



Geologia para Engenharia Ambiental

Mariana Consiglio Kasemodel
mariana.kasemodel@usp.br

Rochas metamórficas

- “Mudança de forma”
- Transformações:
 - Composição mineral
 - Composição química
 - Textura
 - Estrutura



**Rocha
original**

**Reações no estado
sólido**

**Nova
metamórfica**

**Processos diagenéticos
de baixa temperatura
(até 250° C)**

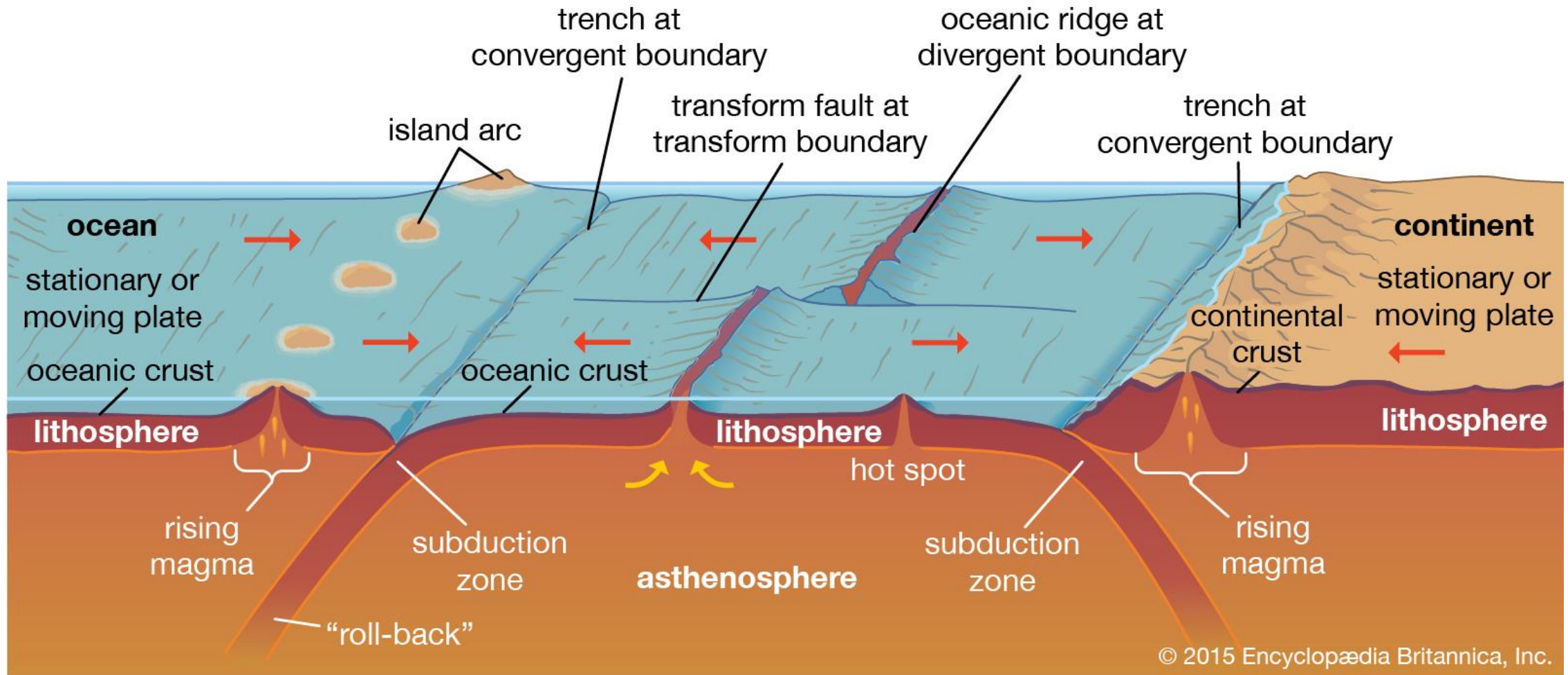
**Início da fusão de
rochas em altas
temperaturas**

◦ **Protólito:** material parental

→ Mudanças para se adequar a novas condições de T e P
Formação de novos minerais

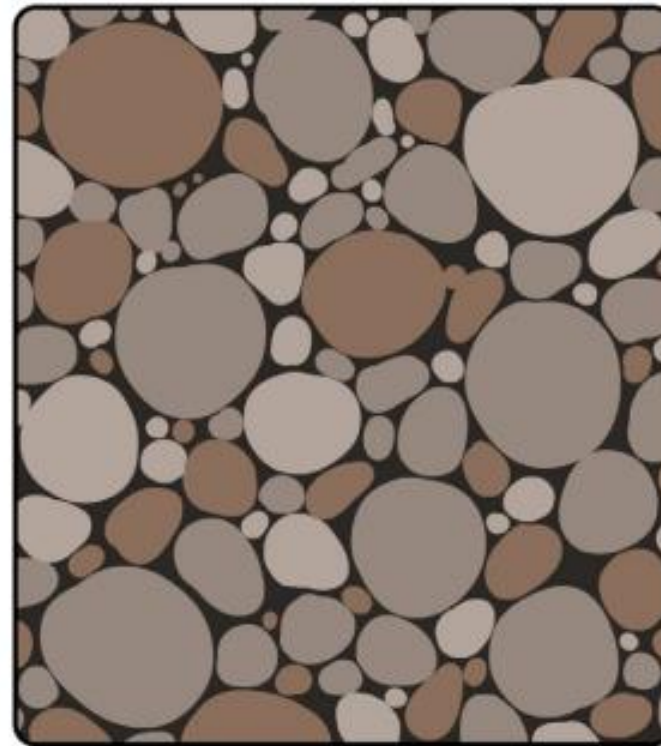


Quais os locais típicos de ocorrência dos processos metamórficos?



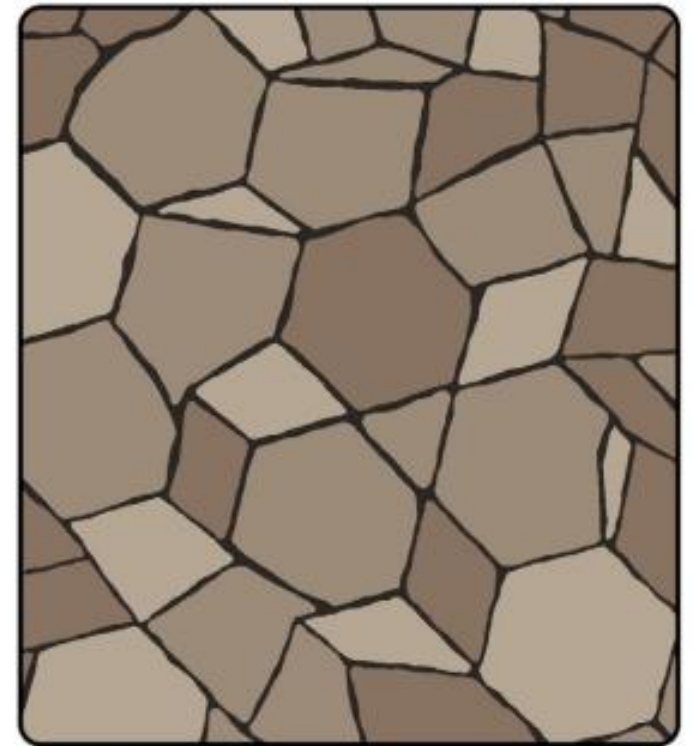
Agentes de metamorfismo

- **Temperatura**
- **Pressão**
- **Fluidos aquosos quentes e uma fração volátil**
- **Tempo**



