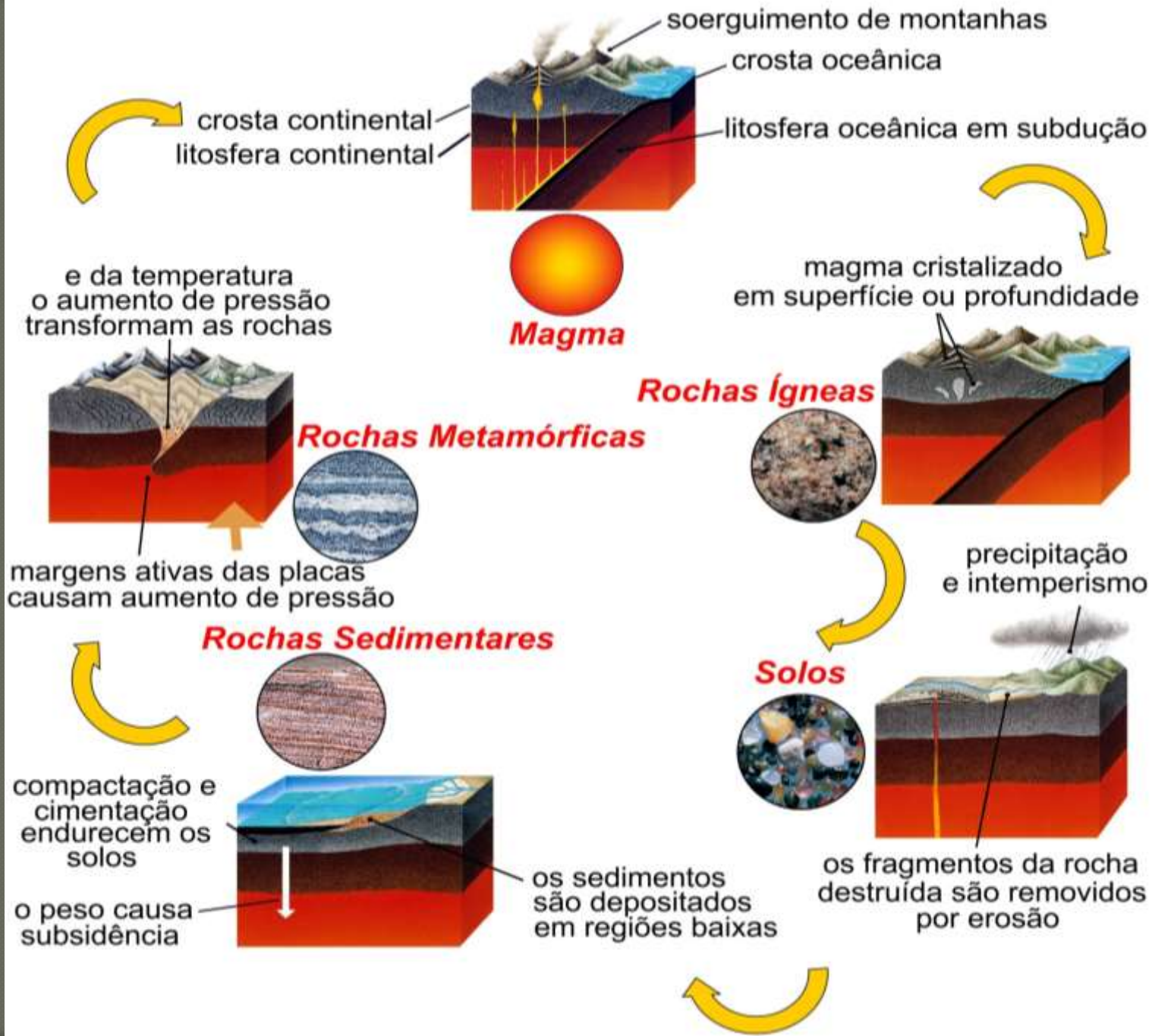


**Aula 5 - Petrologia das  
rochas metamórficas**

# O Ciclo das Rochas



# METAMORFISMO

***META*** = MUDANÇA  
***MORPHO*** = FORMA



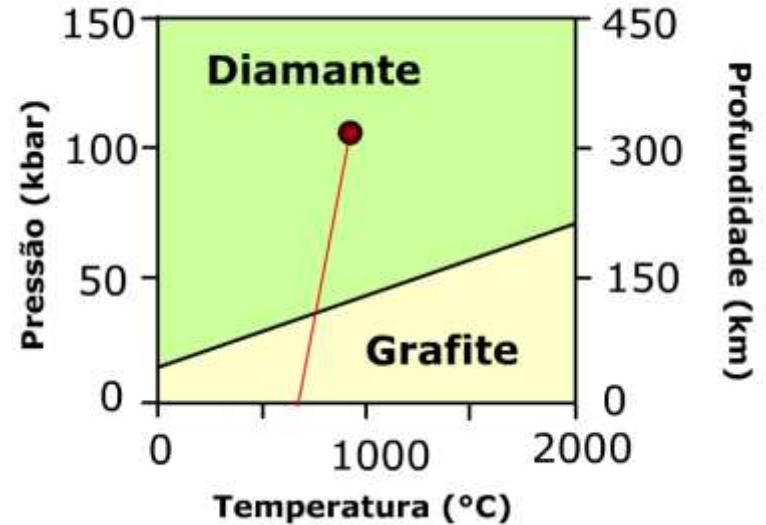
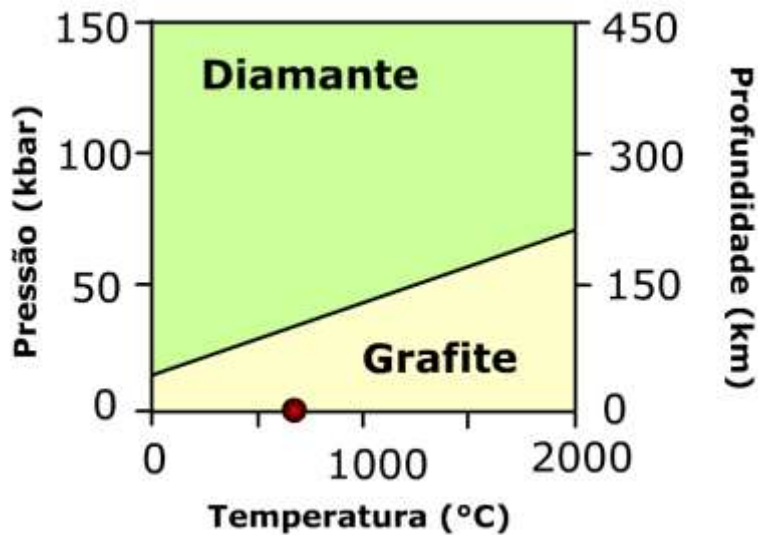
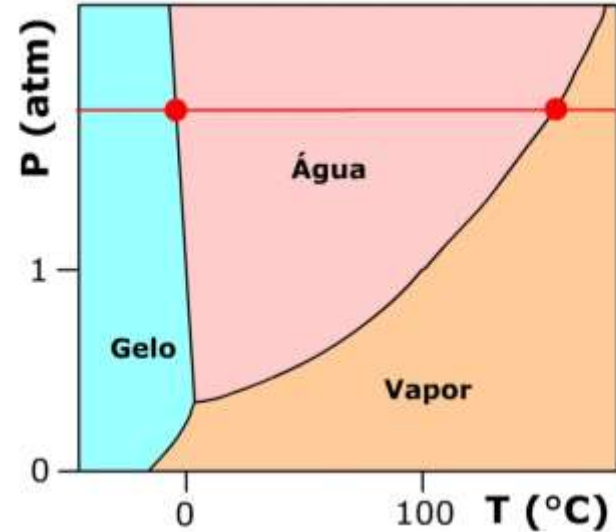
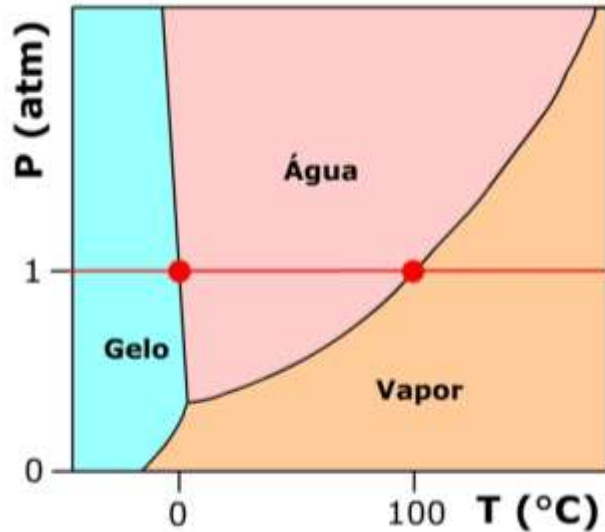
## Agentes do metamorfismo

**A) Temperatura:** ao aprofundarem-se progressivamente sob um crescente número de camadas de sedimentos as rochas vão sofrendo temperaturas cada vez mais elevadas.

**B) Pressão:** a simples elevação de temperatura não é um fator determinante do metamorfismo, mas é principalmente a pressão em combinação com a temperatura que mais contribui para as profundas modificações das rochas.

**C) Fluidos:** os fluidos (tais como água, gás carbono, oxigênio, flúor, etc.) desempenham a função de facilitar as reações e transformações mineralógicas e a atividade química. A circulação de fluidos que ascendem na crosta passando pelas rochas é denominada de "alteração hidrotermal".

# A influência das pressões



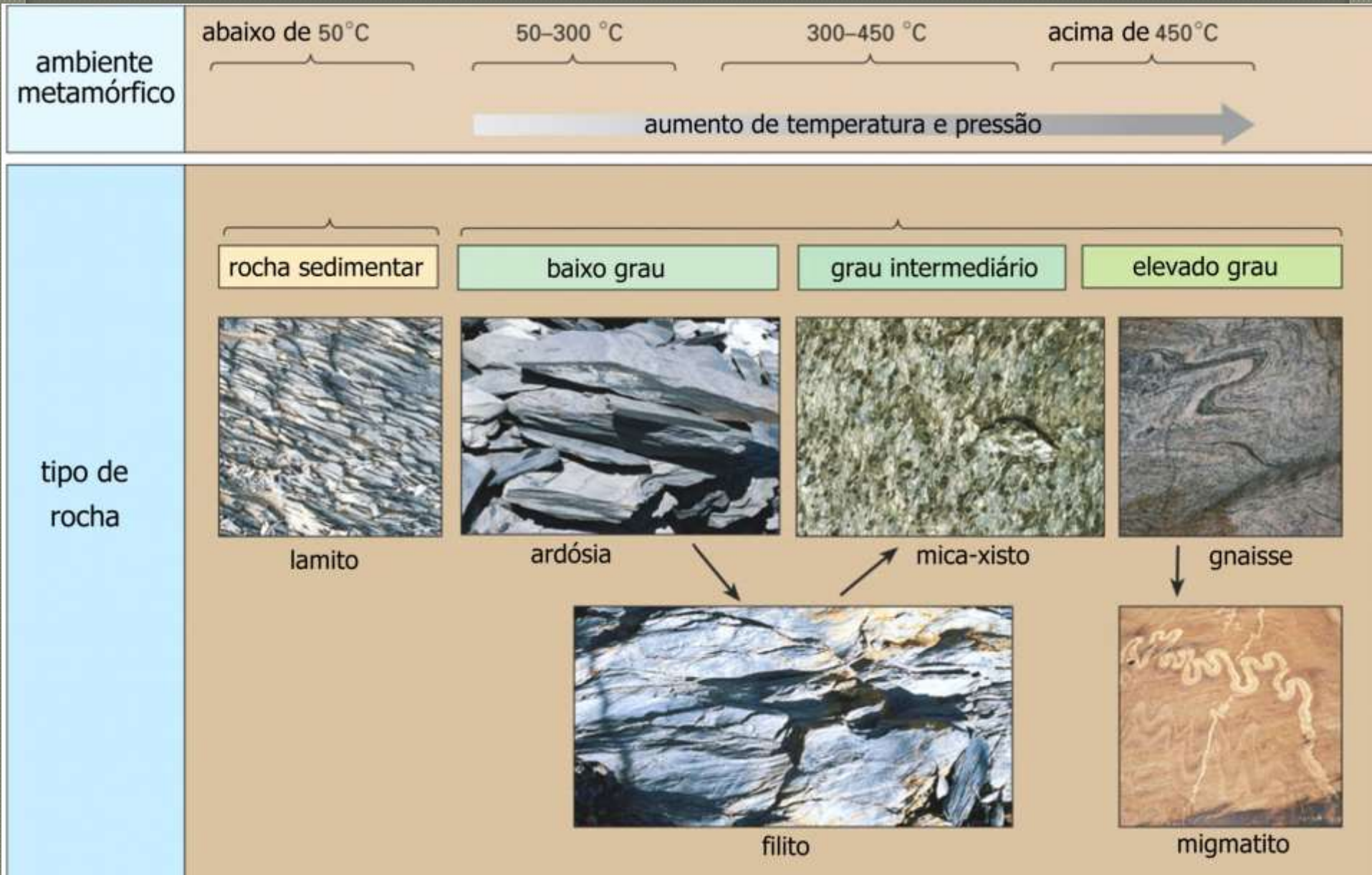
## Caracteres metamórficos

- Deformação e orientação dos minerais
- Crescimento e recristalização de minerais
- Dobramento das bandas

# Principais rochas metamórficas e seus protólitos

Protólito	200°C → → Cresce o grau de metamorfismo → → 800°C				
conglomerado	Metaconglomerado				
arenito	quartzito de baixo grau		quartzito de alto grau		
lamito (folhelho)	ardósia	filito	xisto (micaxisto)	gnaisse (paragnaisse)	migmatito
calcário	calcário metamórfico		mármore		
carvão	antracito		grafite		
granito				gnaisse (ortognaisse)	migmatito
basalto		xisto verde	xisto azul	eclogito	
basalto rico em olivinas		serpentinito	esteatita (pedra sabão)	anfíbolito	

# Metamorfismo dos lamitos





# Metamorfismo dos lamitos

Baixo grau  
**200°C**

Médio grau

Elevado grau  
**800°C**

Quartzo

Feldspato

Clorita

Muscovita

Biotita

Granada

Estaurolita

Sillimanita

Cresce o tamanho dos grãos

Ardósia

Filito

Xisto

Gnaisse

Migmatito



# Metamorfismo dos basaltos

Cresce o grau de metamorfismo

300°C



600°C

Cresce o tamanho dos minerais

Baixo grau

Grau intermediário

Elevado grau



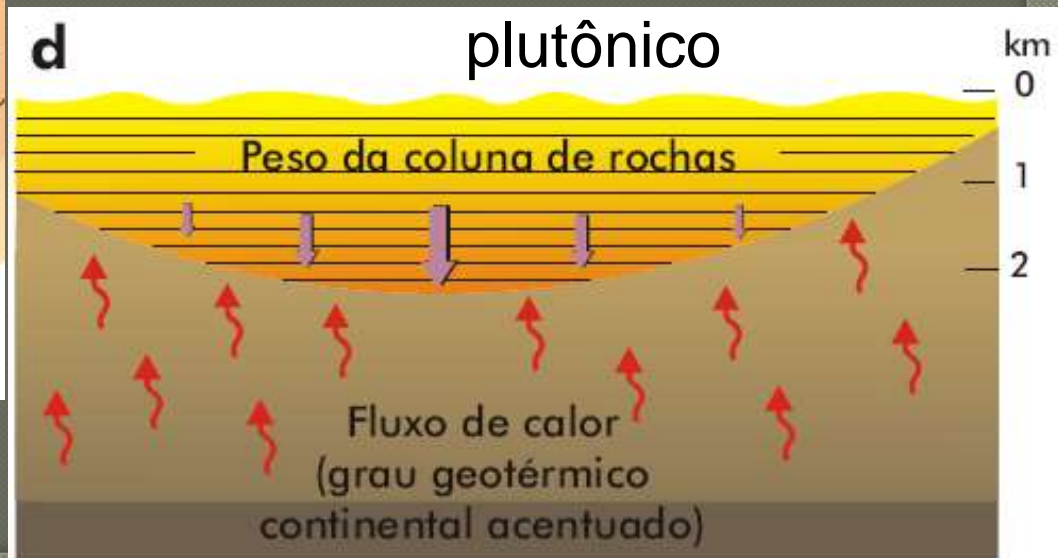
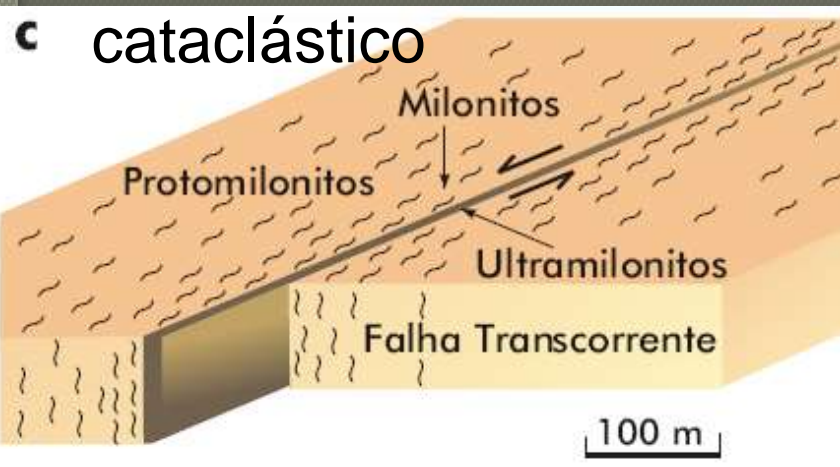
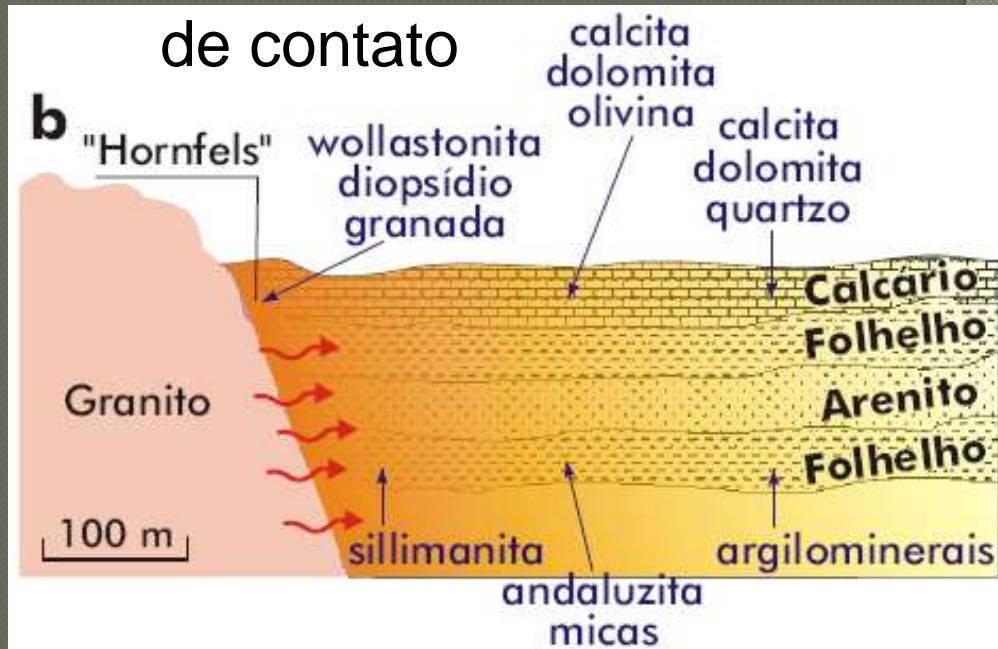
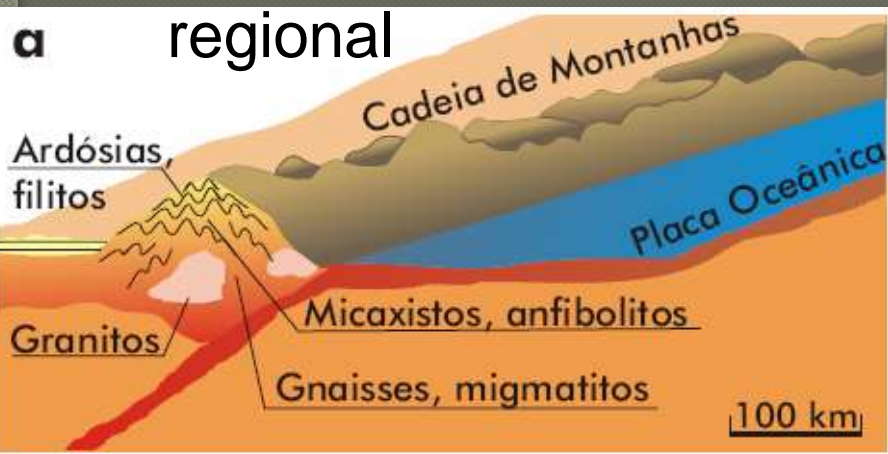
**Basalto**  
Rocha ígnea

