela ação do calor, formando os cornubianitos.

O metamorfismo de ultra-alta pressão ocorre na litosfera continental profunda e na crosta oceânica.

O metaforfismo regional ocorre onde altas pressões e temperaturas estendem-se por vastas regiões.

O metaforfismo de alta pressão e baixa temperatura ocorre onde há subducção de crosta oceânica na borda principal de uma placa continental.

Distribuição das rochas na crosta terrestre

ROCHAS



Crosta Continental

Crosta Oceânica

**Crosta
continental**

**95% (volume) rochas ígneas e metamórficas
5% (volume) sedimentares**

**75% (superfície) – rochas sedimentares
25% (superfície) – rochas ígneas e metamórficas**