1 mm

a Arenito
(rocha sedimentar)



1 mm

b Quartzito
(rocha metamórfica)





- **Temperatura**

- Gradiente geotérmico variável
- Minerais se cristalizam em diferentes temperaturas



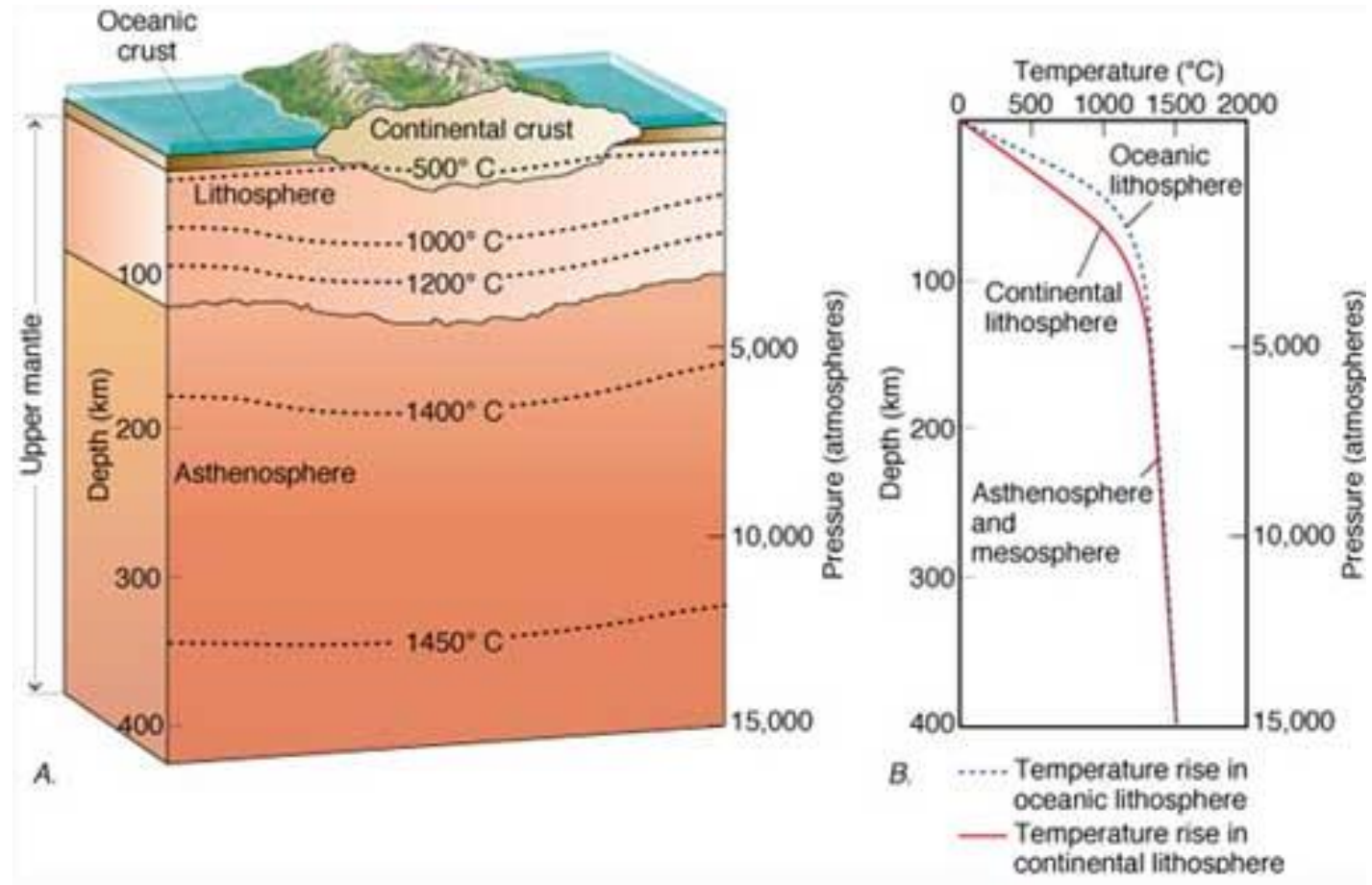
Argilomineral



Mica



Granada



- **Pressão**

- *Pressão confinante ou litostática*

Força geral aplicada em todas as direções

Aumenta com a profundidade