**Xisto Verde**

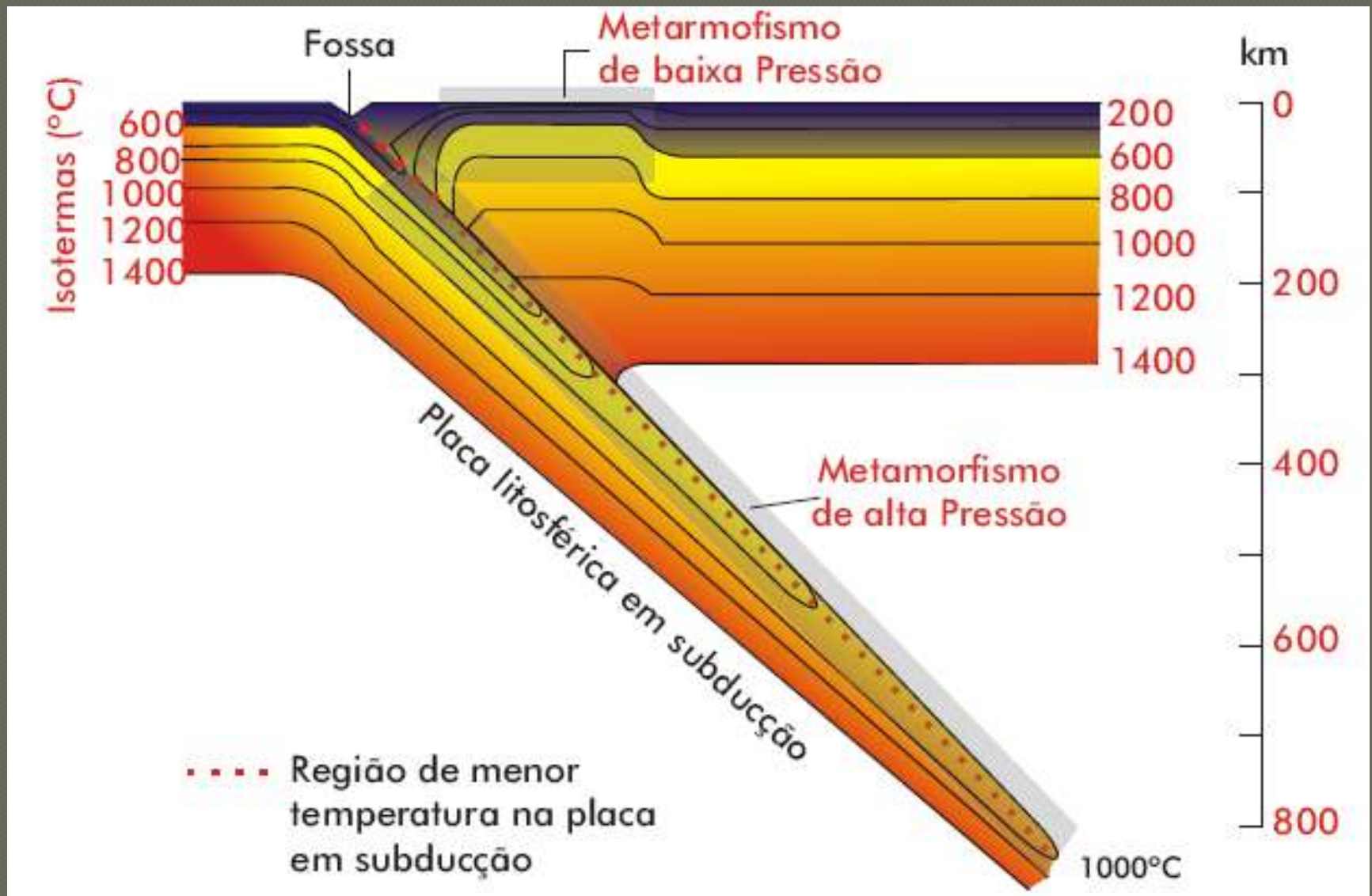
**Xisto Azul**

**Eclogito**

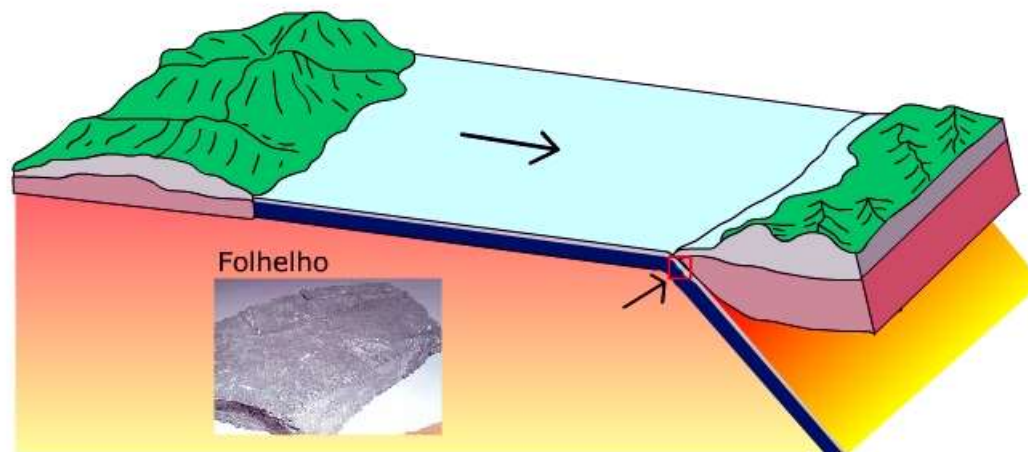
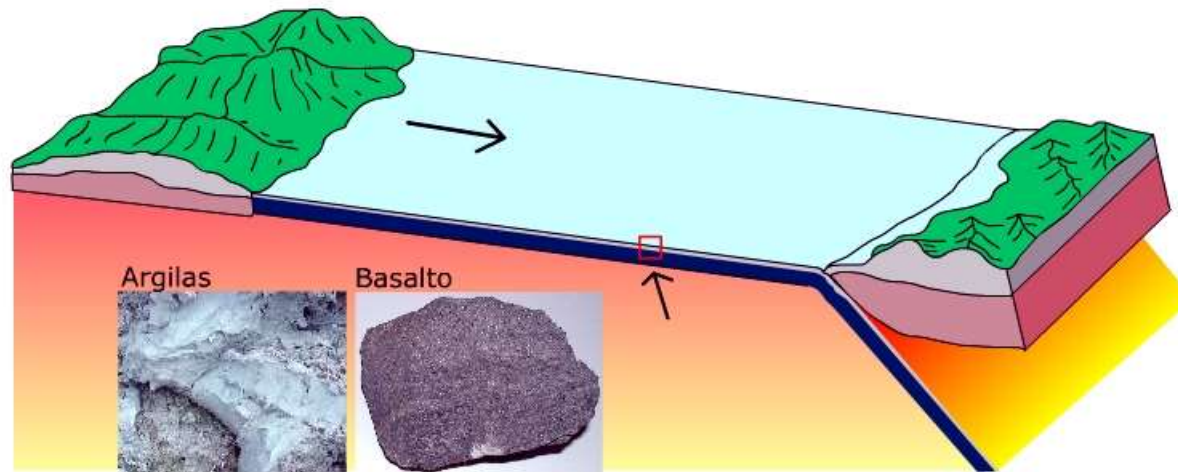
# Tipos principais de metamorfismos

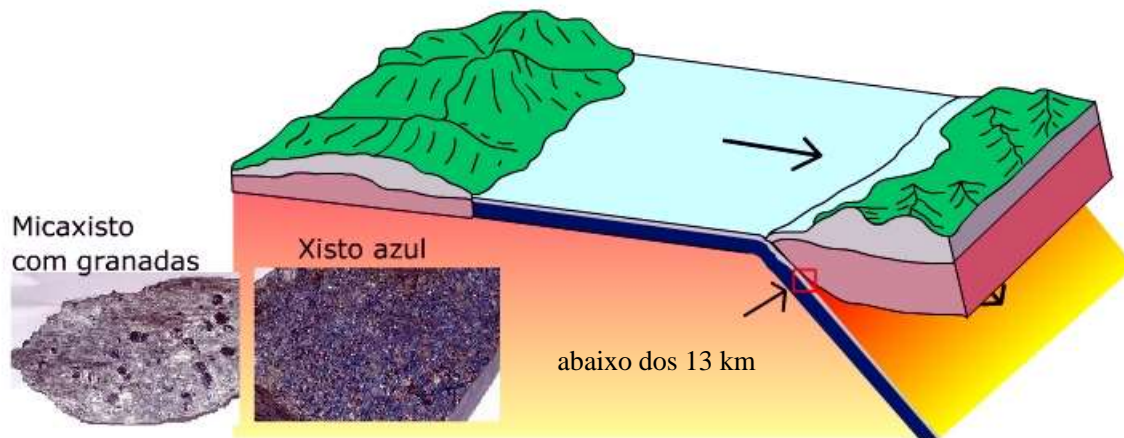
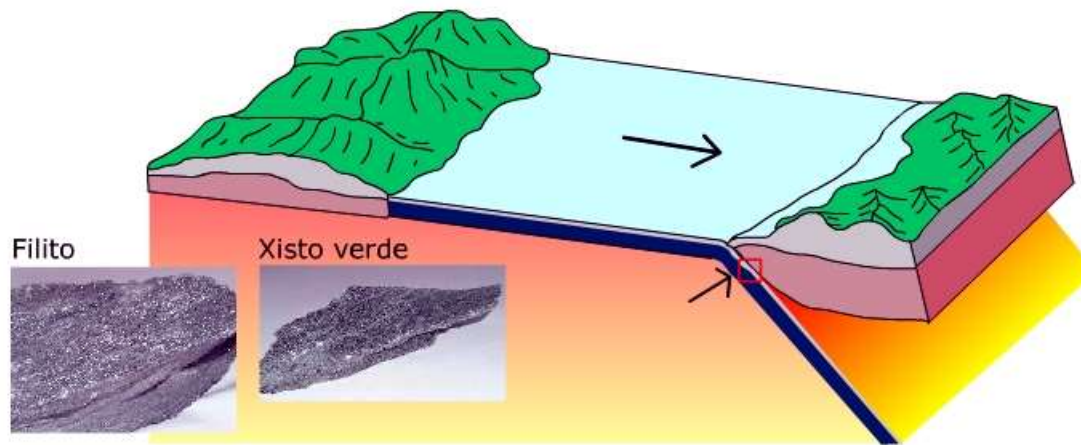


# a) Metamorfismo regional

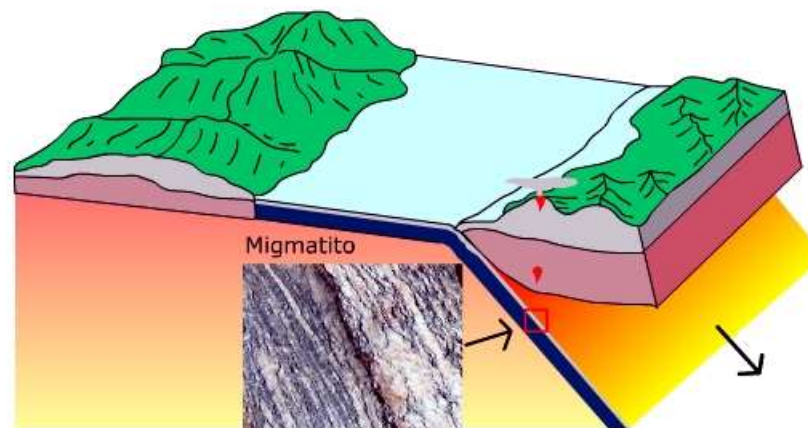
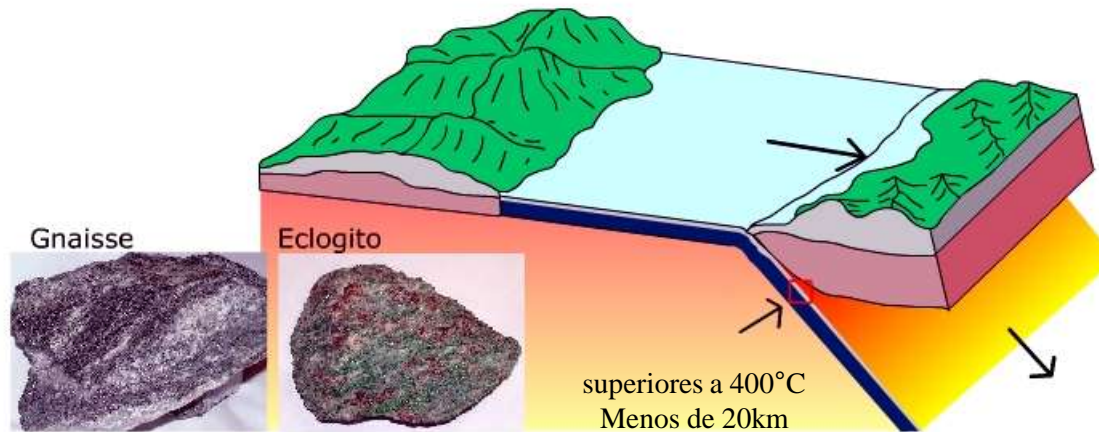


# Evolução do metamorfismo regional

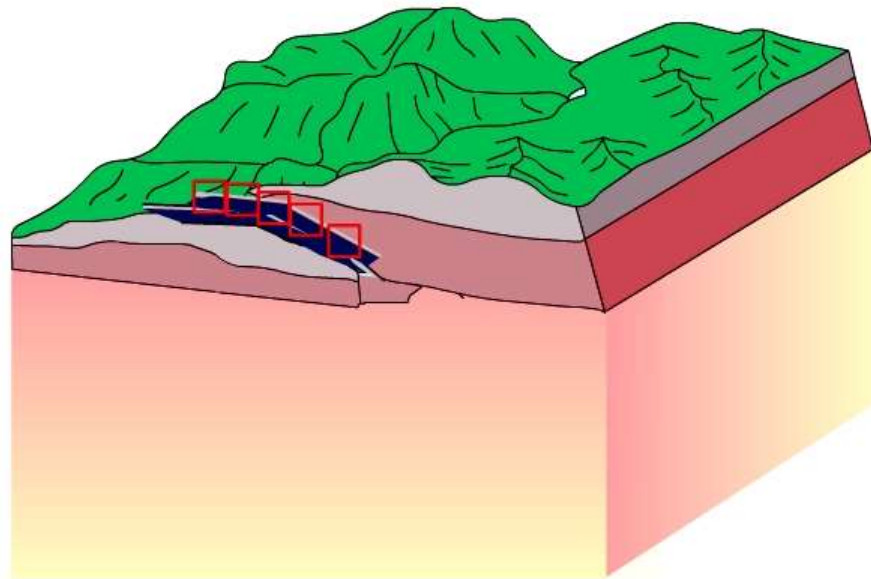
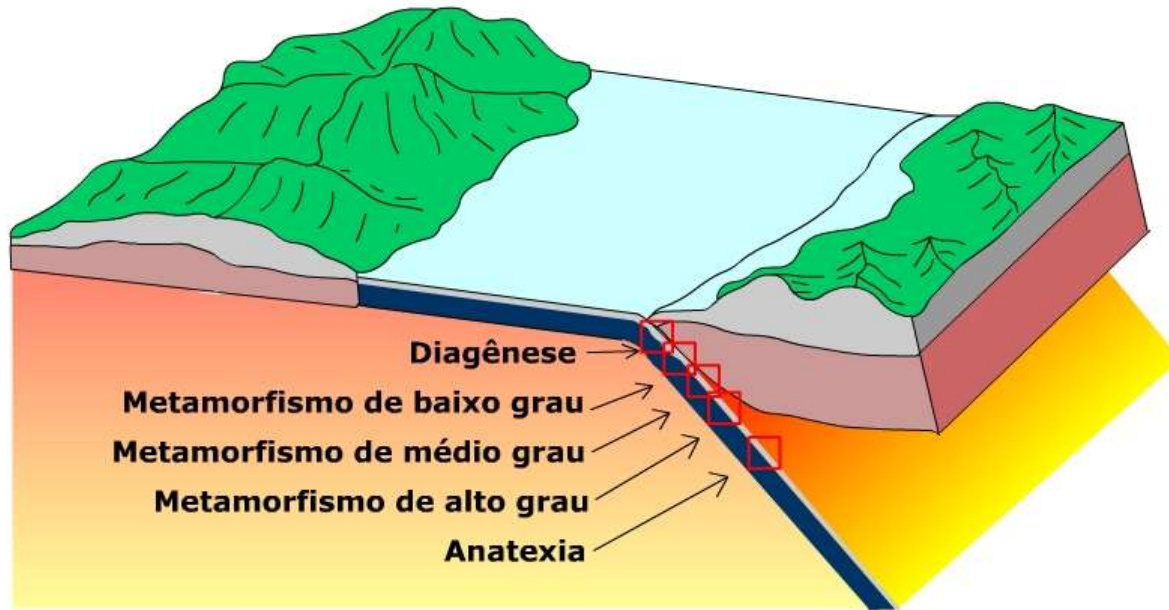