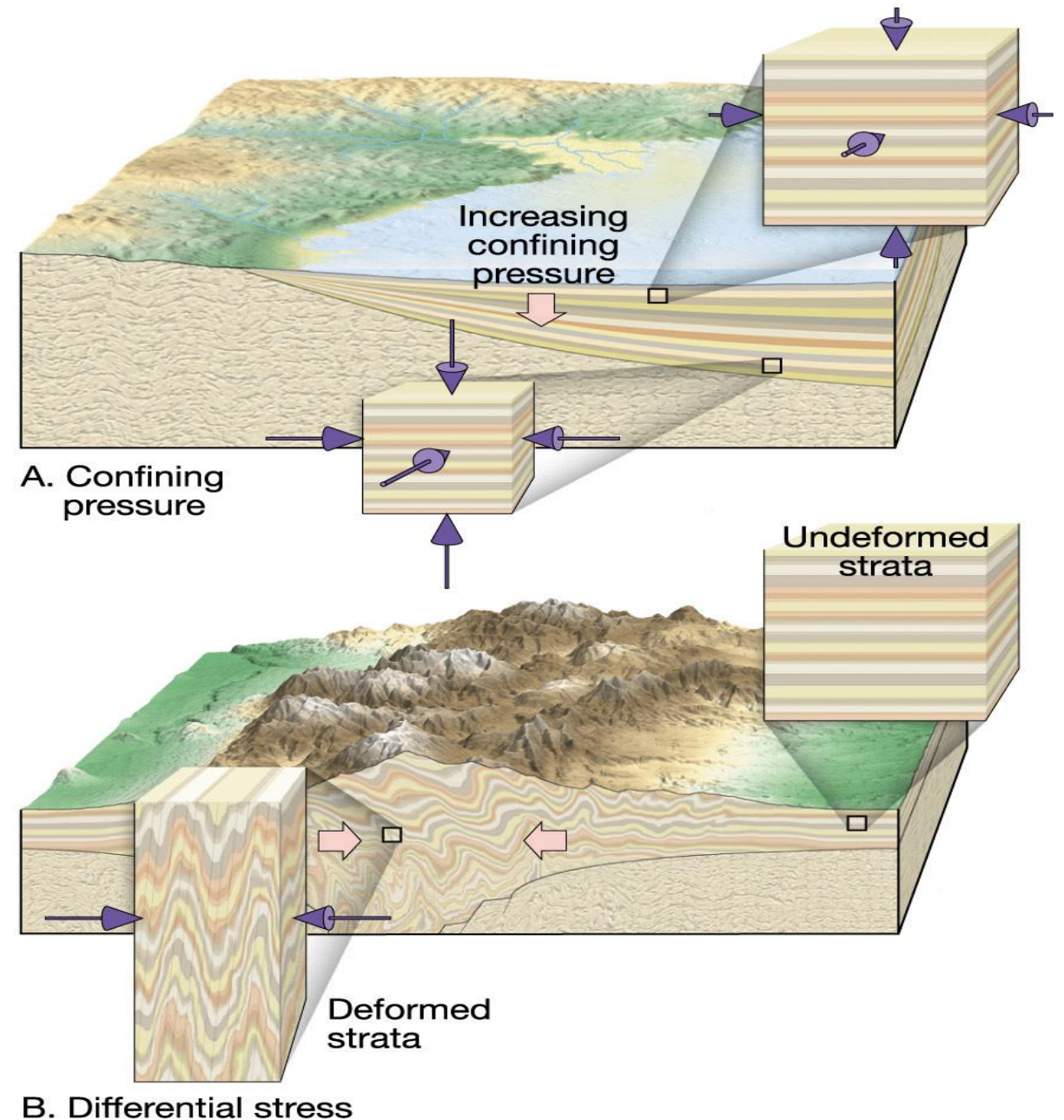
Depende das rochas sobrejacentes

- *Pressão dirigida ou diferencial*

Força exercida em uma direção particular

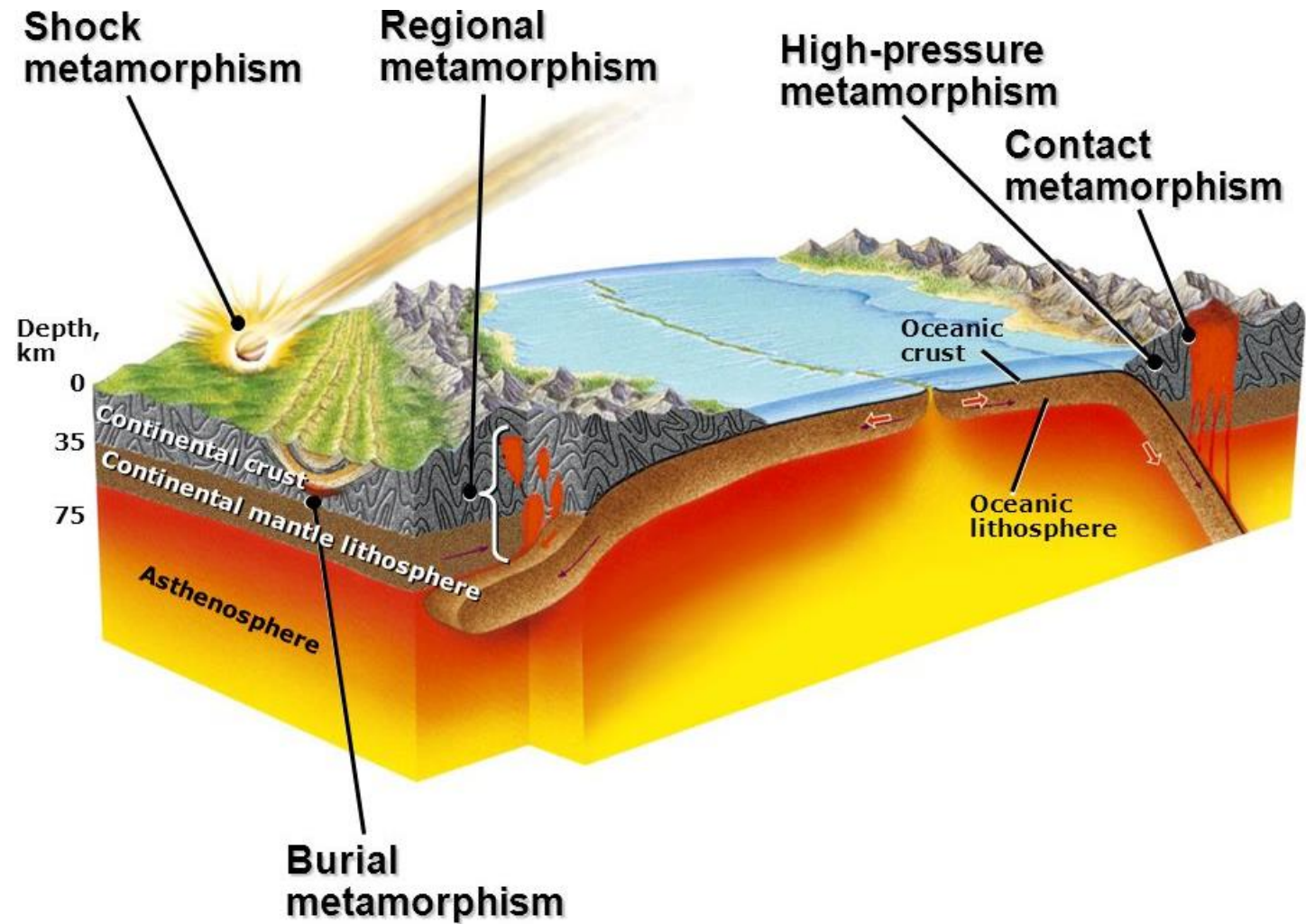
Formação de texturas e estruturas orientadas

Migração de fluidos



Tipos de metamorfismo

- **Regional**
- **Contato**
- **Dinâmico**
- **Soterramento**
- **Impacto**
- **Hidrotermal**



Metamorfismo regional

Abrange grandes porções da crosta; mais comum

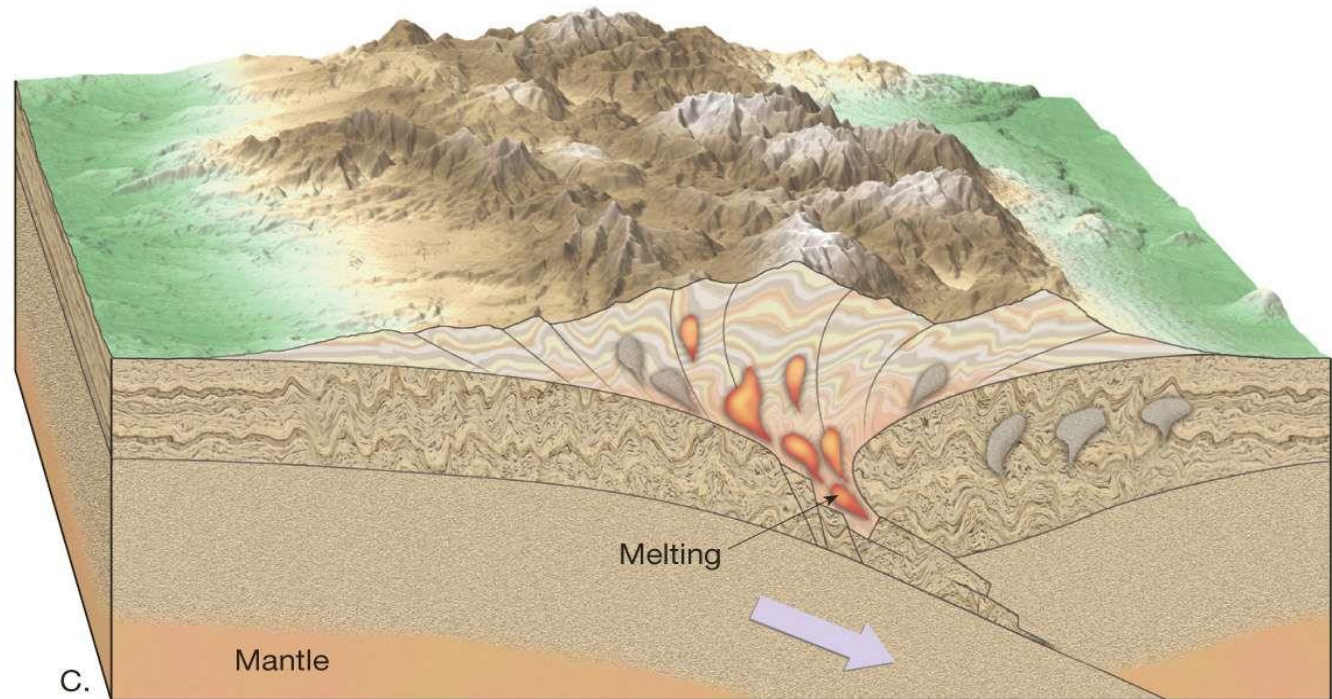
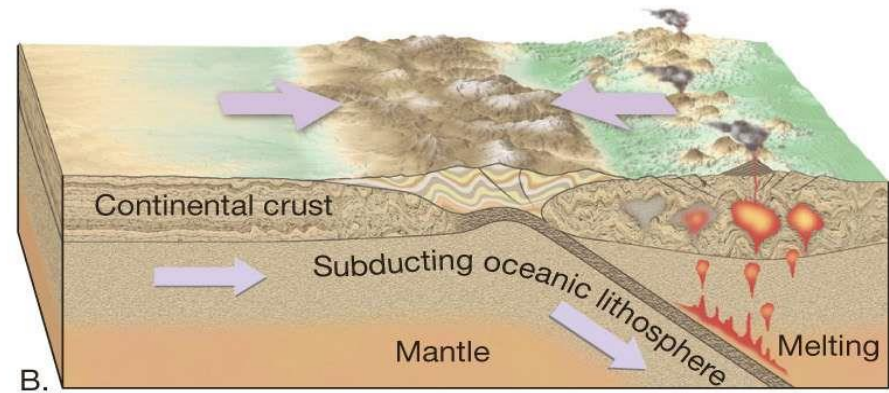
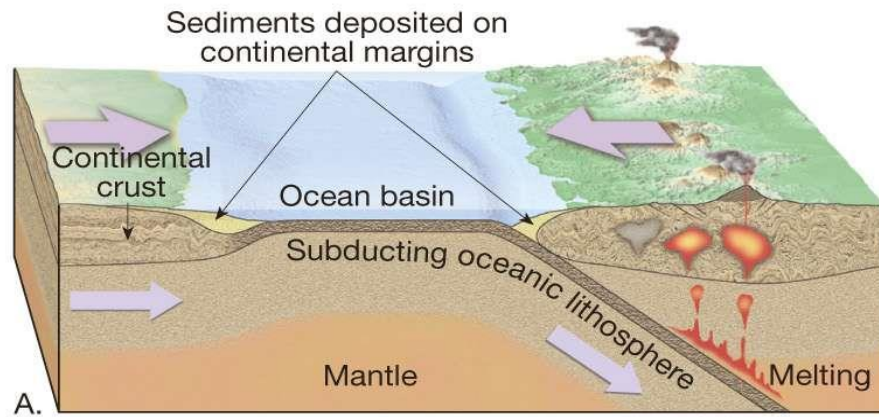
Intensa **compressão**, **peso** e efeitos de grande escalas associados a construção de montanhas e **deformação** das camadas rochosas

- Pressões moderadas a extremas
- Altas temperaturas
- Movimentos tectônicos
- Intrusões ígneas

**Rochas metamórficas
resultantes**

**Ardósia, filitos, xistos, gnaisses,
anfíbolitos, granulitos e
migmatitos**

**Grande
maioria das
existentes**



**Rochas originais
deformadas (dobras e
falhas)**

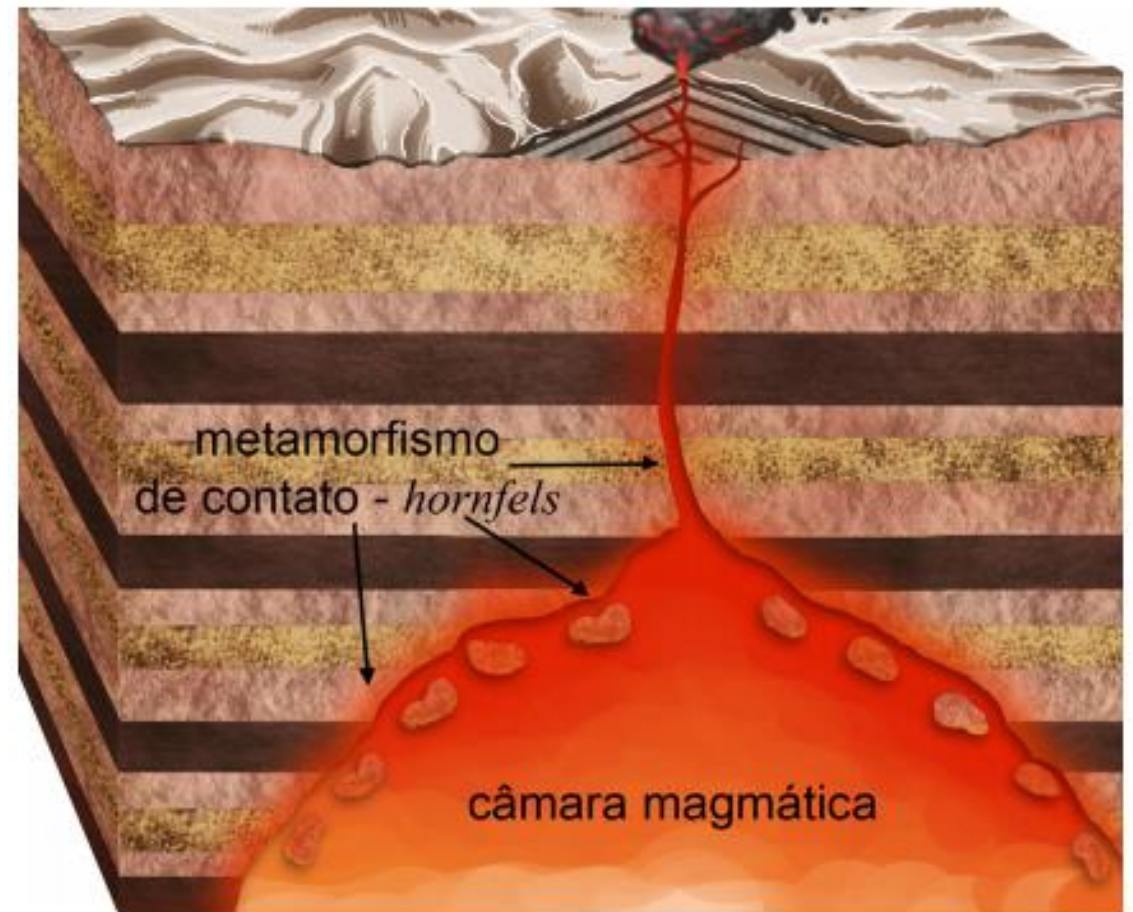
**Recristalizações
resultando em novas
texturas**