# Evolução do metamorfismo regional

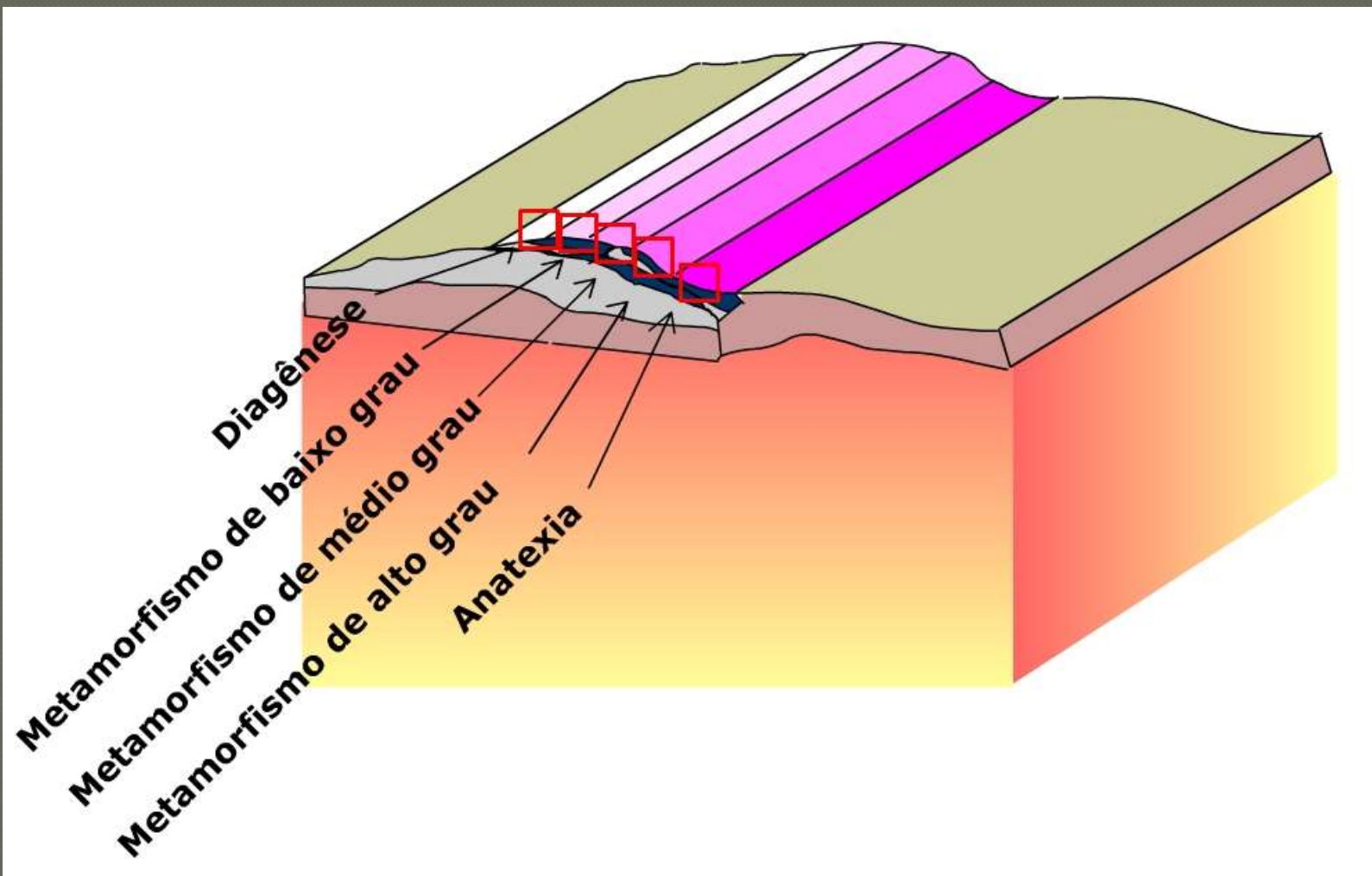


# Formação de cadeias de montanhas





# Intemperismo e erosão

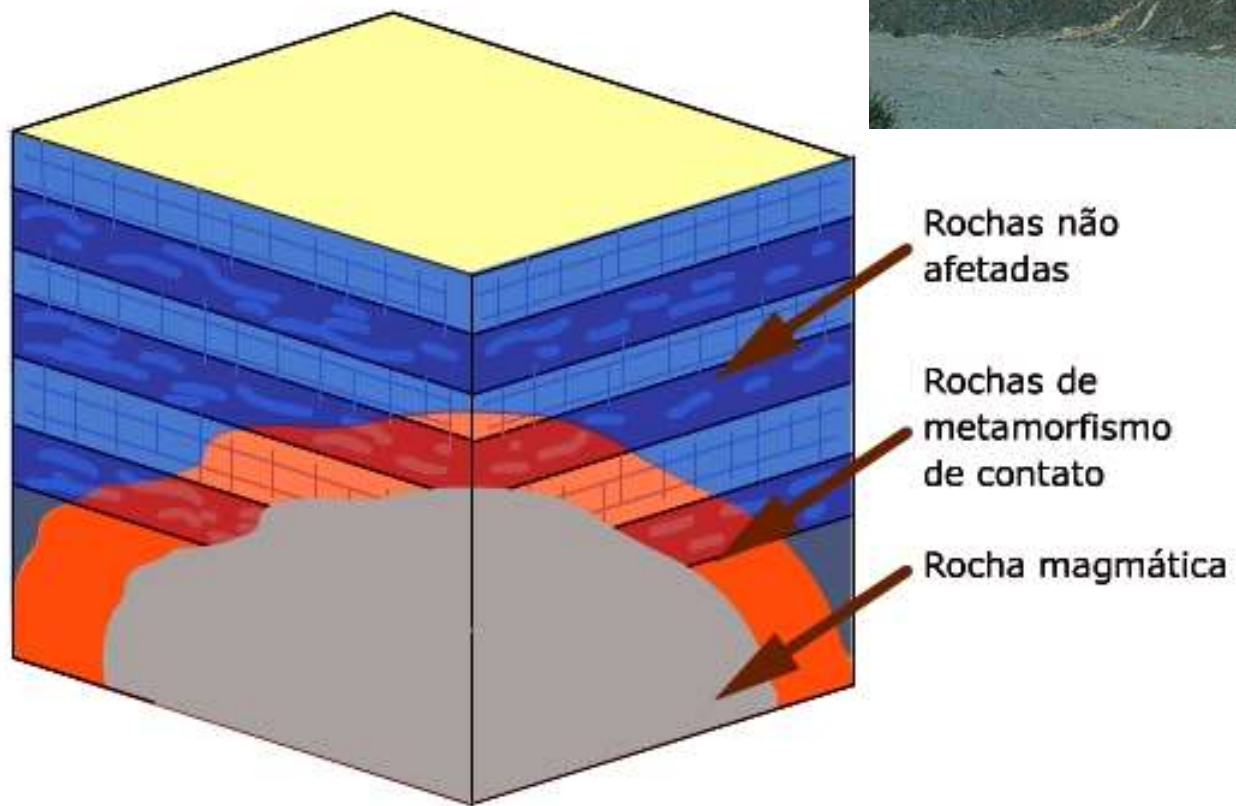


## b) Metamorfismo térmico ou de contato - hipoabissal

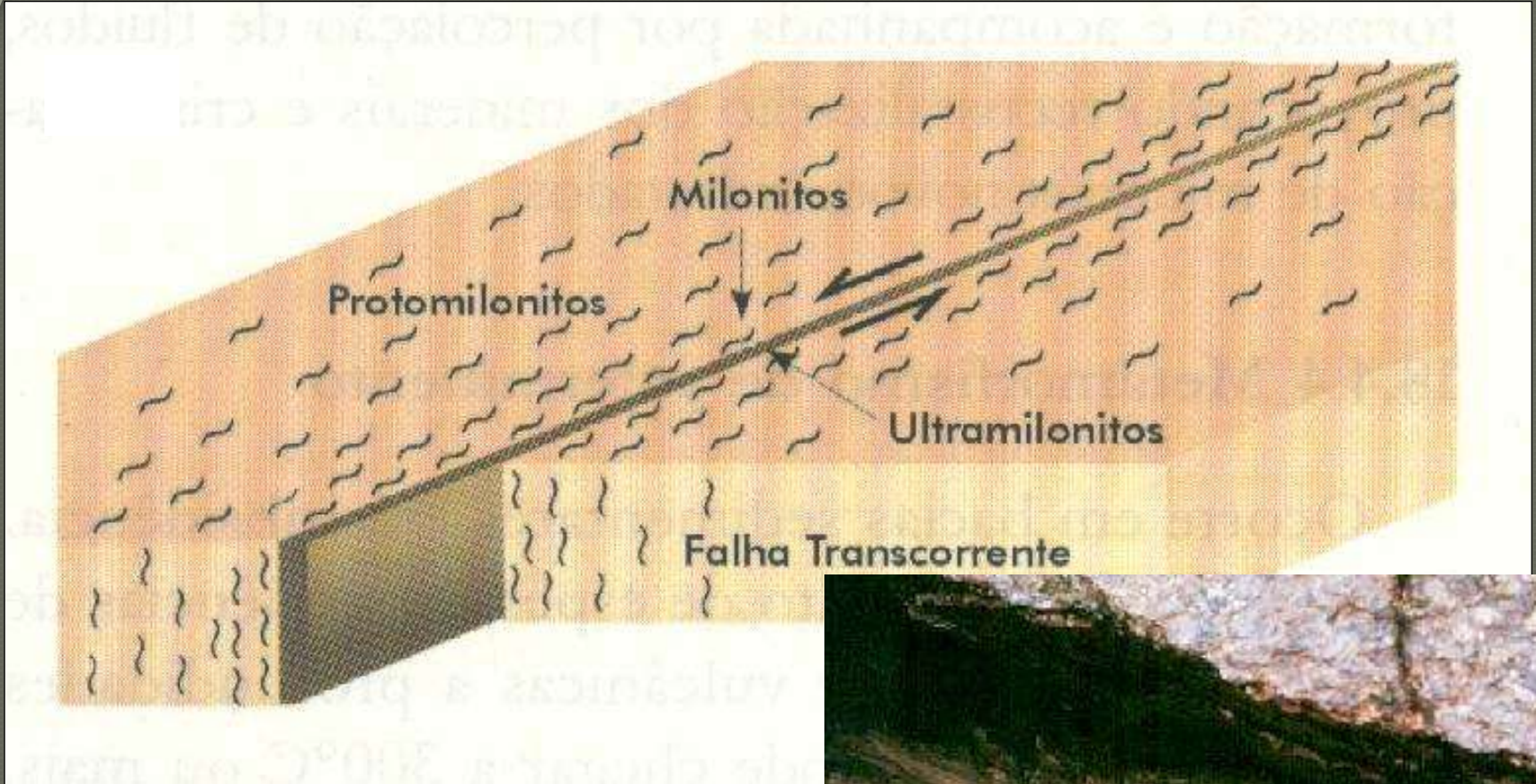


Hornfel ou cornubianito

# Metamorfismo de contato plutônico



## c) Metaformismo dinâmico ou cataclástico:



Conglomerado completamente transformado no entorno de uma falha. A nova rocha denomina-se **milonito**.



Pamela Gore 1979.

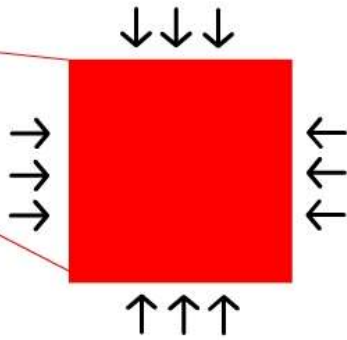
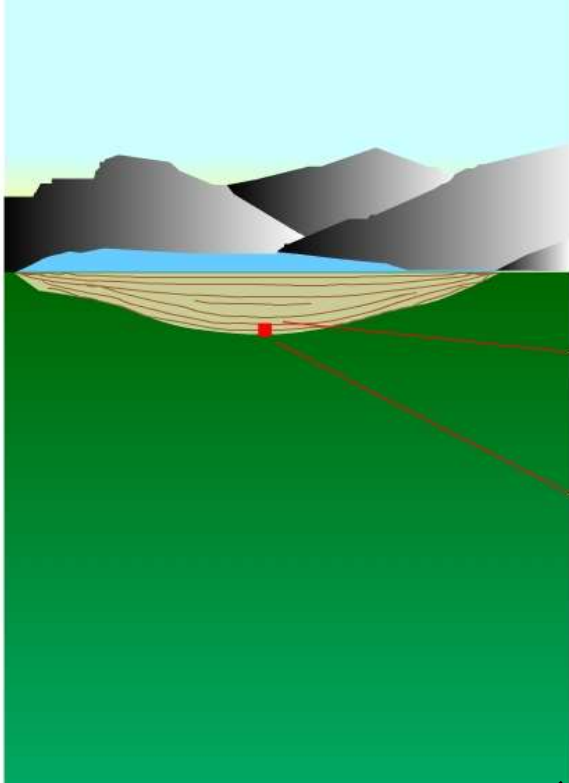


Metamorfismo cataclástico  
(filitos e quartzitos)

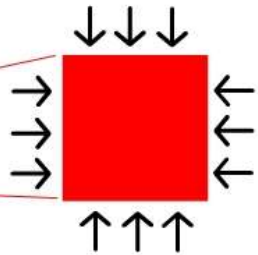
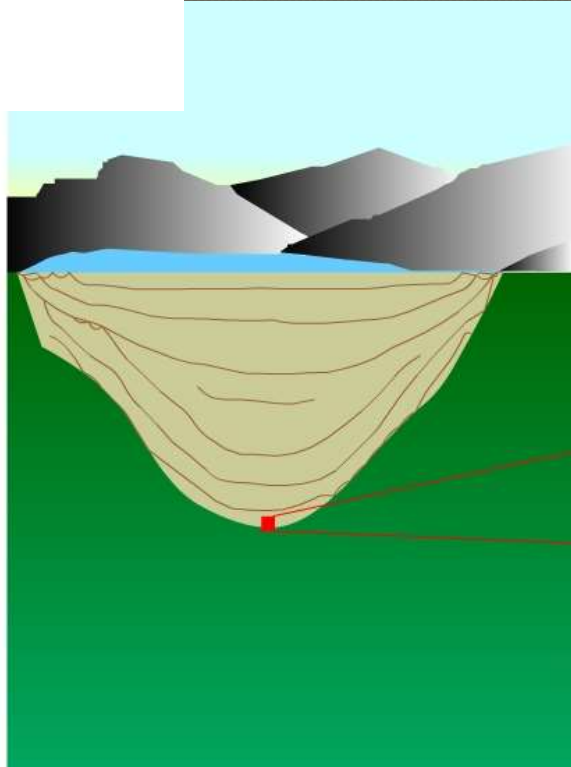


Brechas cataclásticas  
e milonitos





1km – diagênese  
5km - metamorfismo



d) Metamorfismo plutônico

d



Metamorfismo plutônico e  
de contato



# Síntese dos tipos de metamorfismo e seus produtos

<b>tipo de metamorfismo</b>	<b>descrição</b>	<b>características</b>	<b>tipos de rochas</b>
<b>contato</b>	aquecimento de rochas encaixantes durante intrusão ígnea	formação de minerais metamórficos sem orientação	Hornfels
<b>plutônico</b>	metamorfismo de grande escala que ocorre abaixo de espessas bacias sedimentares	abrange grandes extensões e ocorre nos níveis profundos da crosta sob pressão e temperatura elevadas	Ardósias, filitos, xistos, gnaisses e migmatitos.
<b>regional</b>	metamorfismo de grande escala característico de cinturões orogênicos e áreas de escudo como resultado de tectonismo		Quartzitos, mármore.
<b>dinâmico ou cataclástico</b>	esforços tectônicos intensos e geralmente localizados	fragmentação e orientação de minerais	Milonitos e brechas tectônicas
<b>de impacto</b>	relacionado com impacto de meteoros e asteróides	Fragmenta e funde as rochas a elevadíssimas temperaturas	
<b>hidrotermal</b>	reações químicas resultantes da circulação de fluidos	alteração na composição química da rochas original	Escarnitos ou tactitos

# Metamorfismo de impacto na cratera de Barringer - Arizona





1

### COLISÃO

Há cerca de 250 milhões de anos, uma rocha de 4 km de diâmetro caiu na Terra, em um lago, exatamente na divisa entre Mato Grosso e Goiás

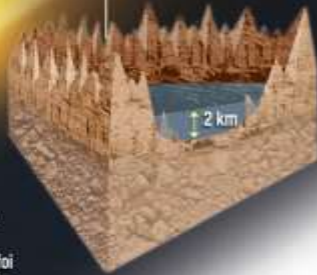
O meteorito rasgou a atmosfera terrestre a 50 vezes a velocidade do som

O lago de dez metros de profundidade foi vaporizado pela temperatura do impacto: 800°C

2

### A CRATERA

O choque foi igual ao de milhares de bombas de Hiroshima. Cavou um buraco de mais de 2 km de profundidade. Em volta foram formados anéis de morros com até 500 metros de altura



3

### MUITOS ANOS DEPOIS

Após o impacto, a diminuição da pressão sobre as rochas fez com que o território onde está a cratera fosse erguido, deixando de ser mar



4

### O MAPA DA MINA

A cratera abrange seis municípios



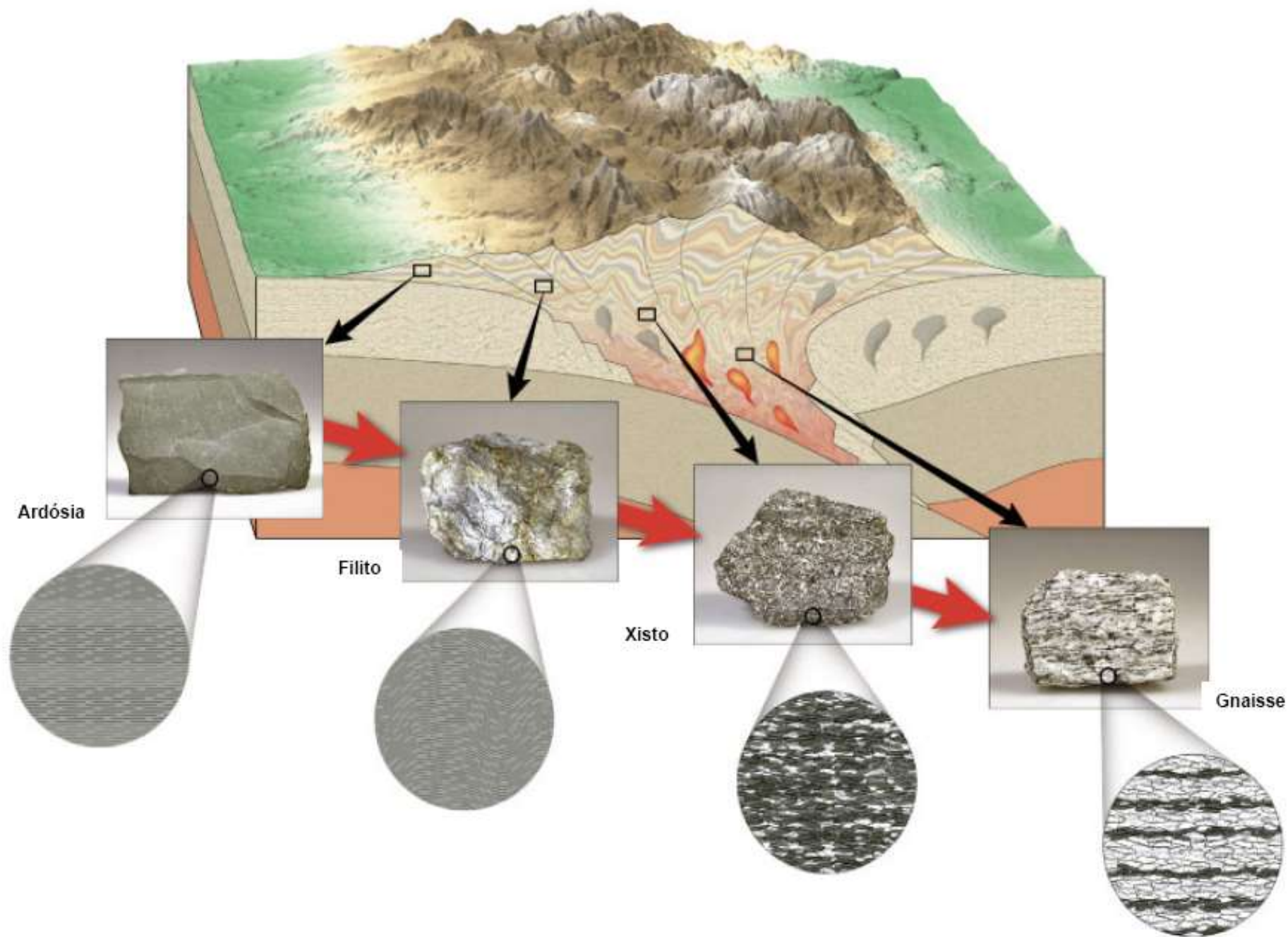
#### MATO GROSSO

	Araguainha	Ponte Branca	Alto Araguaia
População ▶	1.117	1.790	13.790

#### GOIÁS

	Doverlândia	Mineiros	Santa Rita do Araguaia
População ▶	8.344	45.189	5.873

# Metamorfismo de impacto na cratera de Araguainha - MT



# ARDÓSIA

Argilito e ardósia



# Ardósias

Detalhe de ocorrência de ardósias na natureza: observa-se a separação de lâminas no intemperismo físico

50% dos argilominerais





Aplicação de placas de ardósia em revestimento de calçadas

Pedreira de ardósia em Minas Gerais



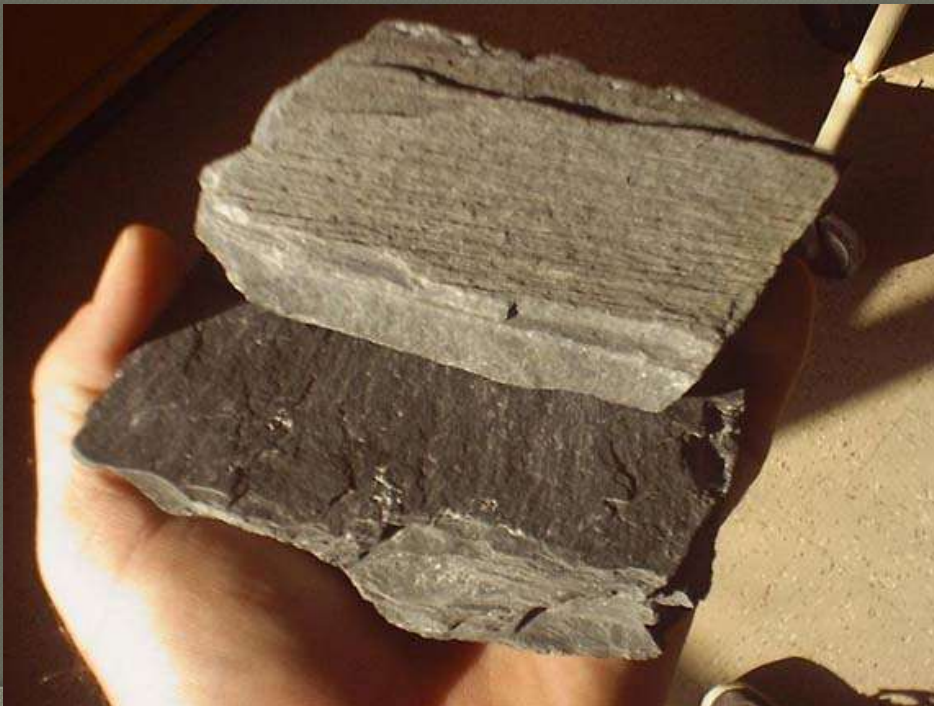




# FILITO

Desenvolvimento de mica  
Com lupa - alinhamento

Ardósia e filito



# Filitos



Minerais – olho  
desarmado



O brilho mais sedoso as rocha à esquerda mostra que é um filito e o mais opaco à direita é uma ardósia.