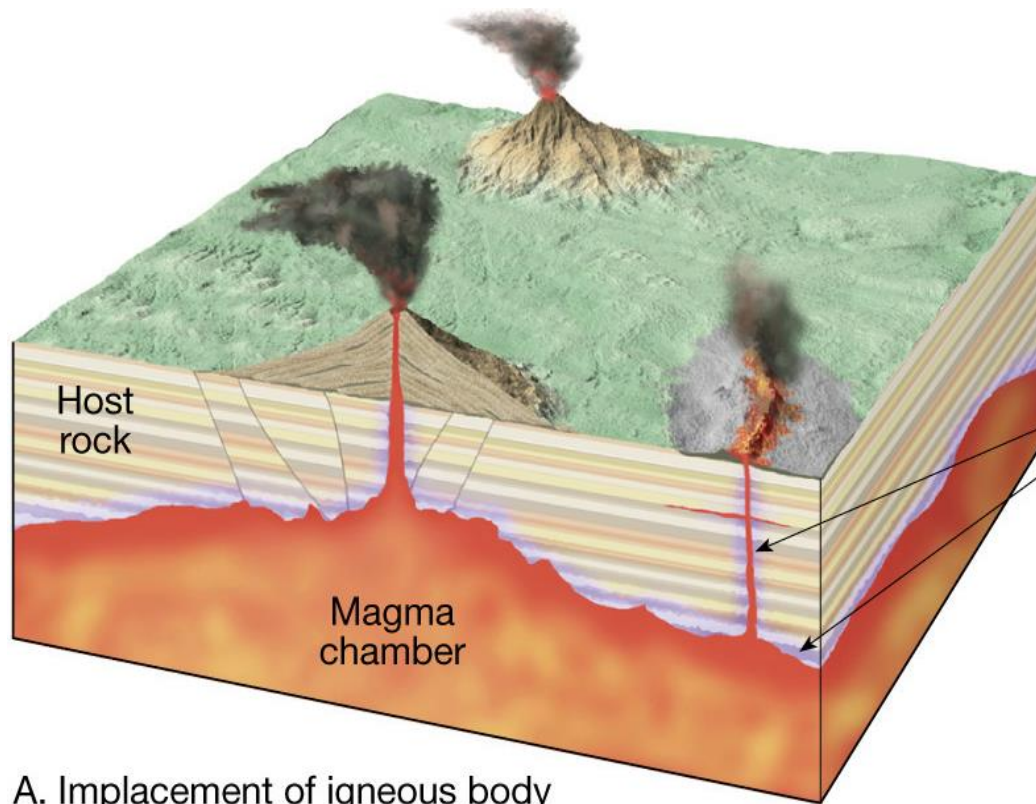
Metamorfismo de contato

Principal agente de metamorfismo de contato é o **calor** associado à proximidade de **intrusões ígneas de pequeno porte**

- *Características do magma* (temperatura)
- *Propriedades da rocha encaixante* (estabilidade dos minerais – fusão, domínio magmático)
- *Profundidade* (dias a milhares de anos)

Ordem de mm a dezenas de metros
(*Hornfels*)



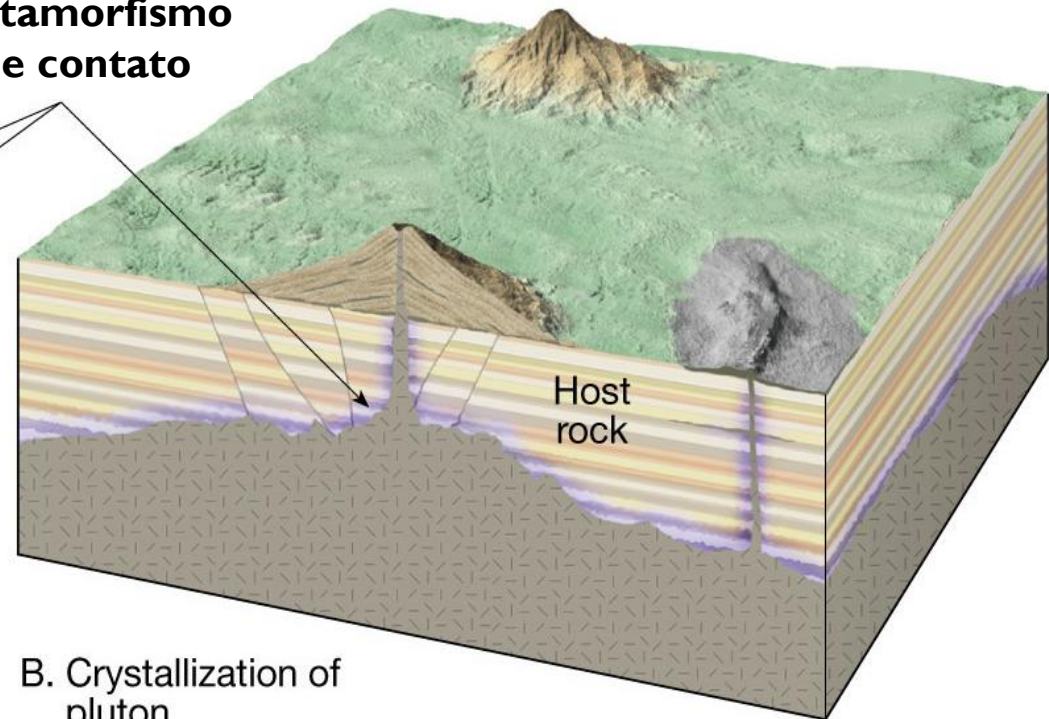


A. Implication of igneous body and metamorphism

Magma emana
calor durante o seu
resfriamento

Metamorfismo
de contato ou
termal

Auréolas de
metamorfismo
de contato



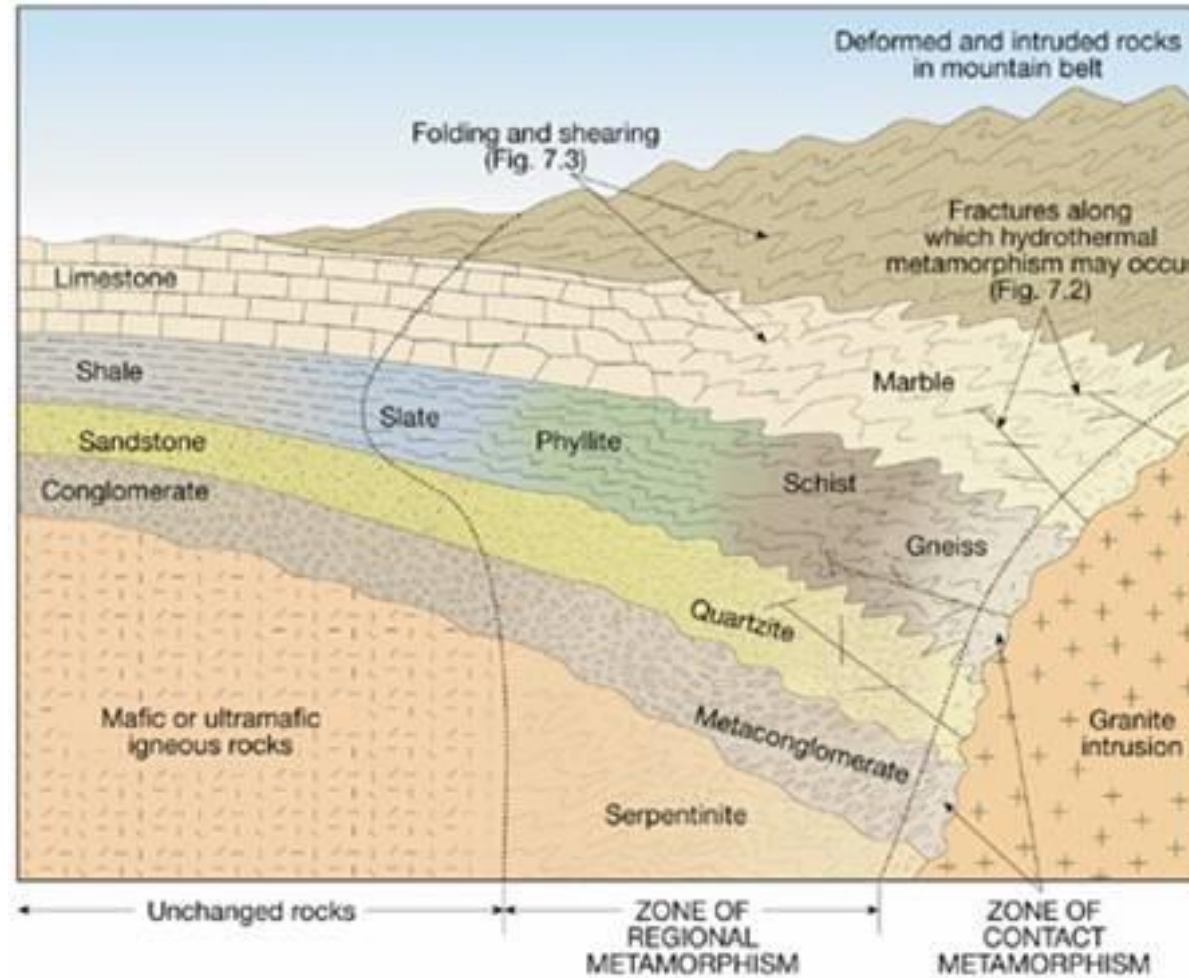
B. Crystallization of
pluton

**Minerais
hidratados**

muscovita e clorita
(produtos do
metamorfismo de
argilominerais)