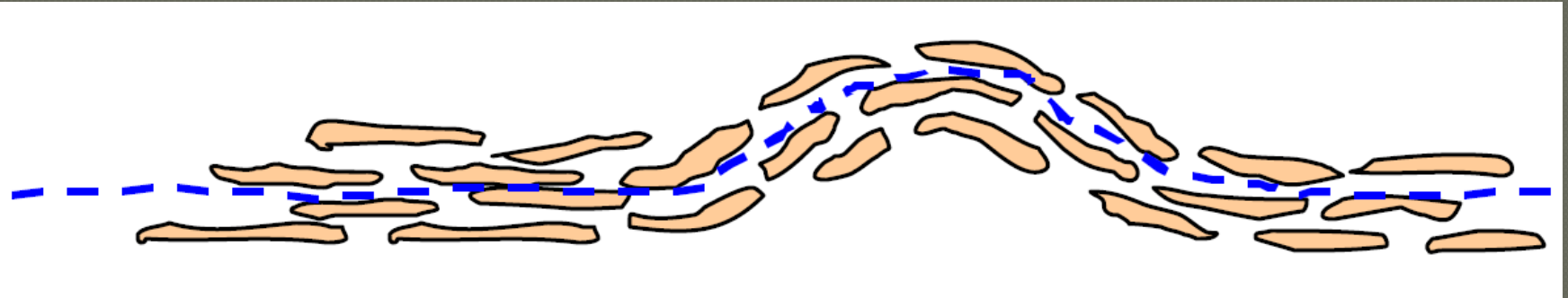
## XISTOS

piroxênios, anfíbólios e biotitas,  
alguns evoluíram para feldspatos

Ardósia – filito - xisto



# PLANO DE XISTOSIDADE:

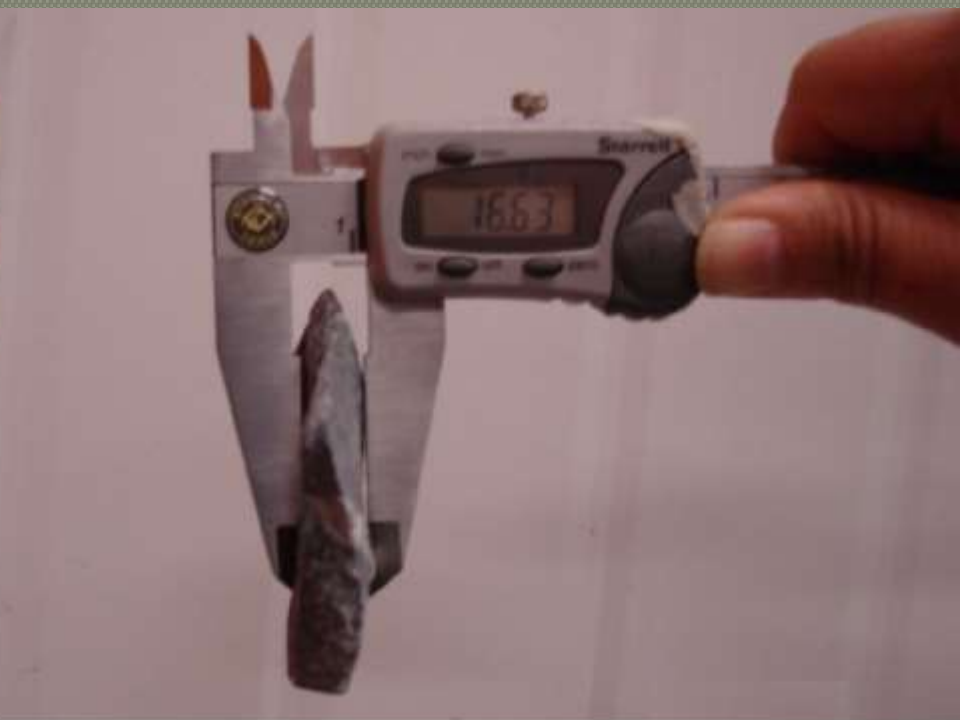




## Xistos

potencial como revestimento  
ornamental







# GNAISSE

metamorfismo de alto grau  
Bandas feldpática e quartzosa  
Bandas micáceas

Sem plano de xistosidade



## Gnaisses

Quanto mais evoluído é o metamorfismo, mais os gnaisses se aproximam dos granitos. A diferença é que nas rochas metamórficas os minerais estão ainda orientados



Paragneisses:  
bandas e  
dobras



## Paragneisses: bandas e dobras



Bandas mais ricas em biotita,  
correspondendo a antigas camadas  
argilosas.

Bandas mais ricas em feldspatos e  
quartzos correspondem a antigas  
camadas arenosas





## Ortognaisse



Alguns granitos são novamente empurrados pelo movimento de placas continentais para o interior da crosta, sofrendo deformação de seus minerais



Quando o gnaisse é proveniente de granitos ou riolitos, é denominado de ortognaisse.



Paragneisse:  
bandas de  
anfíbólio



metamorfismo cataclástico no  
entorno de uma falha

Milonito de granito:  
detalhe dos  
porfiroclastos de  
feldspato

# Xisto micáceo (micaxisto)



Paragnaisse



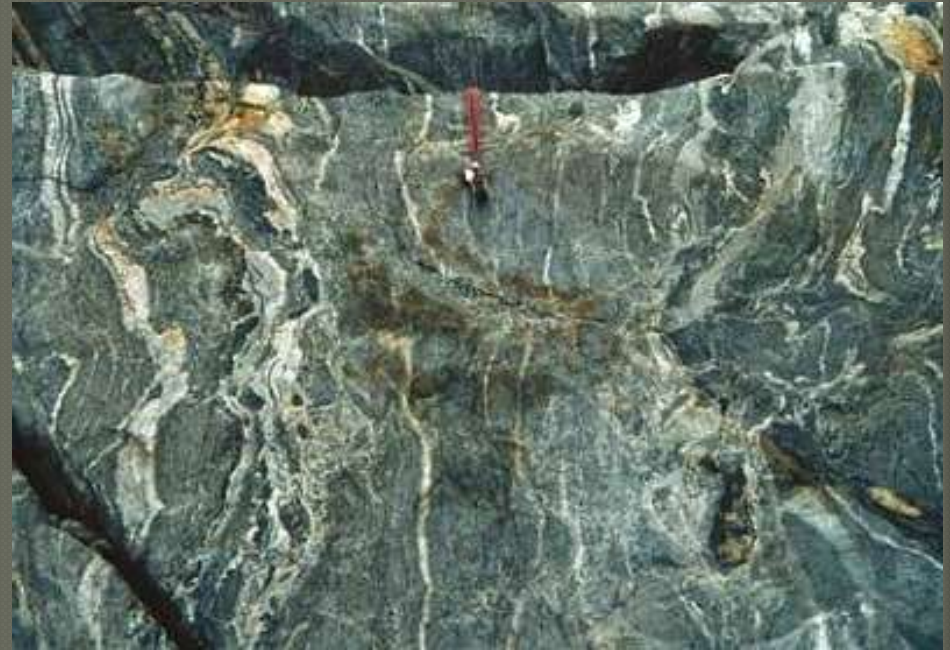
T+P

T+P



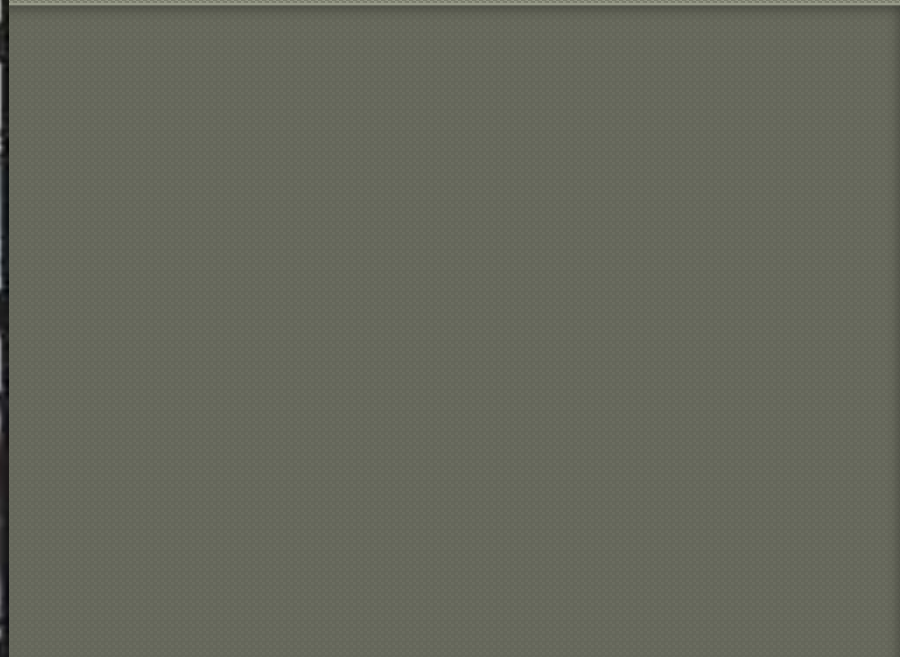
Migmatito





Migmatitos







Veio de quartzo em  
gnaisse residual

Vista de um gnaisse  
pouco fraturado



## Metaconglomerado

Os conglomerados podem sofrer metamorfismo que pode ser notado pelos pedregulhos achatados e orientados.



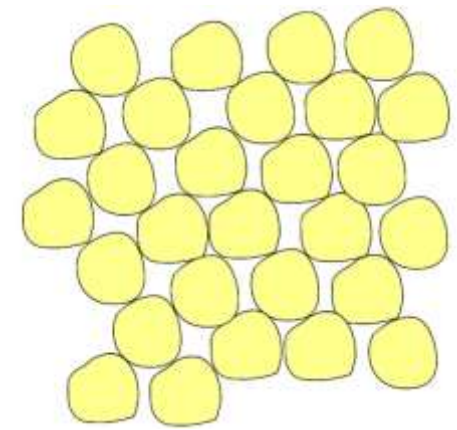
## Os campos de dunas

areias quartzosas geral quartzitos

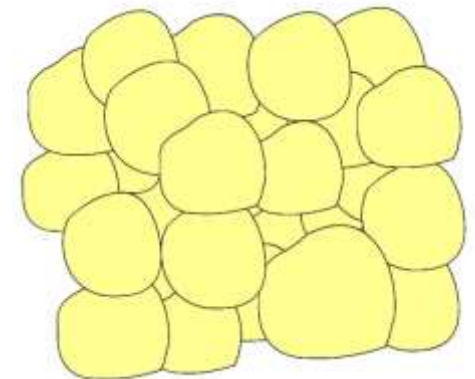
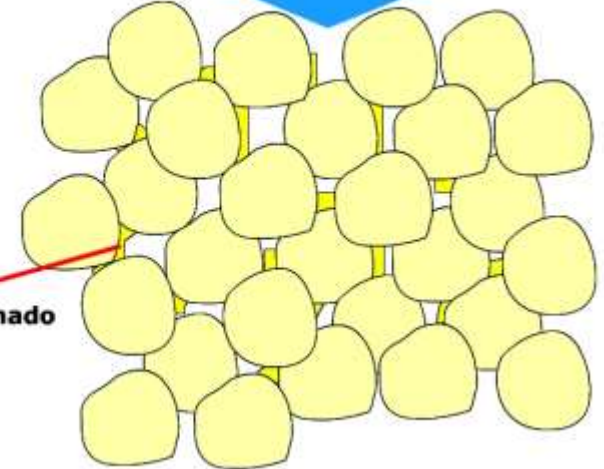
Os arenitos de  
origem eólica



# O Quartzito



Quartzo neoformado



Arenitos



T+P



Quartzitos



# Quartzitos



Os quartzitos são rochas muito duras e muito resistentes. Quando constituídos por areias quartzosas puras e de elevado grau de metamorfismo, podem **produzir britas de ótima qualidade.**





Caxambu é um quartzito  
xistoso  
Protólito - arcose





## Utilização de placas e Filetes de quartzito

De grau alto – duras

Cimentados fracos – coloridos, fracos



# Mármore



O metamorfismo dos calcários  
Baixa dureza  
Aumento de minerais carbonáticos  
Concreto Branco

©THOUSANDIMAGES.COM





## Extração de pedra sabão (esteatito)



rochas ígneas ultramáficas  
(peridotito, por exemplo)





# Deformações na crosta

# Comportamento dos materiais



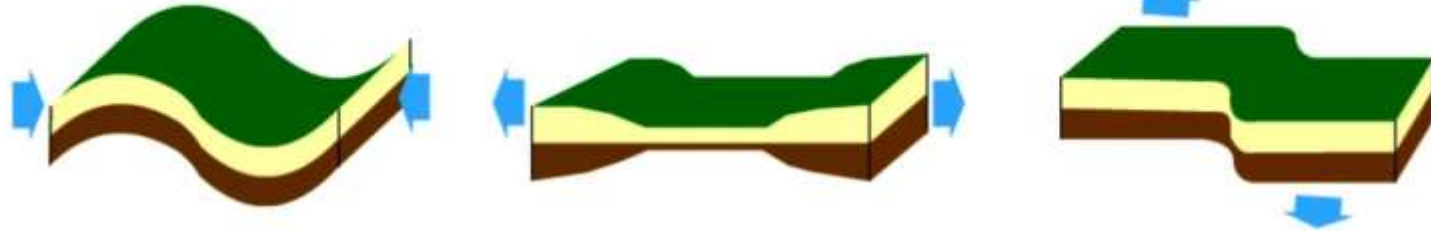
Vela com 45°C

Vela com 20°C

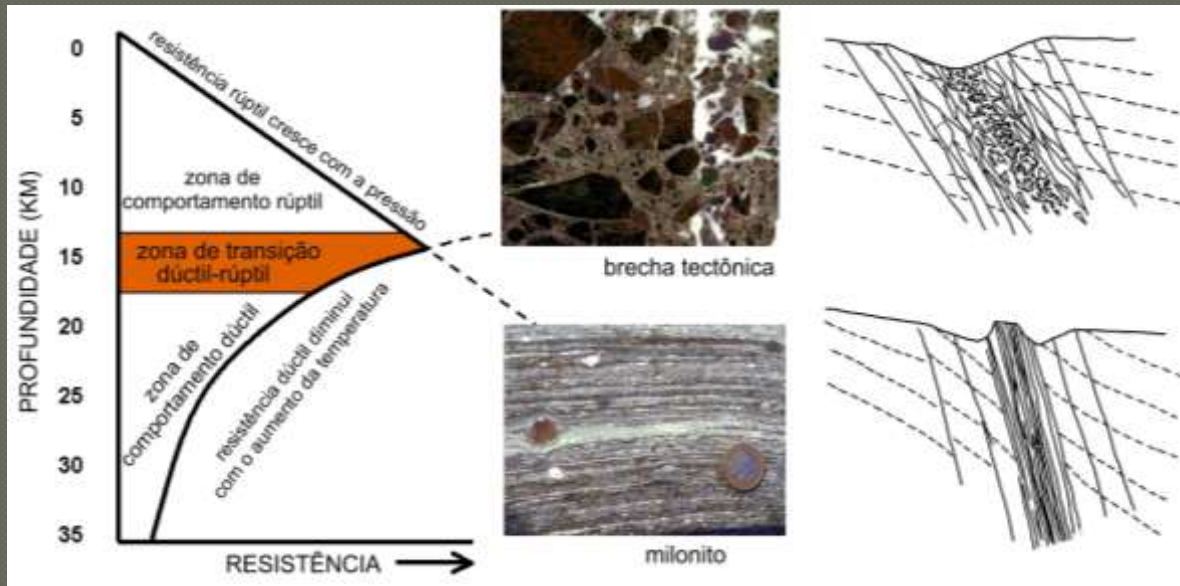
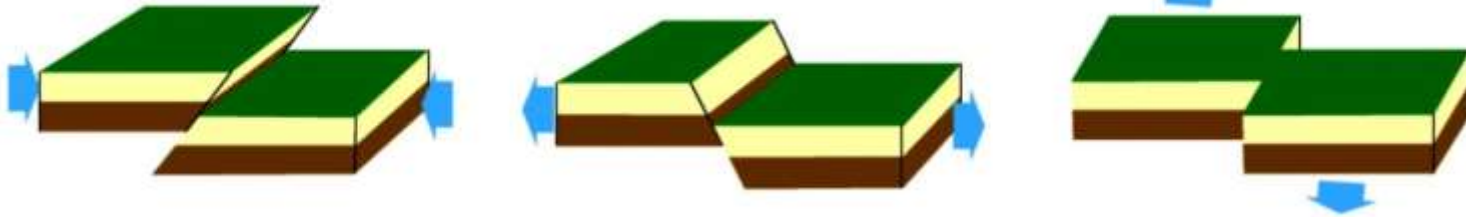


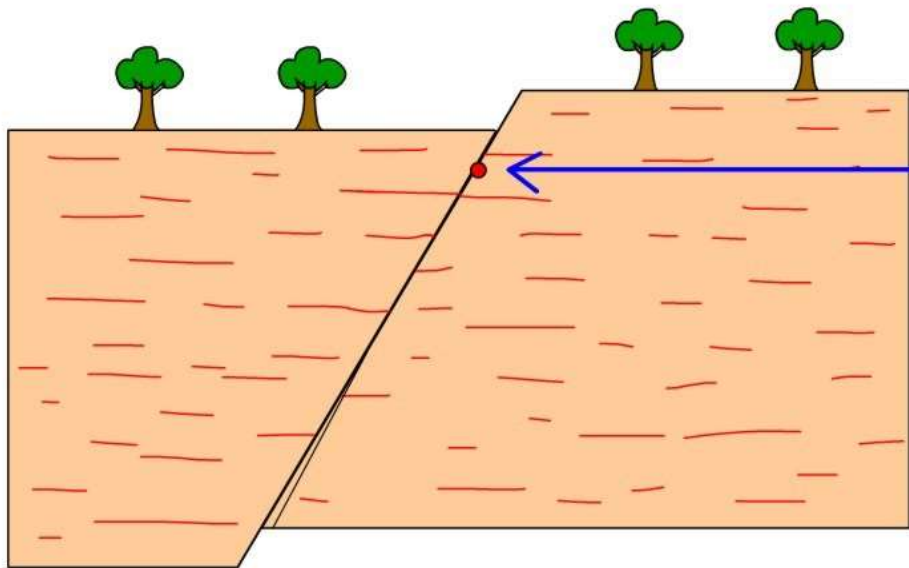
# Deformações nas rochas

deformações dúcteis

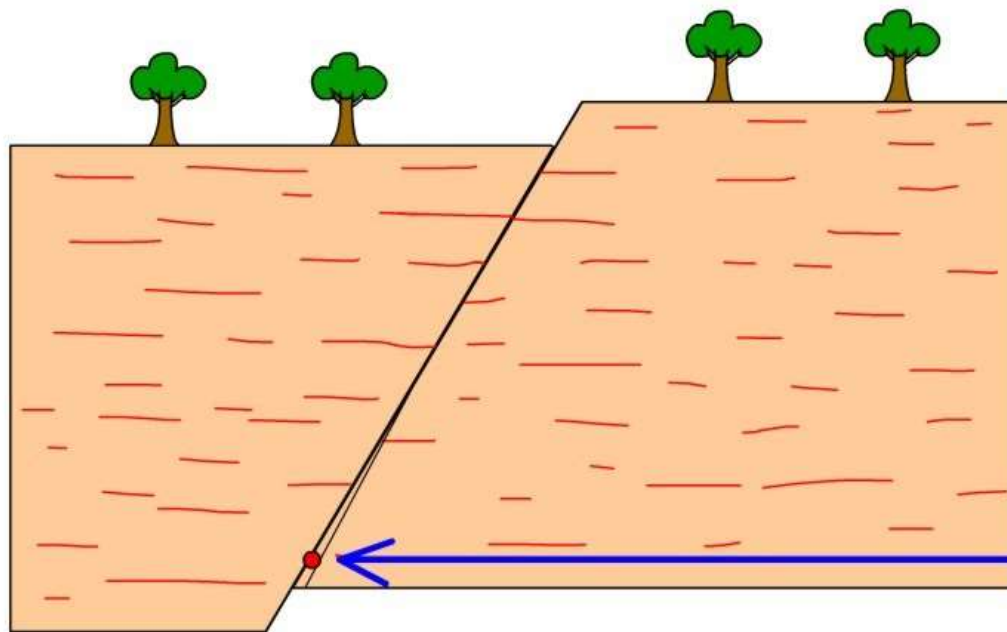
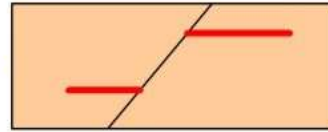


deformações rúpteis

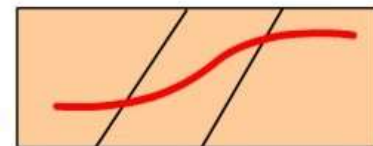




falha de baixa  
temperatura



falha de alta  
temperatura



# Deformações Rúpteis



← Fraturas (diáclases)  
Coação interna

Falhas (Paráclases) →  
tectonismo

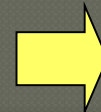
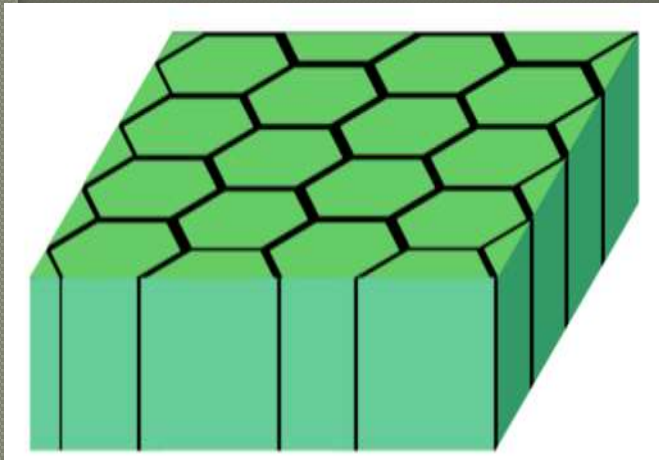
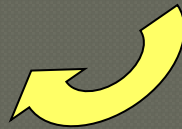
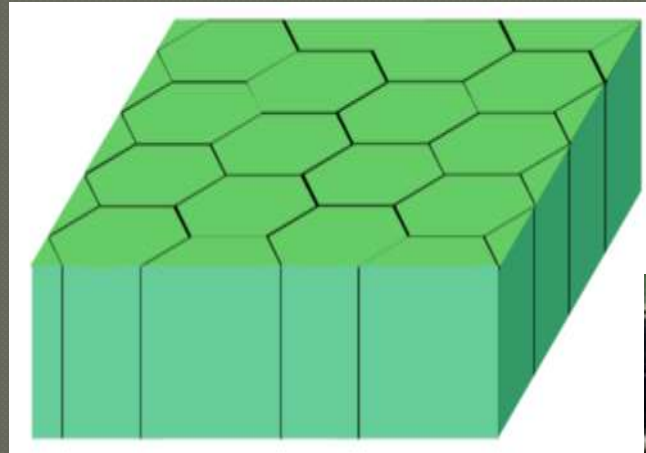
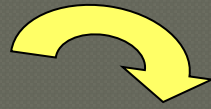
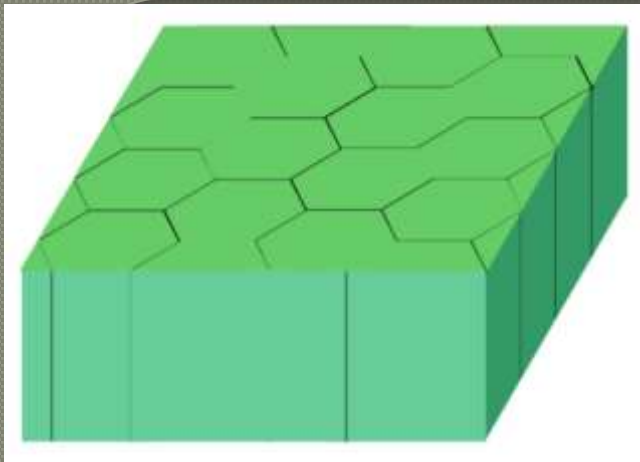