**Minerais
anidros**

Piroxênio, biotita e
anfibólios



**Temperaturas
baixas**

**Temperaturas
elevadas**

Susa Hornfels, Japão

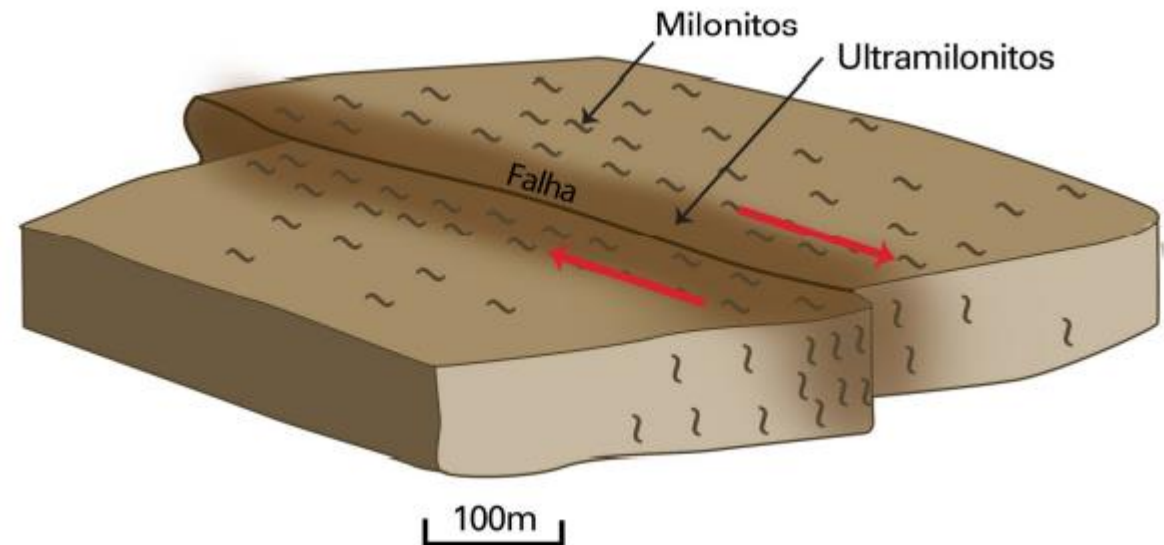


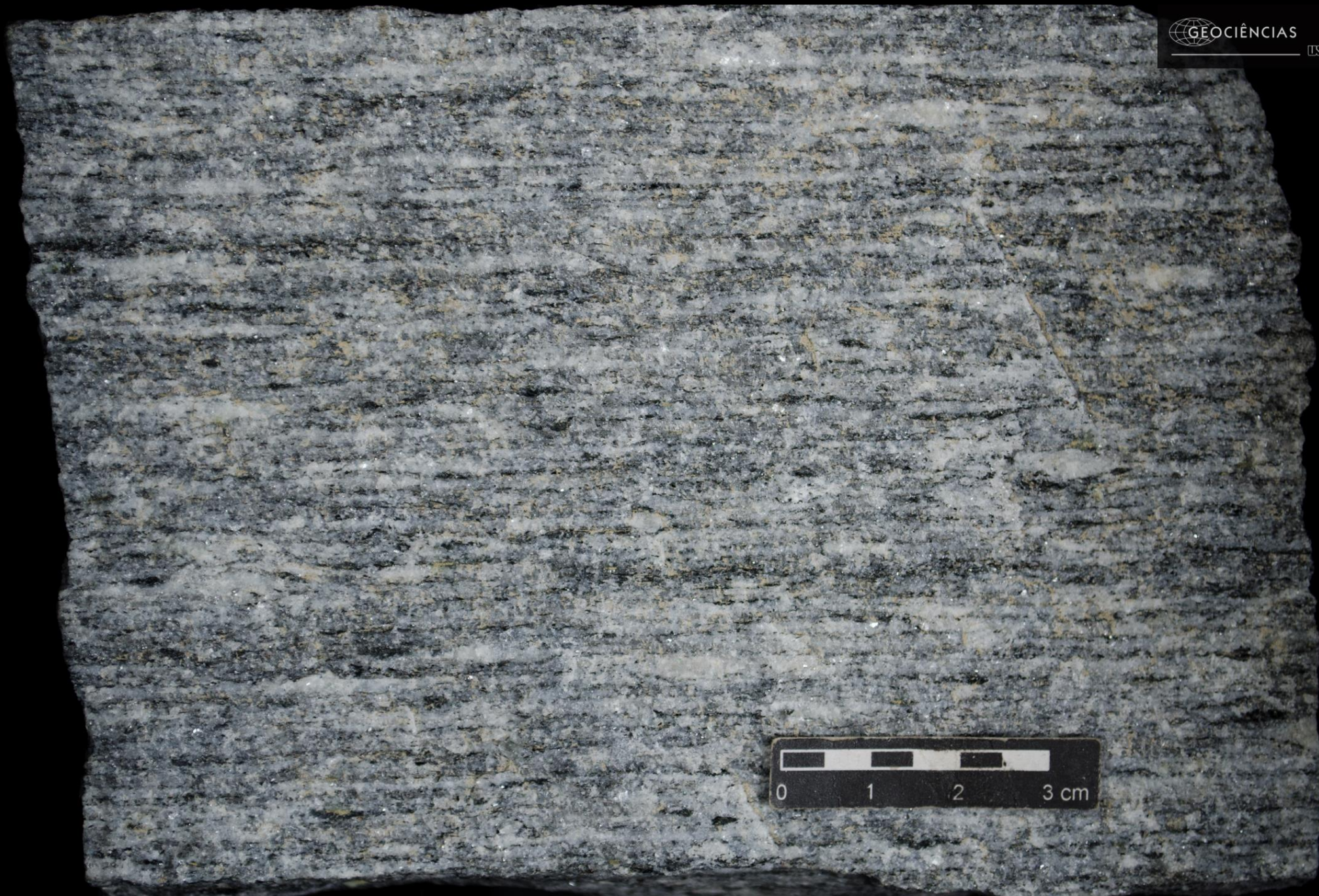
Metamorfismo dinâmico ou cataclástico

Pressão é o agente mais atuante

Associado à ação de falhas e dobramento, em escala continental

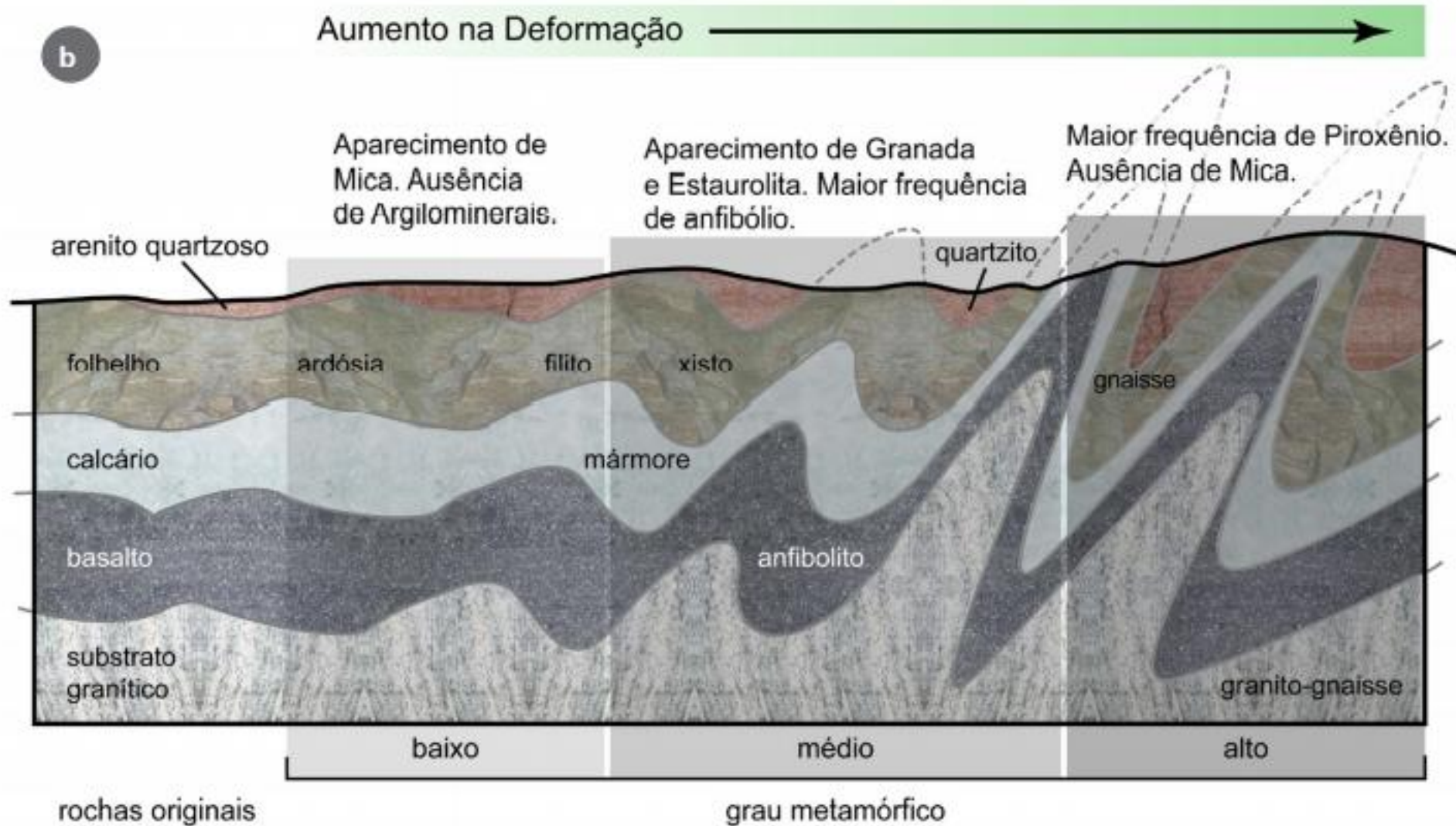
- Minerais são “triturados” – formas angulosas na matriz da rocha
- Ex: Milonito





Graus de metamorfismo

- **metamorfismo de baixo grau** ocorre em temperaturas entre cerca de 200 a 320 °C e pressão relativamente baixa. Rochas metamórficas de baixo grau são geralmente caracterizadas por uma abundância de **minerais hidratados**.
- **metamorfismo de médio grau** ocorre aproximadamente a 320–450 °C e a pressões moderadas. Minerais hidratados de baixo grau, como muscovita e clorita, são então substituídos por outros menos hidratados, como a **biotita**, e minerais não hidratados, como a granada.
- **metamorfismo de alto grau** ocorre em temperaturas superiores a 450 °C e pressão relativamente alta. À medida que o grau de metamorfismo aumenta, os minerais hidratados, como biotita, tendem a quebrar, ou seja, abrem a sua estrutura, perdem H₂O para o meio, e transformam-se em outros minerais, como por exemplo, o **anfibólio**, que mesmo sendo hidratado, é mais estável a temperaturas mais altas. No entanto, à medida que o grau metamórfico aumenta para um grau ainda mais alto, todos os minerais hidratados, que incluem o anfibólio, quebram e são substituídos por outros minerais não hidratados de temperatura mais alta, como o **piroxênio** e a **granada**. O granulito é uma rocha típica de alto grau metamórfico.



Textura e estrutura

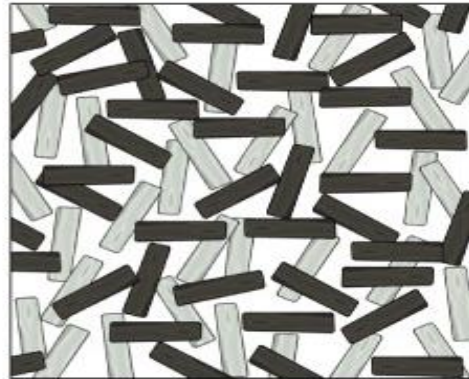
Permitem identificar a condição que a rocha foi originada

Estruturas metamórficas

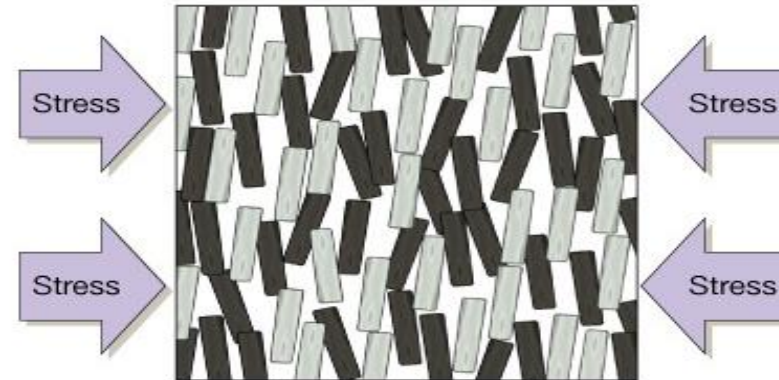
- Rochas de mais baixo grau metamórfico exibirão estruturas similares as da rocha original (**protólito**), preservando, por vezes, estruturas primárias desenvolvidas antes do metamorfismo, como por exemplo, a *estratificação* das rochas sedimentares
- A estrutura metamórfica é de origem secundária e pode ser classificada como *foliada* (rocha orientada) e *não foliada* (rocha maciça)



- **Foliação:** conjunto de superfícies paralelas, planas ou onduladas, produzidas pela deformação – minerais placóides (micas e clorita). A **foliação** resulta da orientação preferencial dos minerais devido à recristalização de minerais na presença de tensão diferencial (pressão dirigida).