# Fraturas ou Diáclases

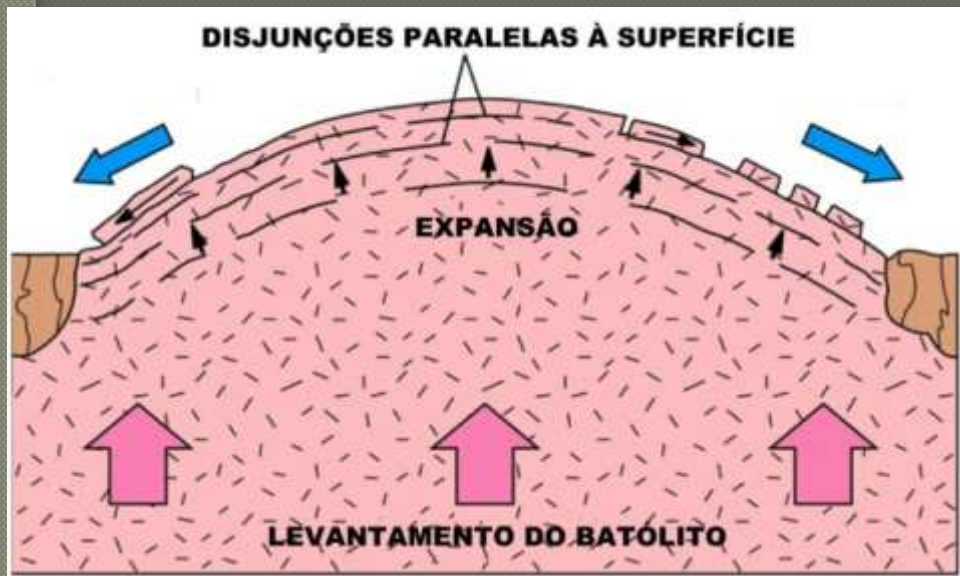
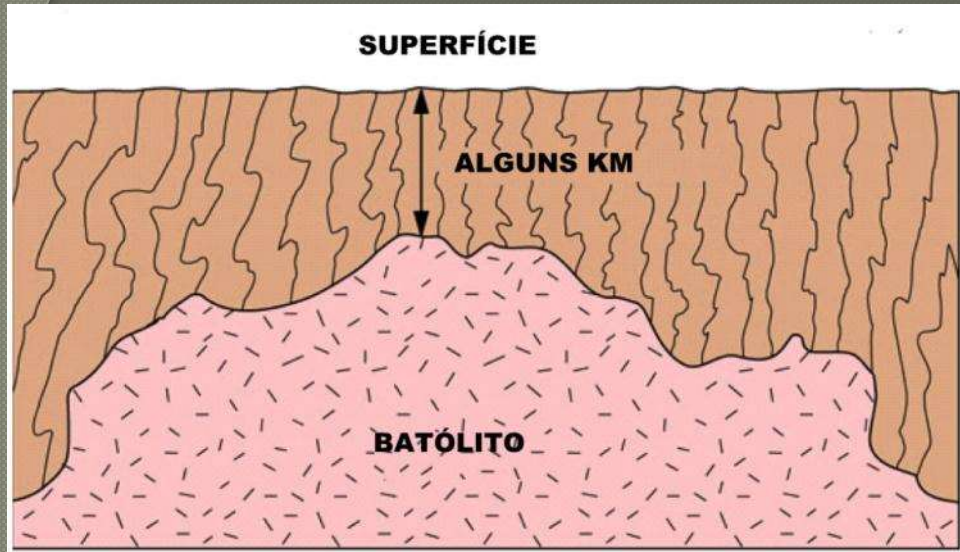
(redução de temperatura ou pressão)



Resfriamento de rocha  
magmática extrusiva ou  
intrusiva hipoabissal

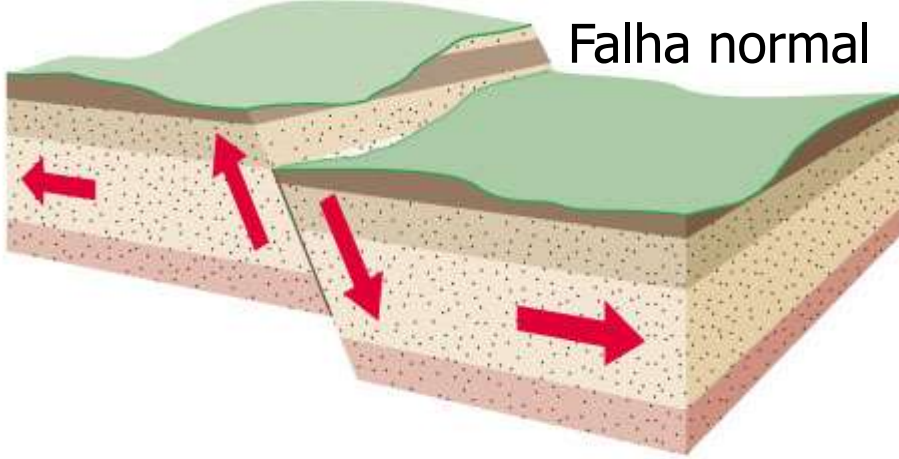


Exemplo de diáclases  
causadas por alívio de  
pressões - batólitos

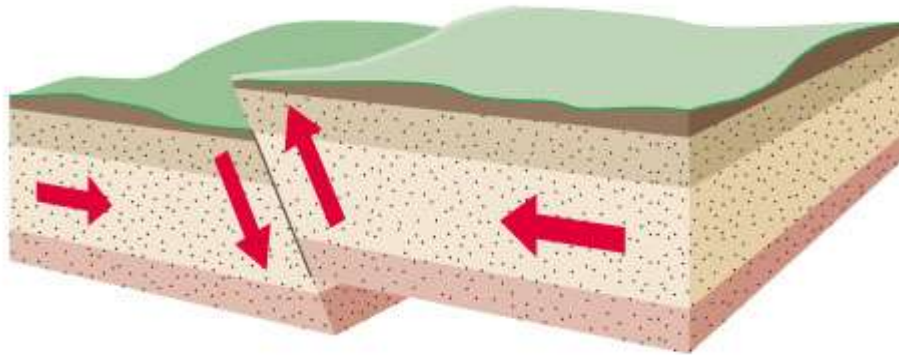


# Falhas ou Paráclases

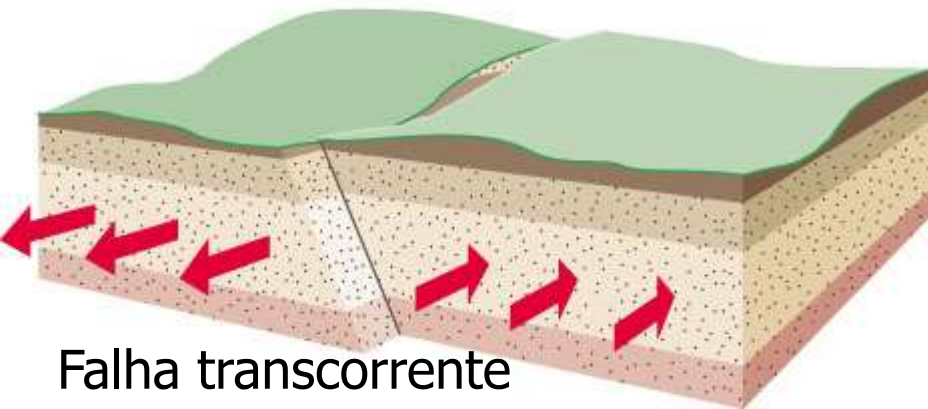
Falha normal



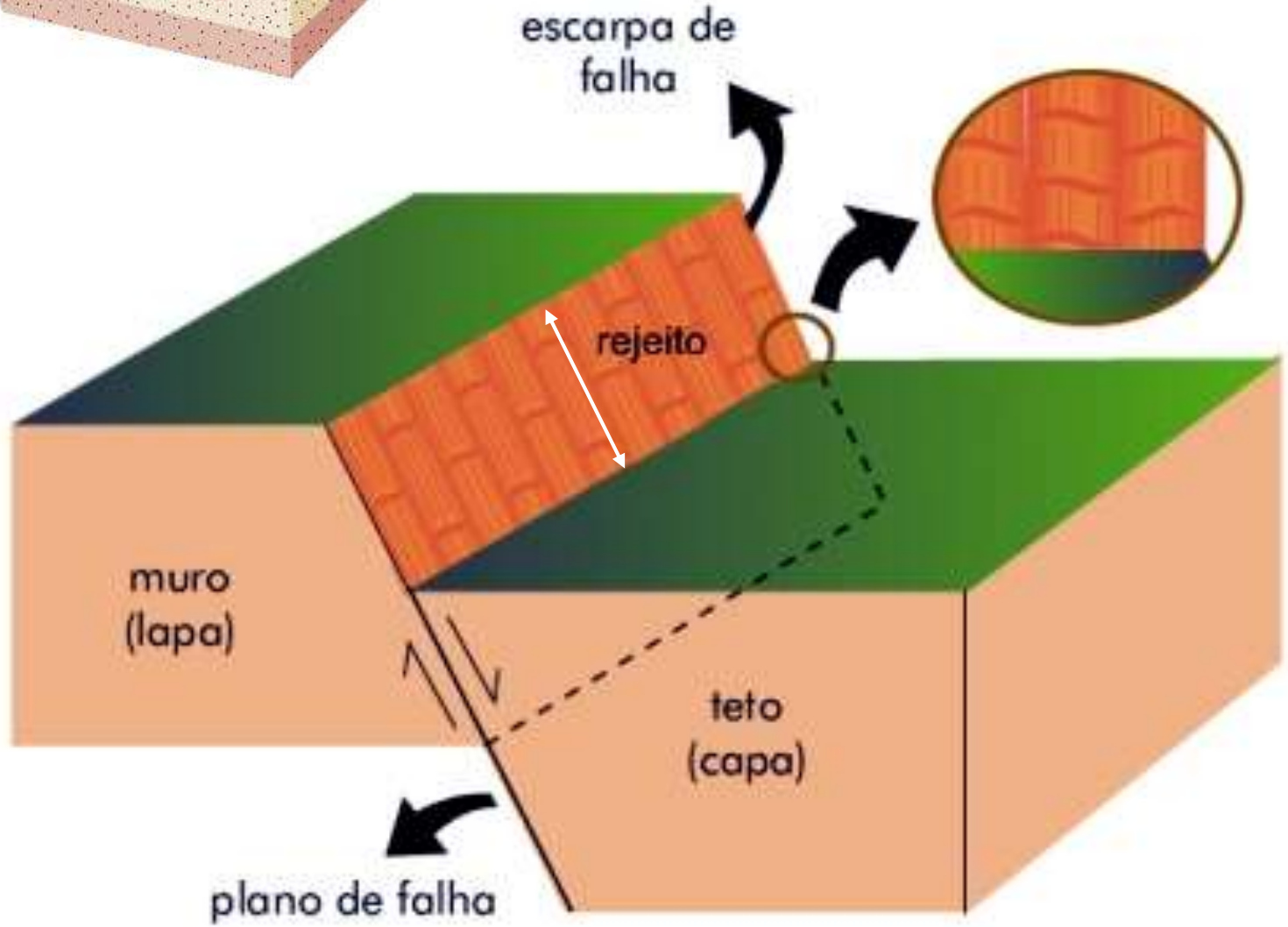
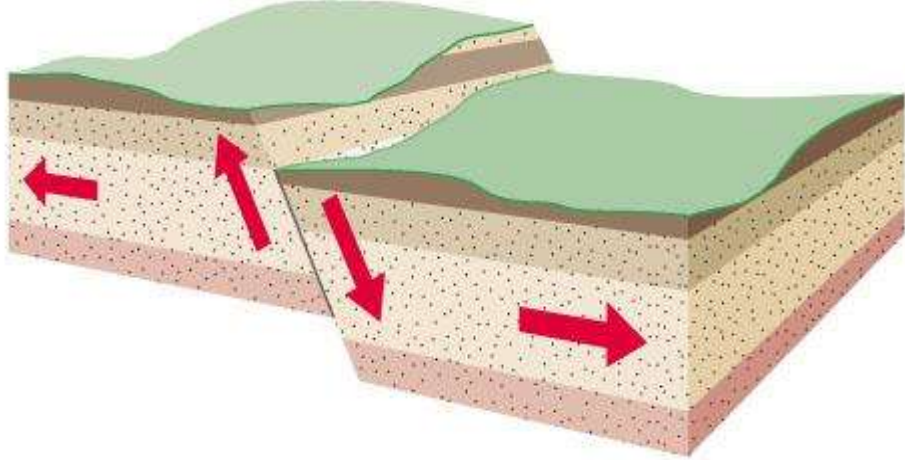
Falha inversa



Falha transcorrente



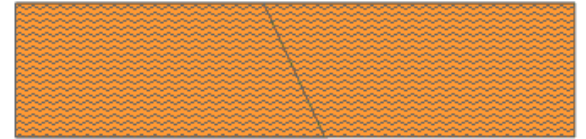
# Falhas normais ou de tração



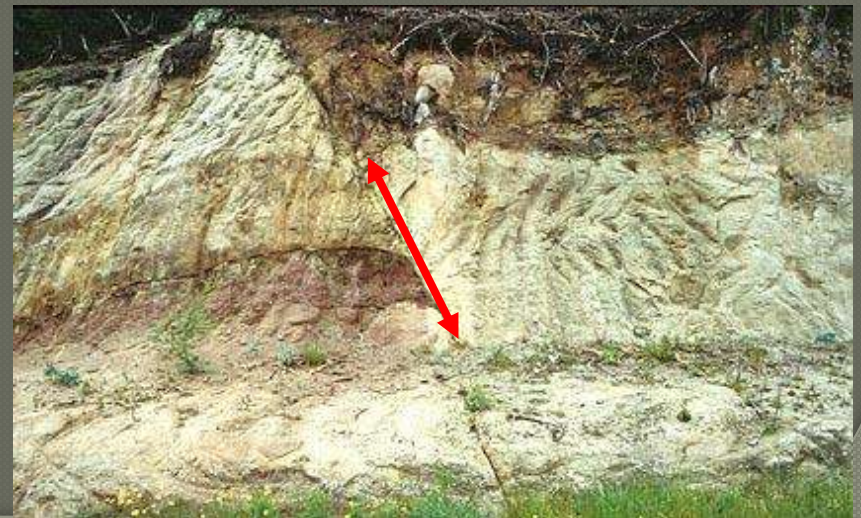




Falha normal com  
rejeito de 50cm  
em lamito



Falha normal em calcário: o  
rejeito pode ser identificado  
pelo desalinhamento de  
estratificações



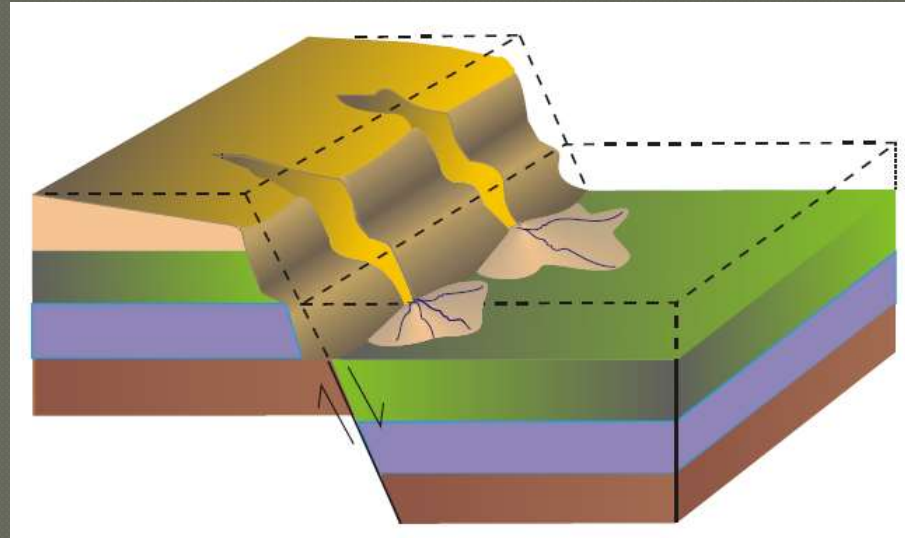


Detalhe das faces polidas de uma falha (slickensides – movimento relativo).

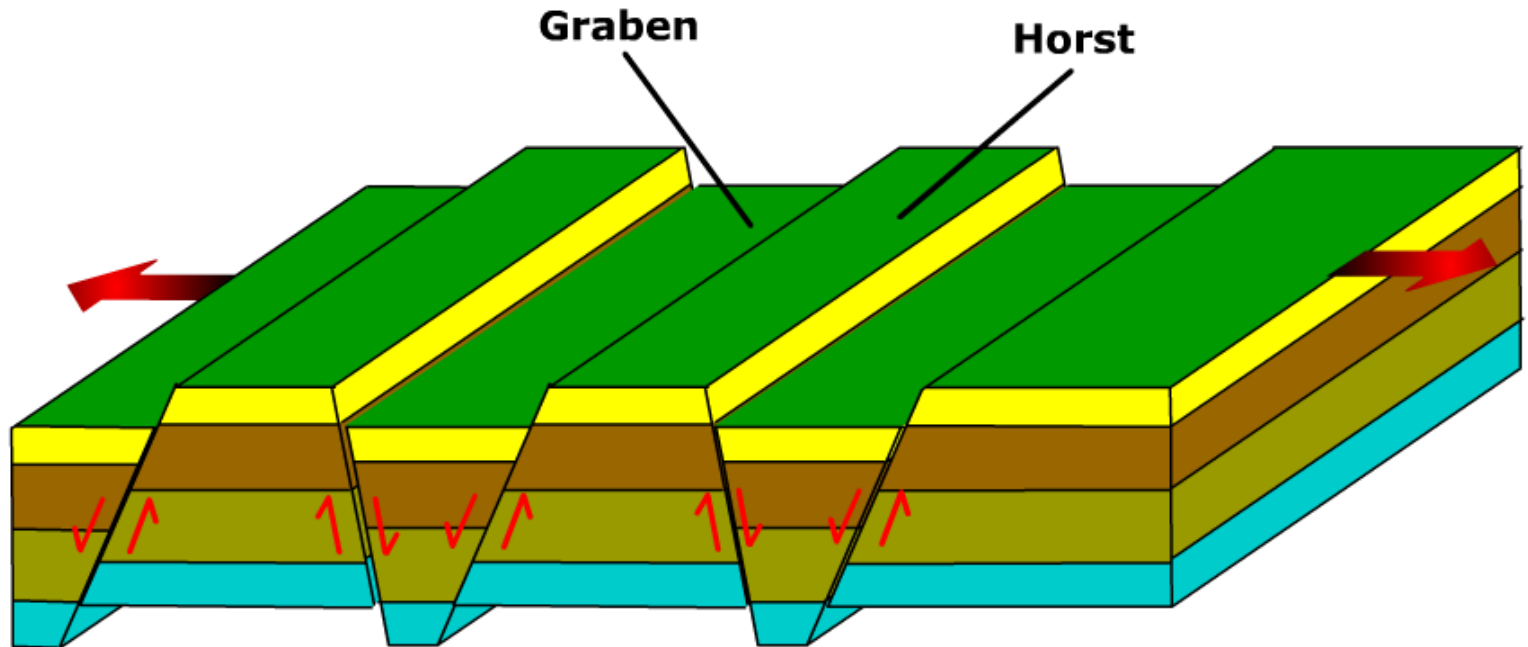
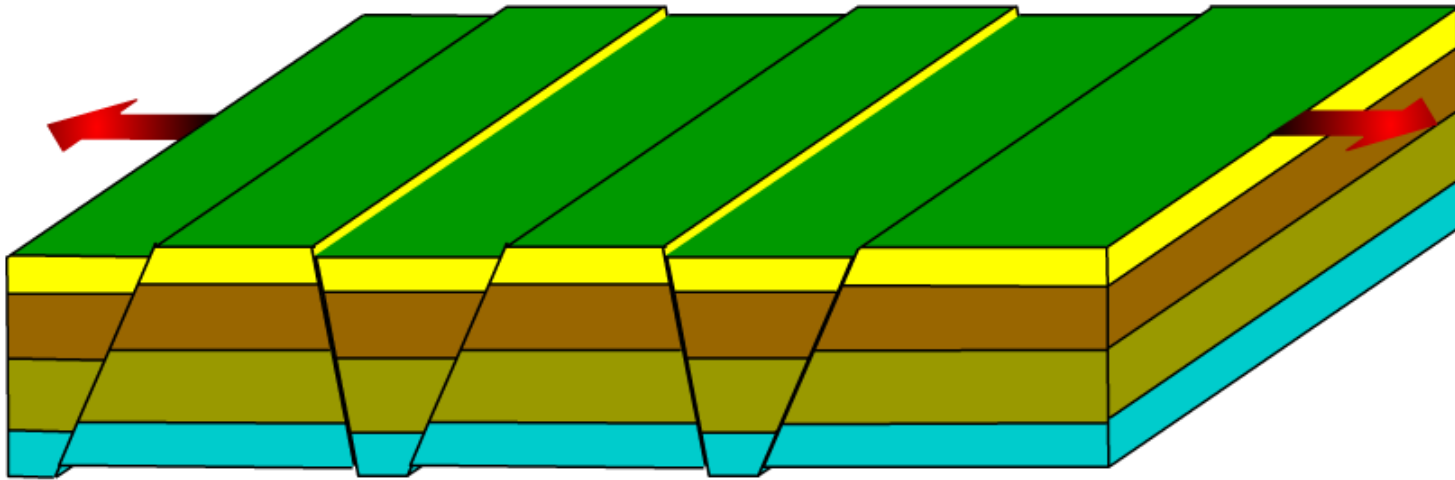


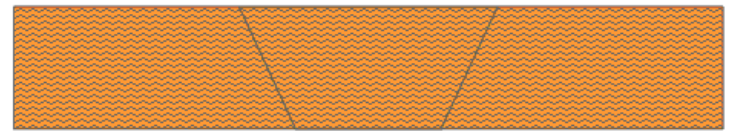
Falhas normais, afetando arenitos e conglomerados da Formação Itaquaquetuba (SP).