Before metamorphism



After metamorphism



Diorito



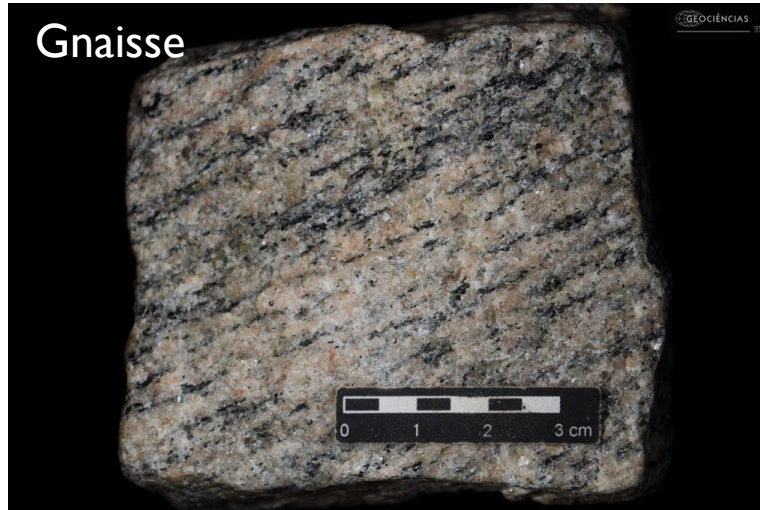
Gnaisse

◦ Foliação

Foliada

Crescimento de minerais segundo a direção de menor esforço como resposta a pressão dirigida

Gnaiss



Ardósia



Não foliada

Textura granular grossa, não há orientação dos minerais
Monominerálicas
Ambiente gerador confinante, metamorfismo de contato

Quartzito

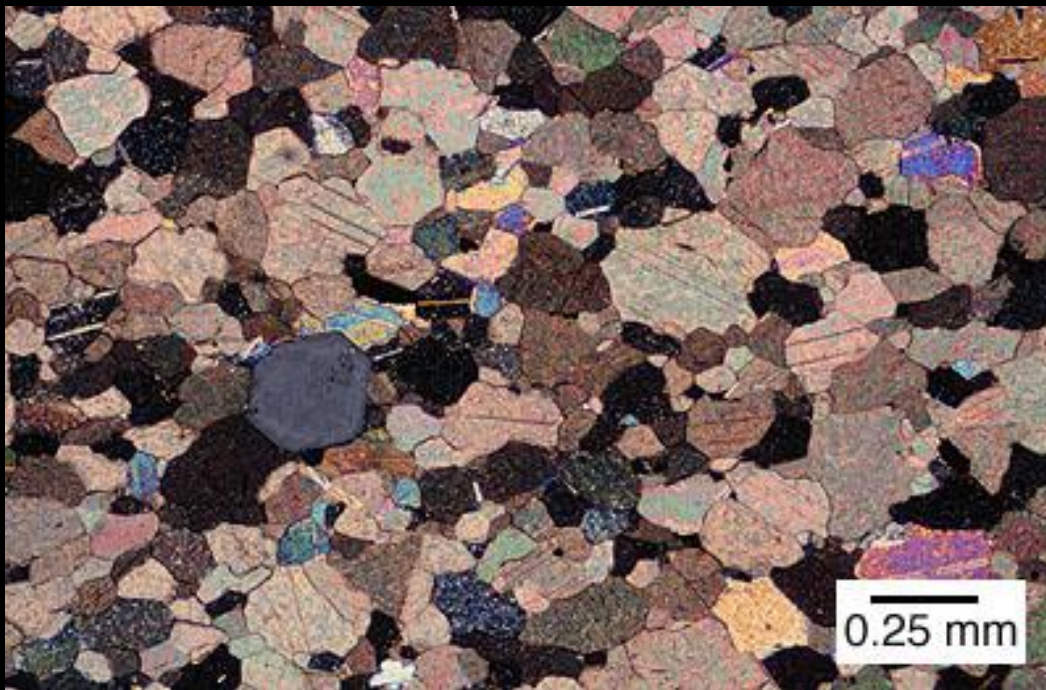


Mármore

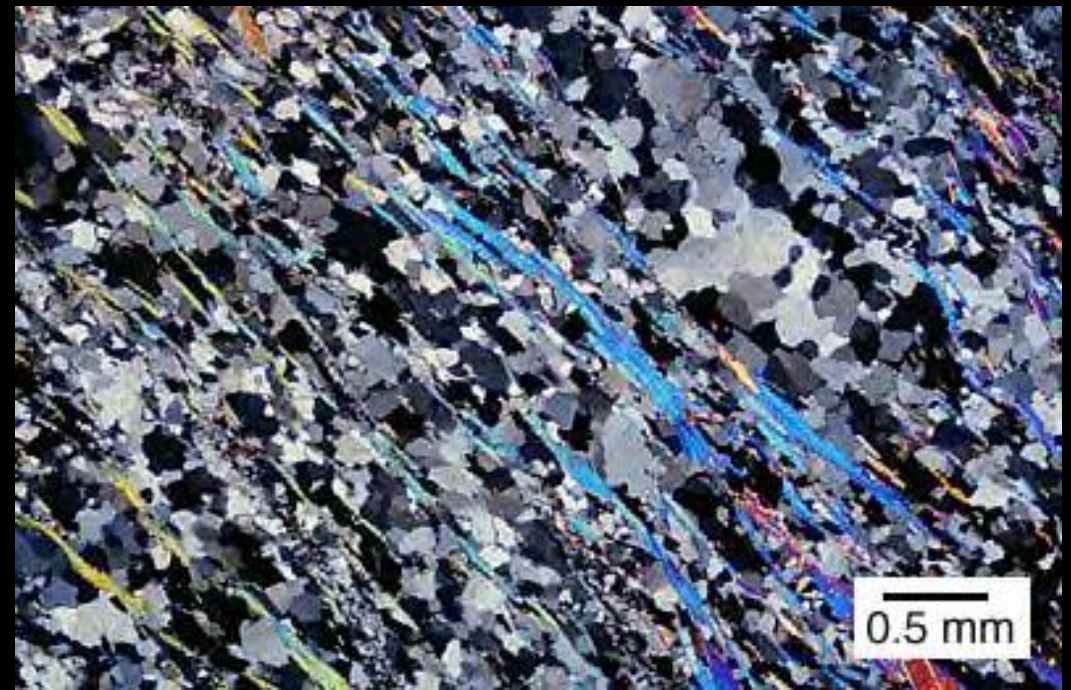


Fotomicrografia

- Estrutura não foliada



- Estrutura foliada



- **Principais tipos de foliação**

**Clivagem
ardosiana**

Plano de partição paralelo perfeito, penetrativo, típico de ardósia, com recristalizações de baixo grau metamórfico em temperatura muito baixa

Xistosidade

*Definida pela orientação dos minerais segundo uma direção preferencial
Micas são, em geral, responsáveis pela forte foliação em um xisto*

**Bandamento
gnáissico**

Alternância de bandas de composição mineralógica de coloração clara e escura causada por difusão e segregação em alta temperatura - grãos médios a grossos

- **Clivagem ardosiana**

Foliação incipiente com minerais micáceos e alongados de dimensões reduzidas



- **Xistosidade**

Foliação contínua e definida, com minerais micáceos e alongados bem recristalizados e orientados



- **Bandamento gnáissico**

Foliação descontínua, alternância de camadas quartzo feldspáticas e micáceas, granulação grossa



metamorfismo
de grau baixo



metamorfismo
de grau médio

ardósia



argilominerais
microscópicos

filito

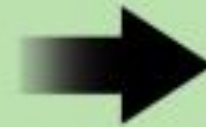


cristais de
mica finos

xisto



cristais de
mica maiores



Aumento da intensidade do metamorfismo