# Falhas de tração e o relevo

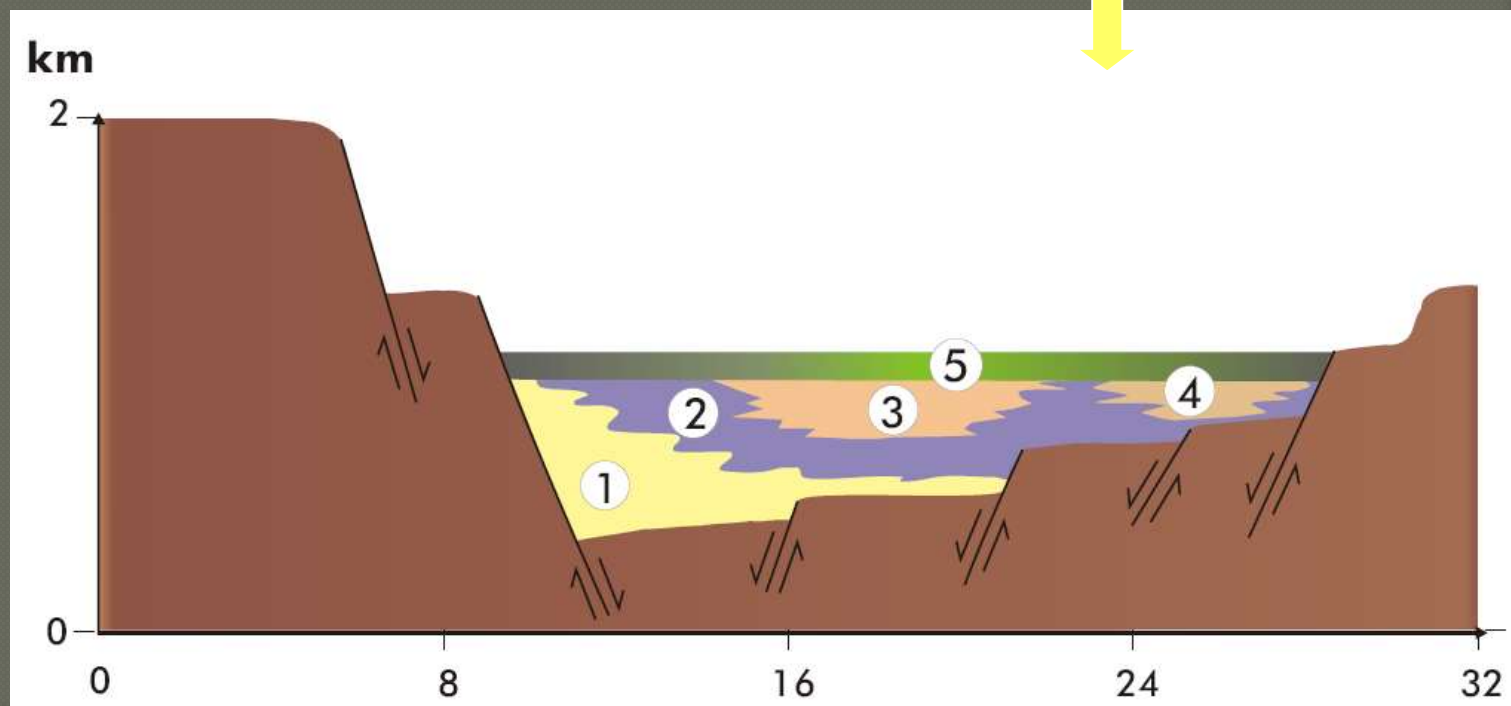


# Fossas tectônicas só se formam em regimes distensivos (tração)

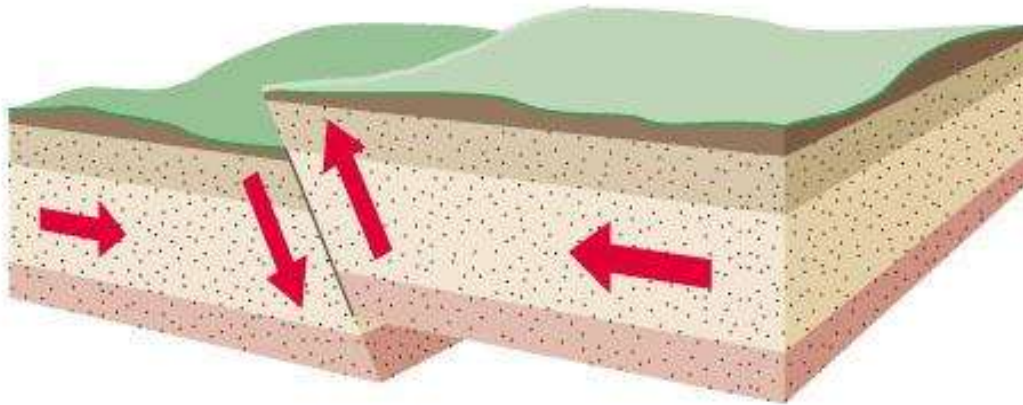


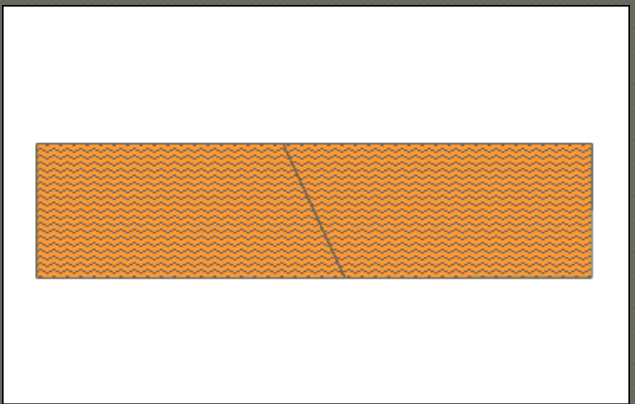


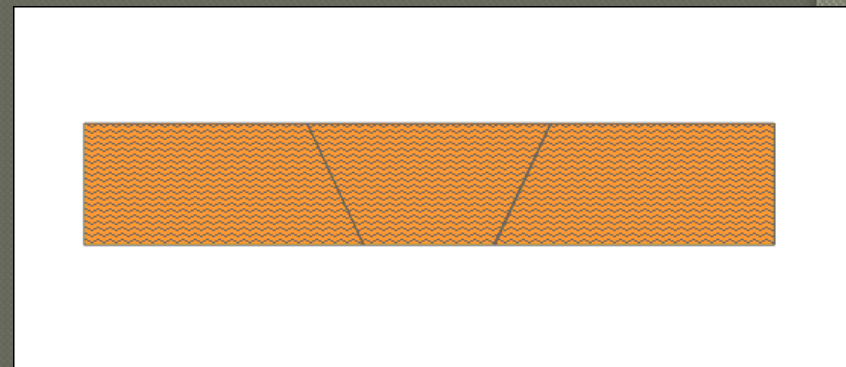
Secção geológica esquemática da bacia (graben) do Vale do Rio Paraíba do Sul, São Paulo.



# FALHA INVERSA OU DE COMPRESSÃO

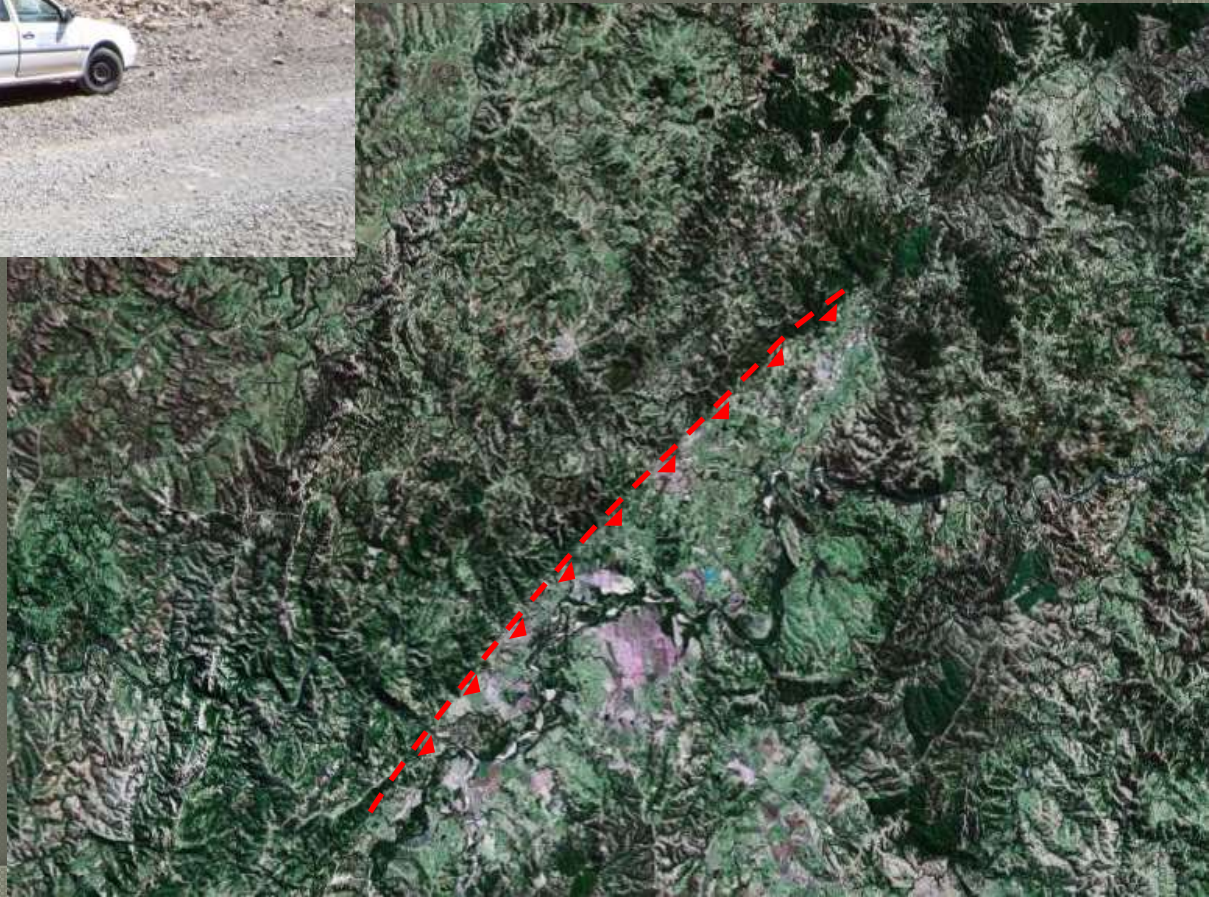






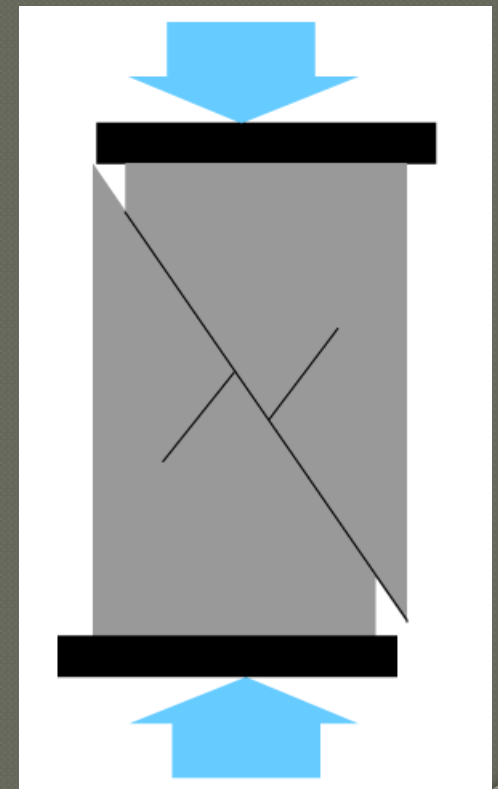
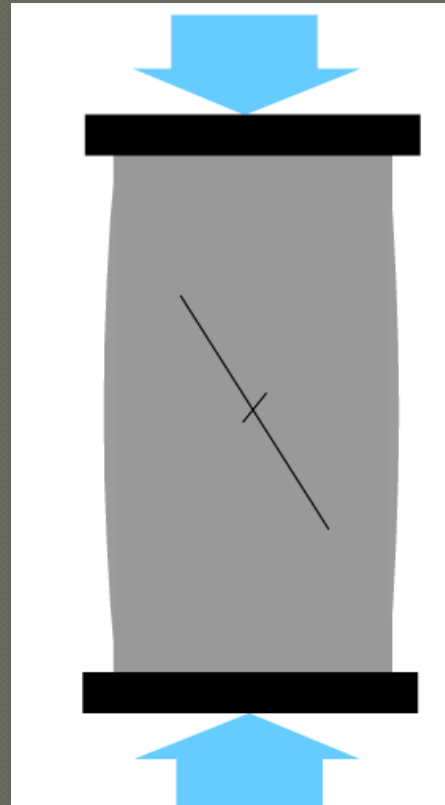
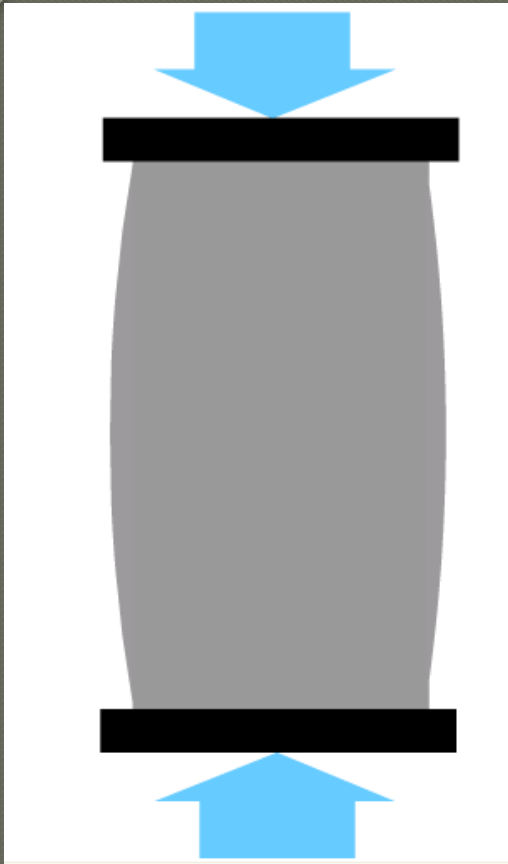
Cortes da RS-471,  
trecho Barros Cassal –  
Herveiras

Falha de compressão  
próxima a Santana da Boa  
Vista - RS

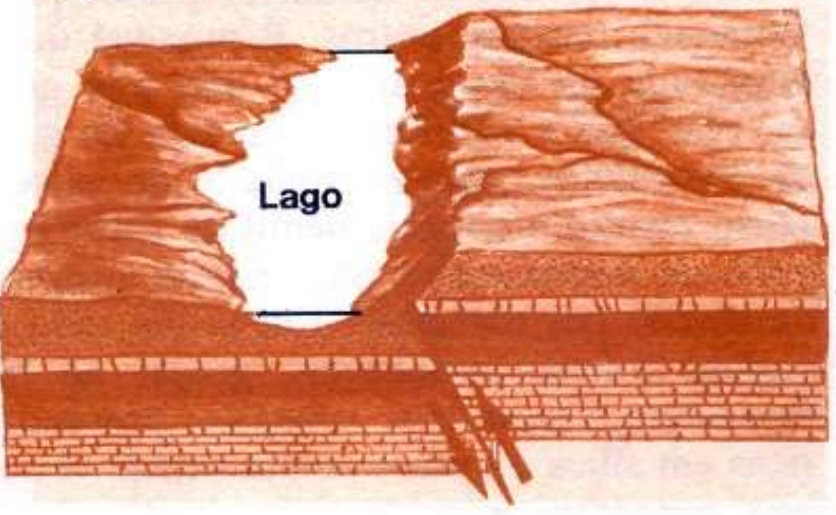




Analogia das fraturas em um corpo de prova cilíndrico.



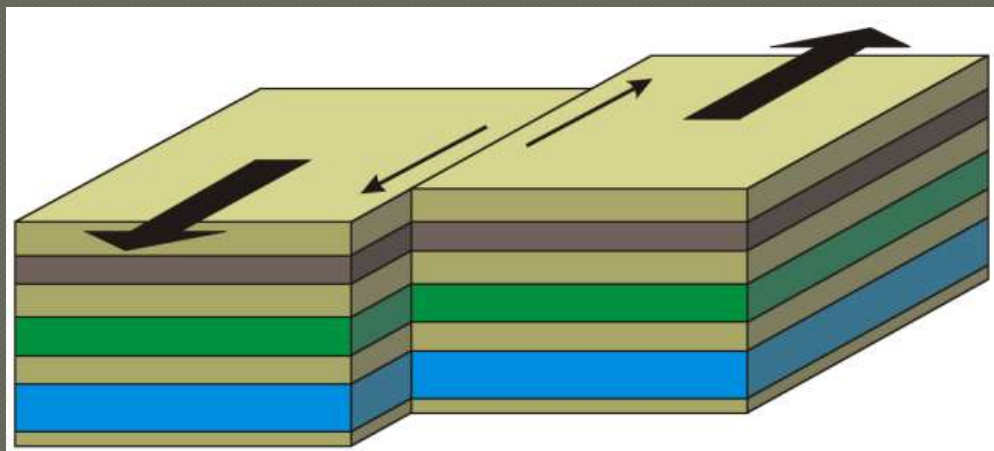
C



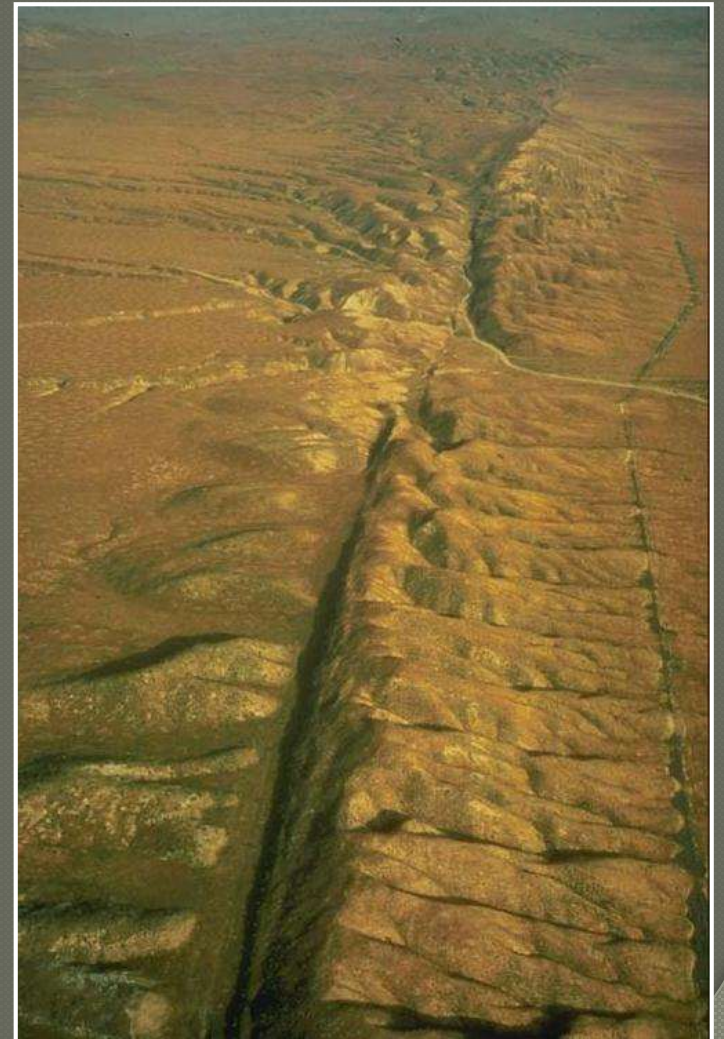
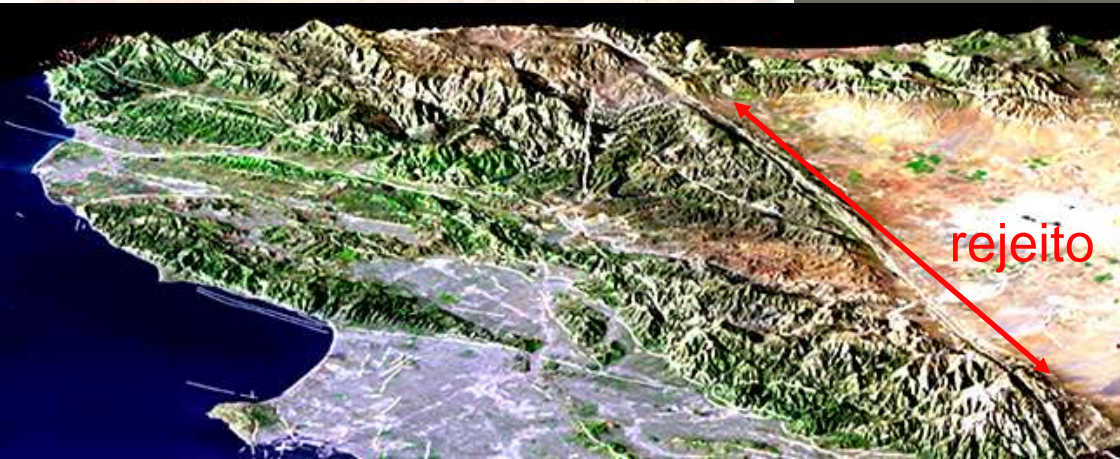
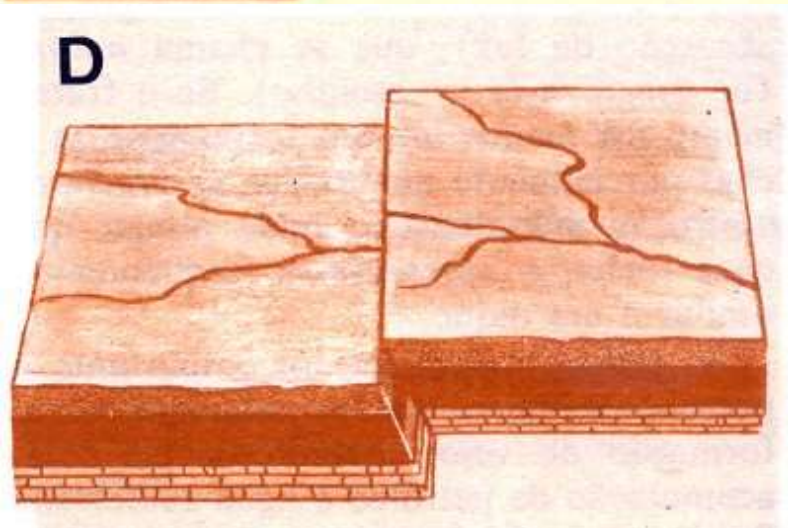
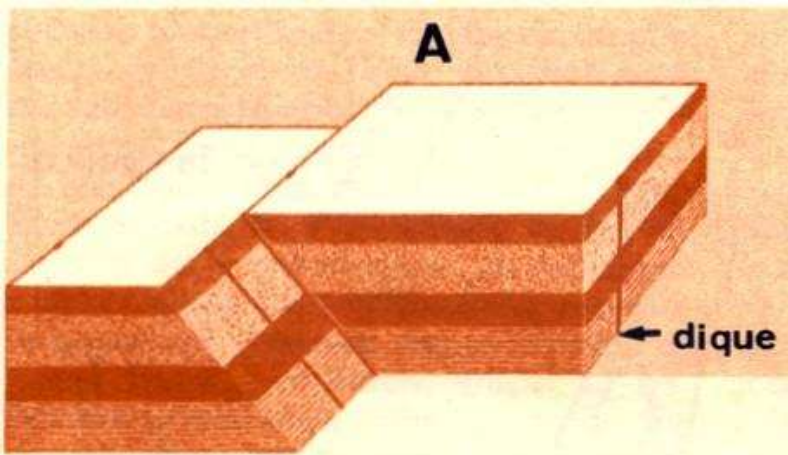
# Falhas inversas e o relevo



# FALHA TRANSCORRENTES

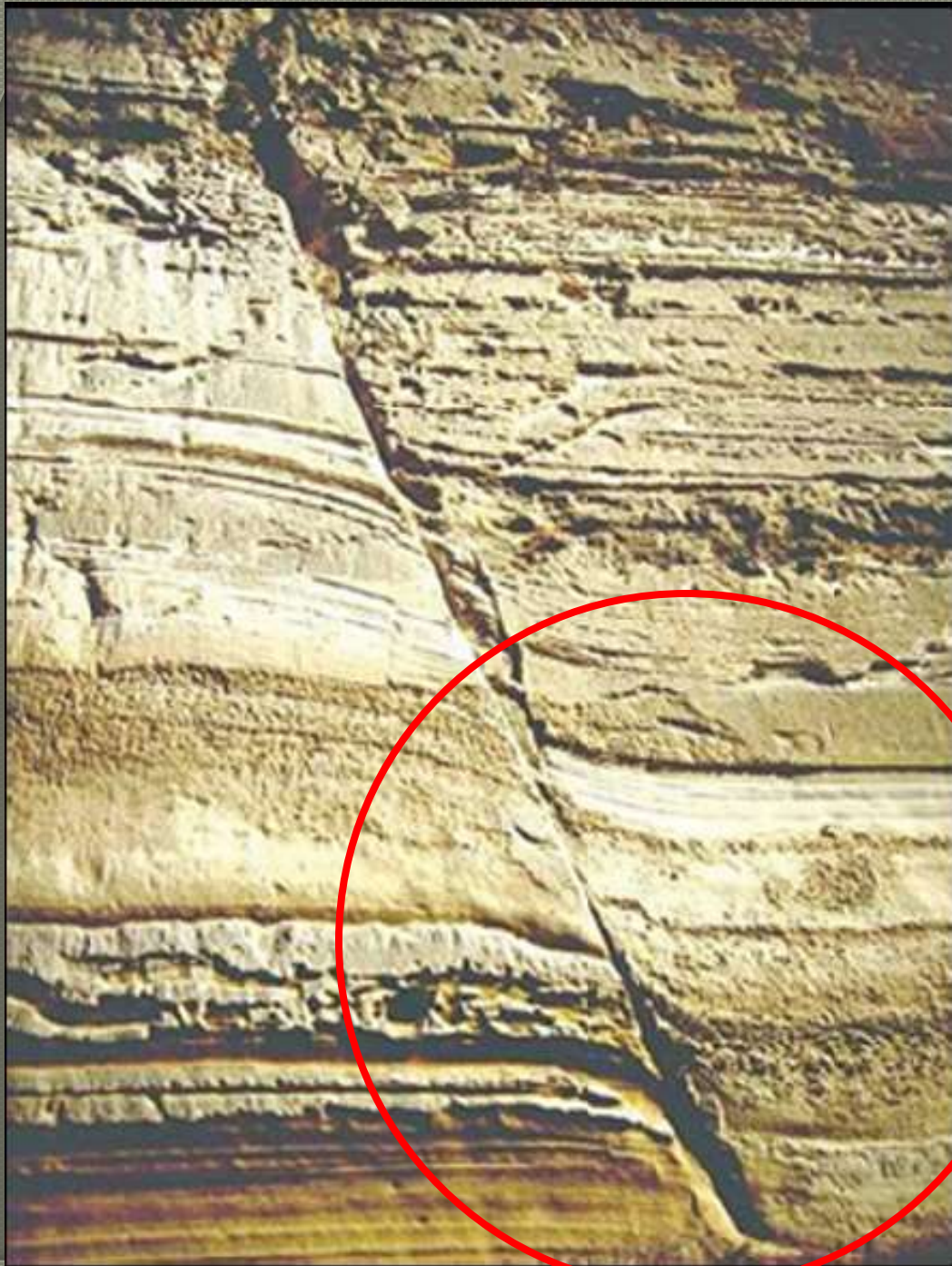


# Falha transcorrente de Santo André, na Califórnia - EUA



# Falhas transcorrentes e o relevo

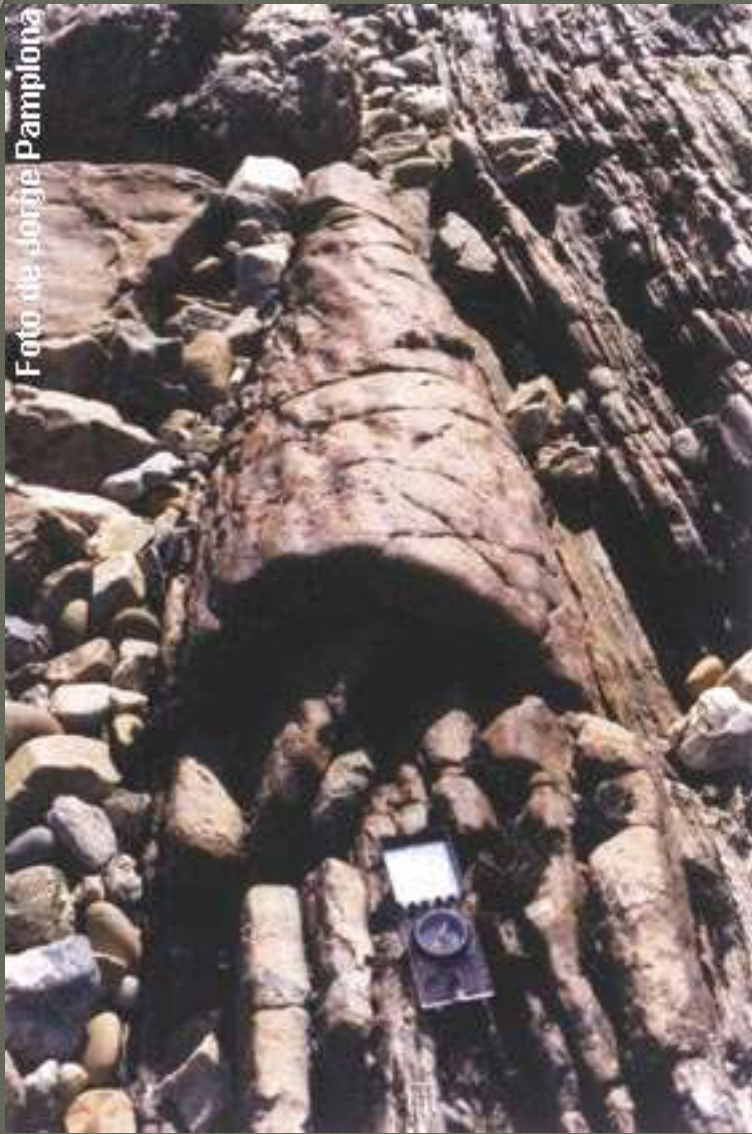




Falha de tração com  
deformação nas  
estratificações:  
temperaturas altas

# DEFORMAÇÕES DÚCTEIS: **DOBRAS**



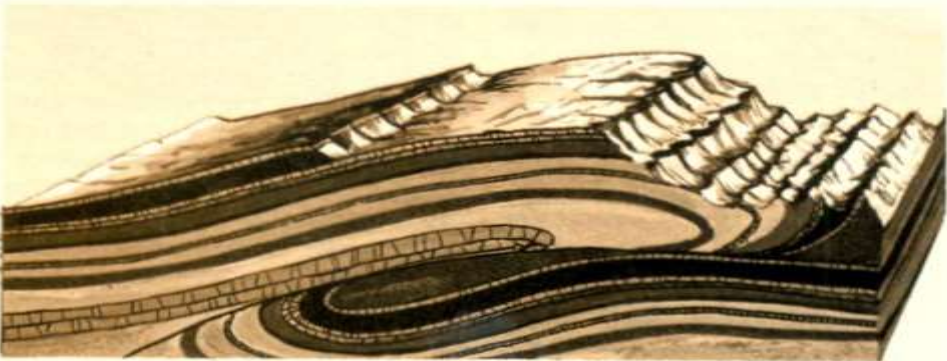
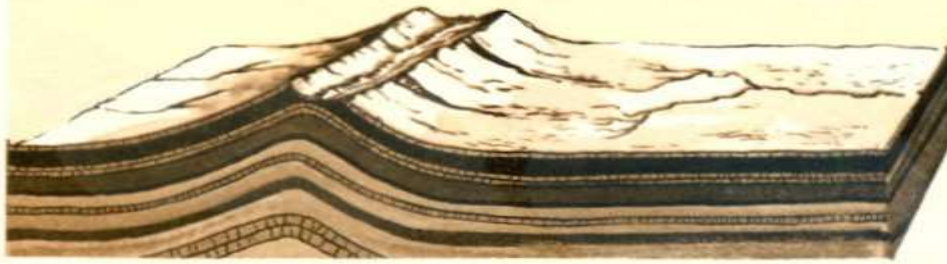


# Escala das dobras

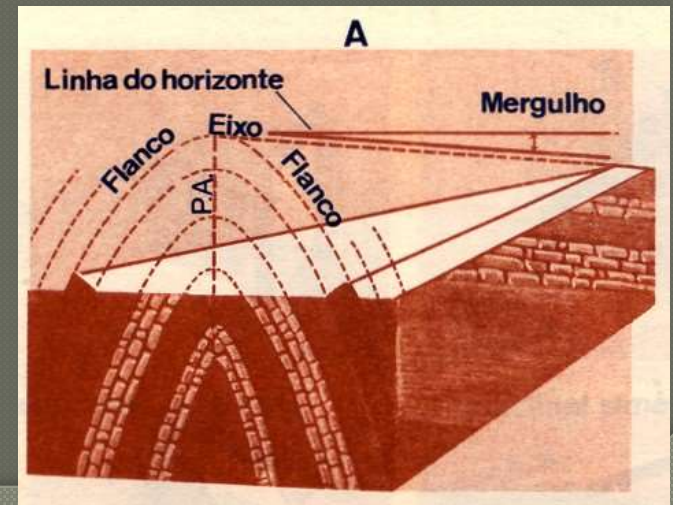




Dobras podem influenciar o relevo

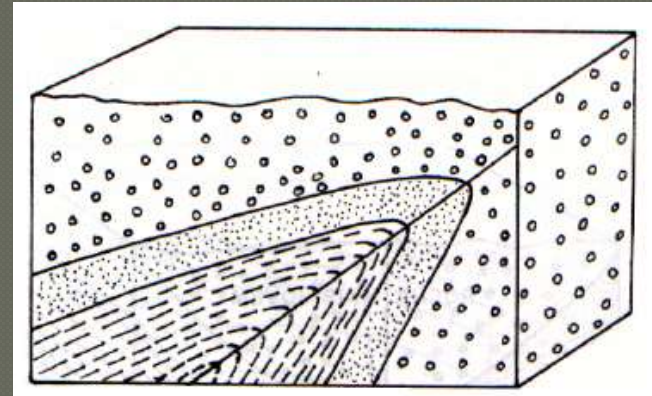
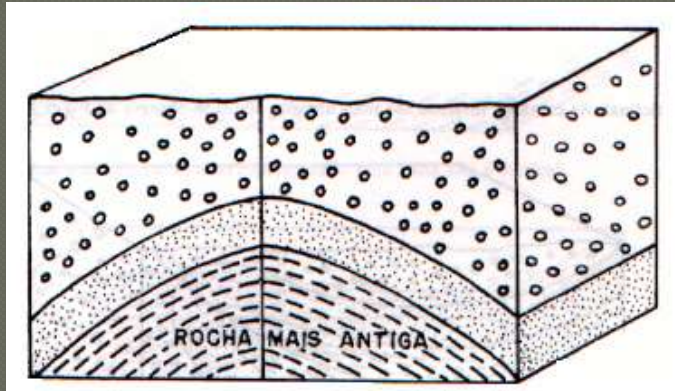


Componentes geométricas de uma dobra

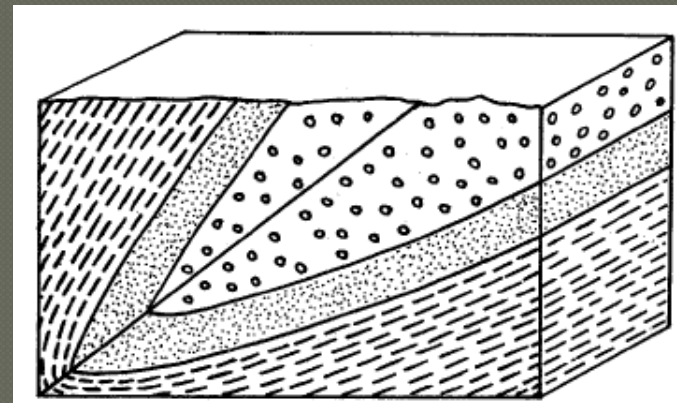
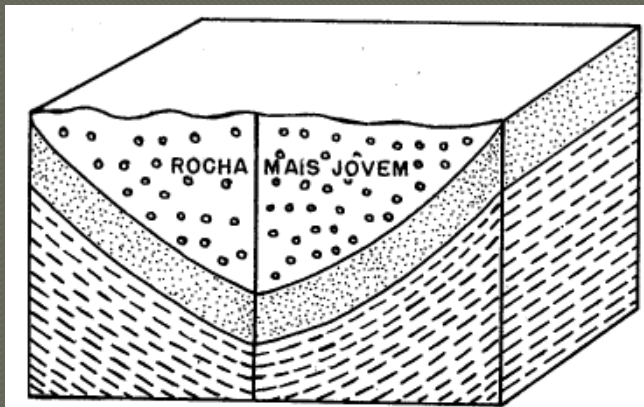


# TIPOS DE DOBRAS

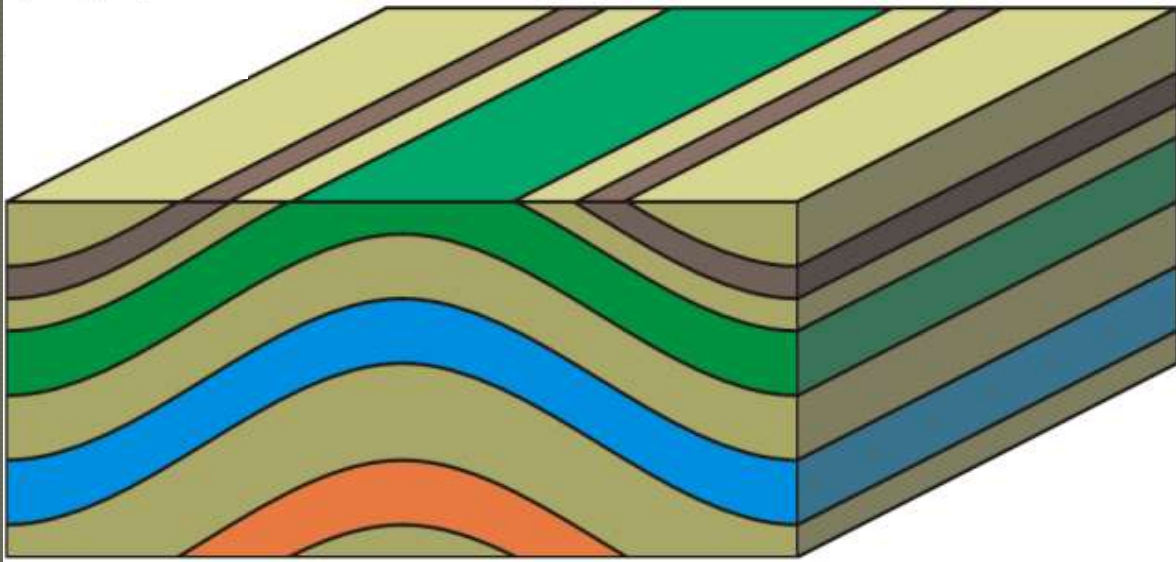
## *Anticlinal*



## *Sinclinal*



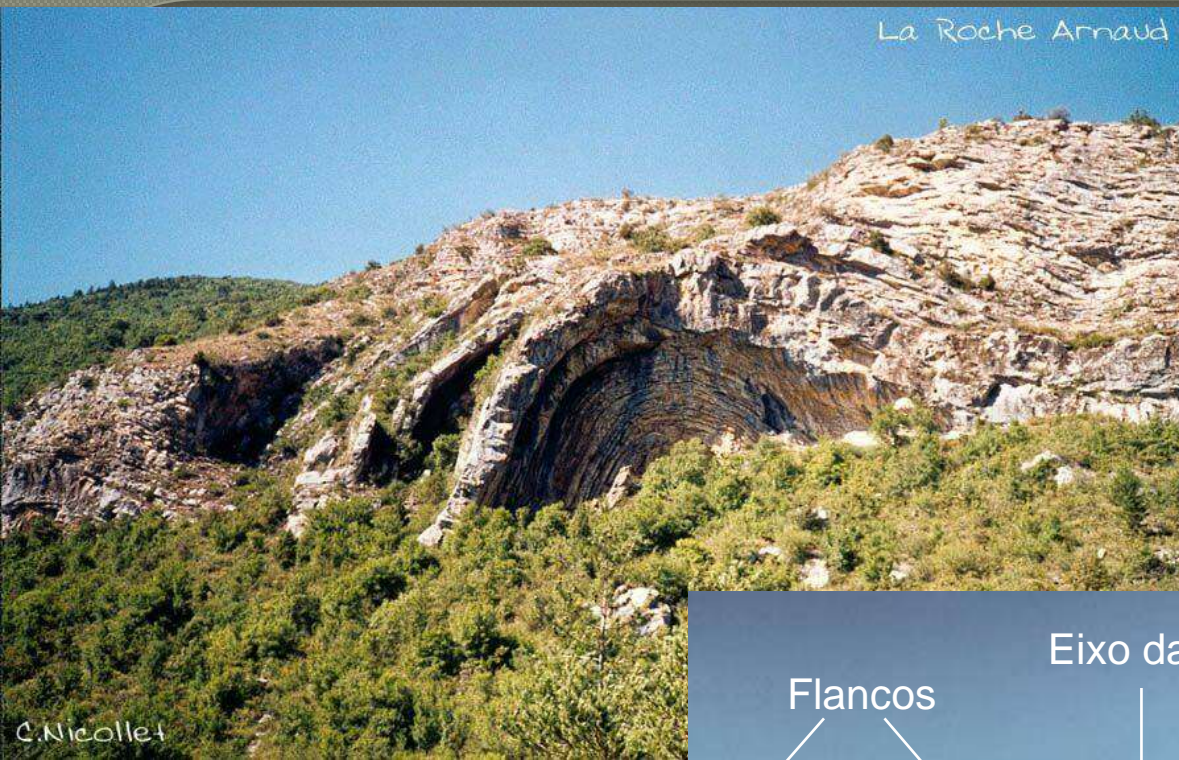
# Anticlinal



# Exemplos de anticlinal



La Roche Arnaud



C. Nicollet

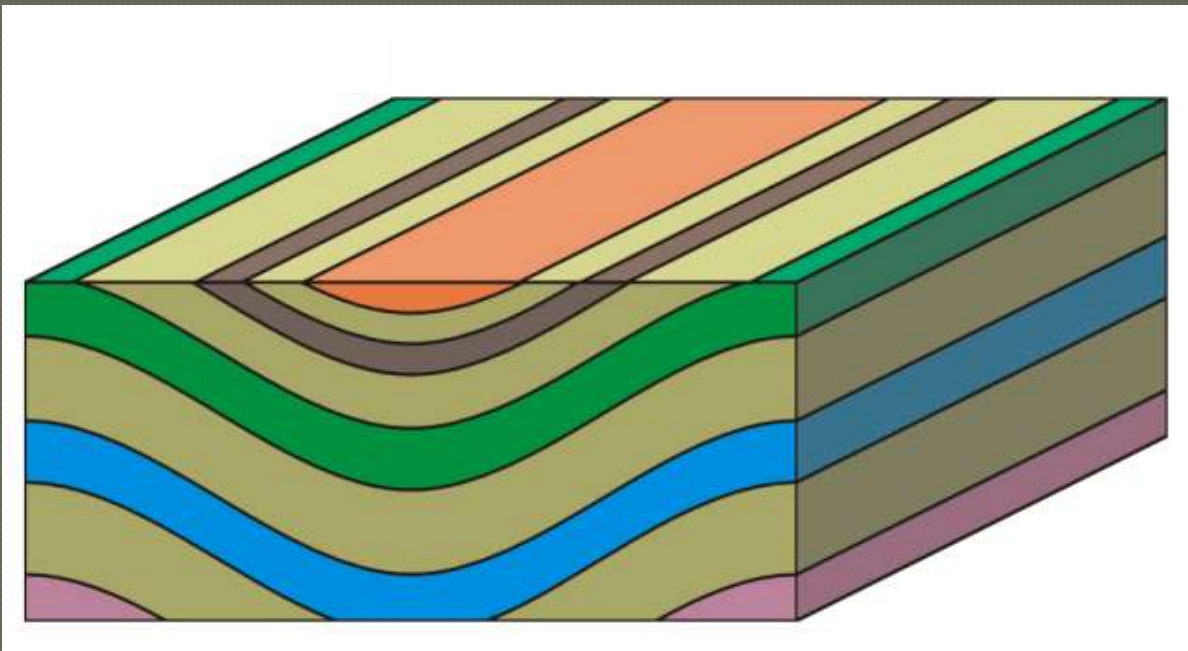


Flancos

Eixo da dobra

Flancos

# Sinclinal



## Exemplos de sinclinal



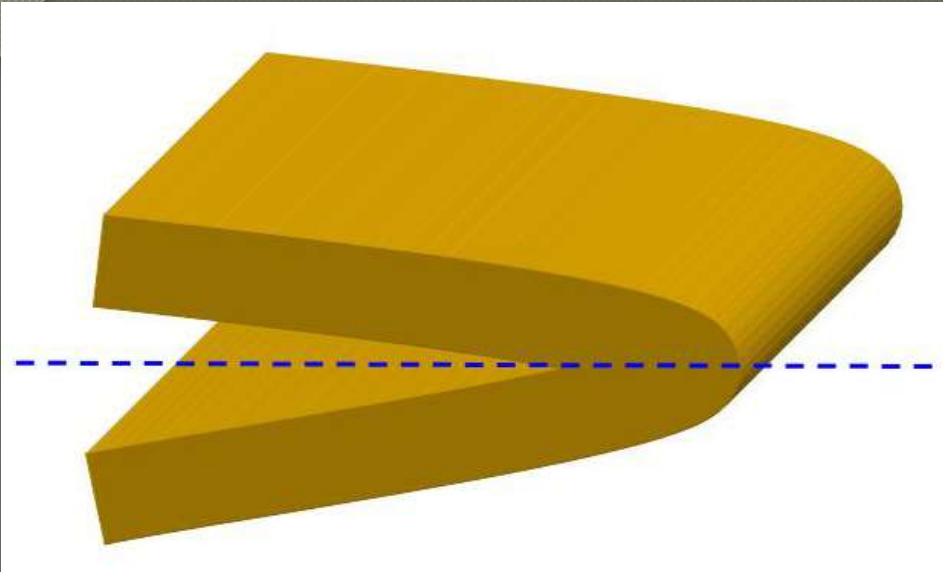
Exemplo de sinclinal  
nas Astúrias.



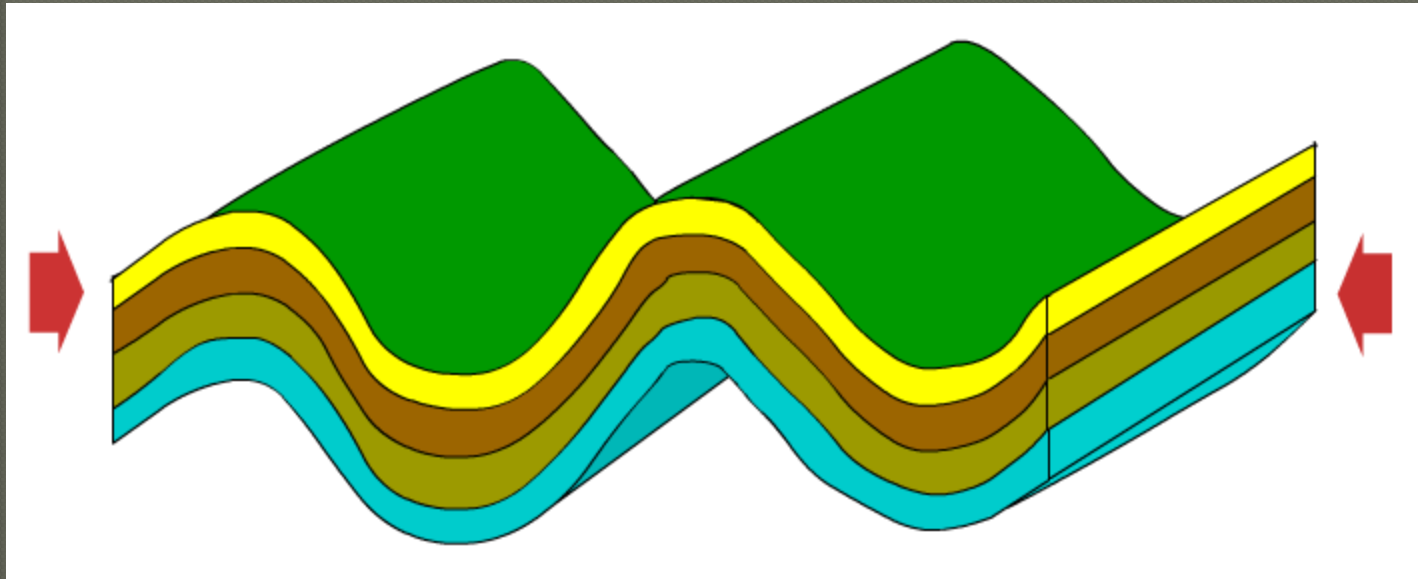


# Dobra neutra

abertura se orienta lateralmente  
metamorfismo de grau mais  
elevado

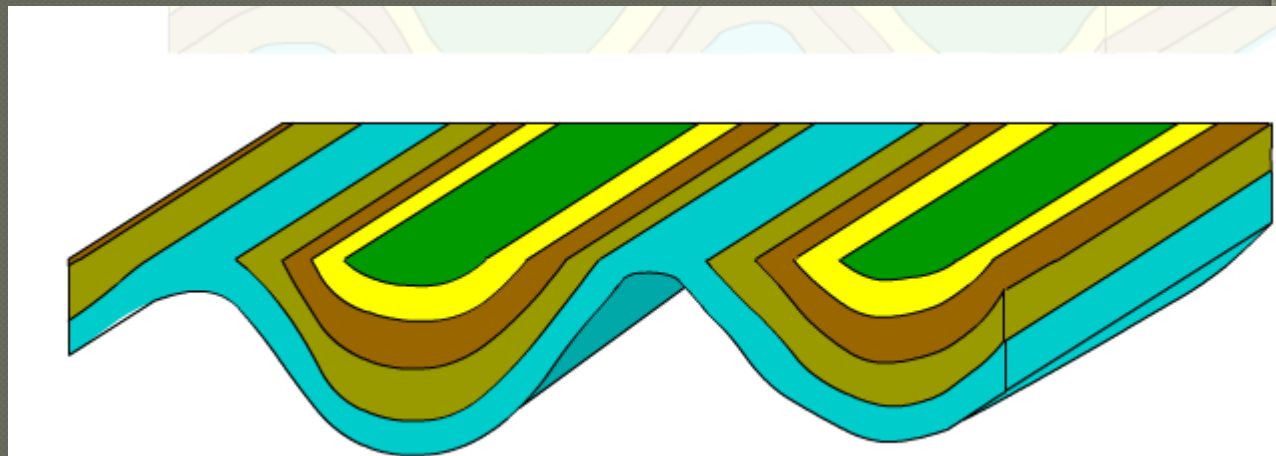


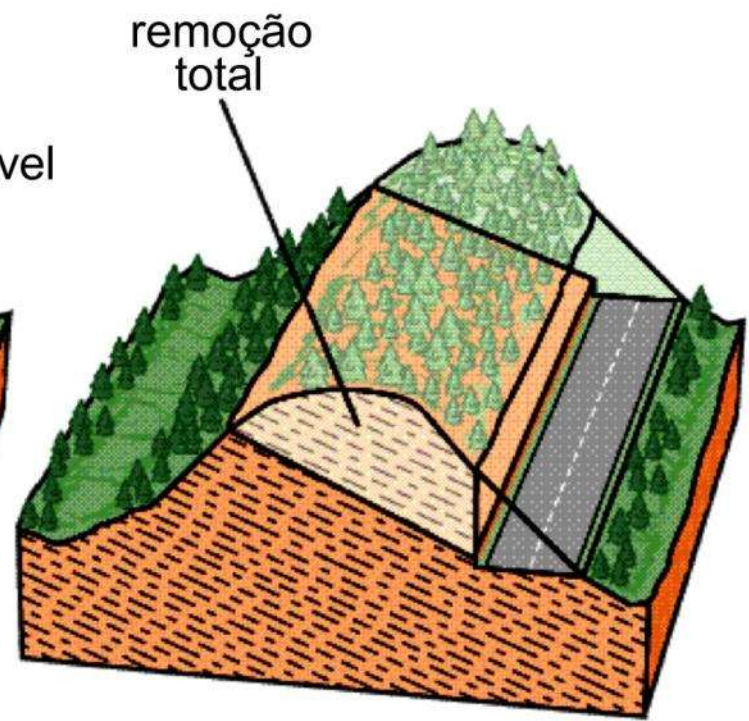
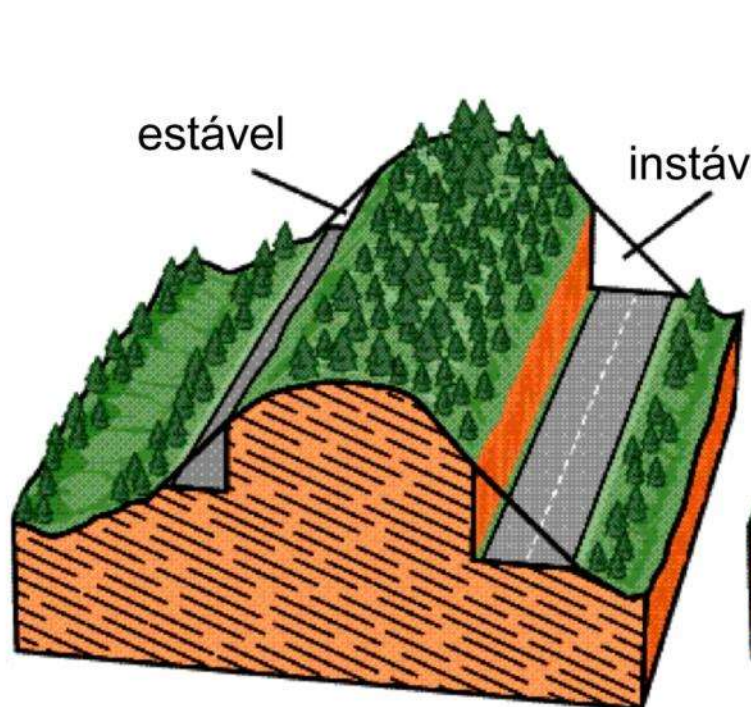
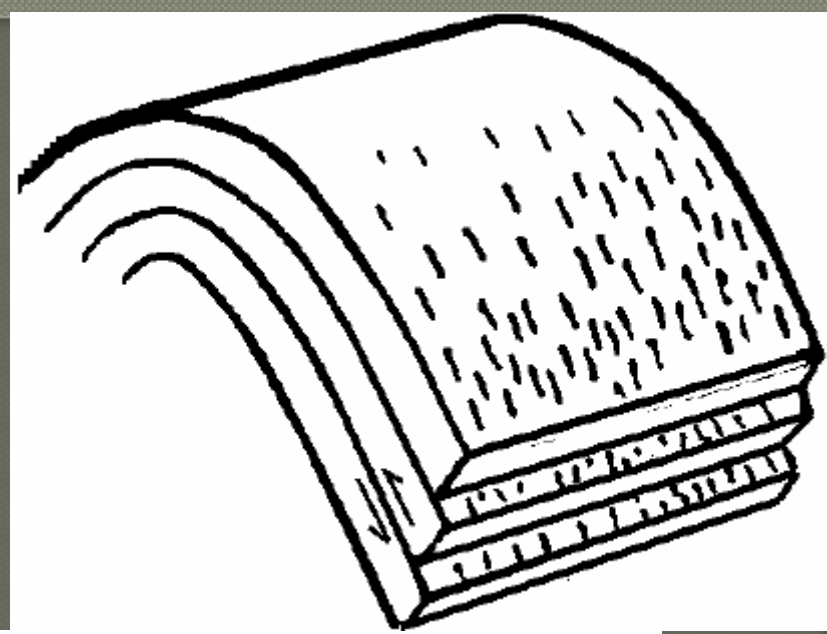
# Dobras e suas implicações sobre as obras de engenharia



heterogeneidade do subsolo

intemperismo e  
a erosão

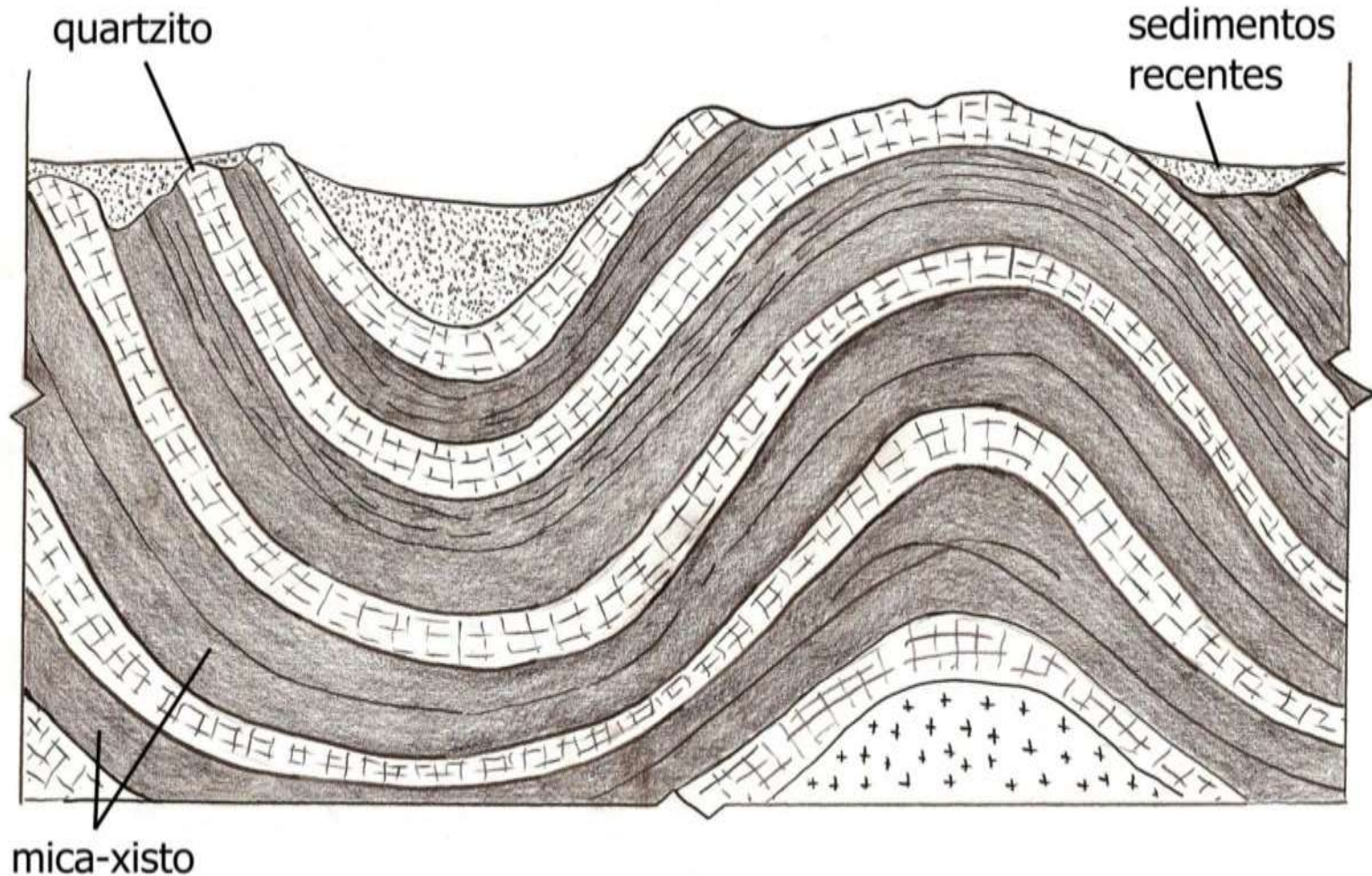






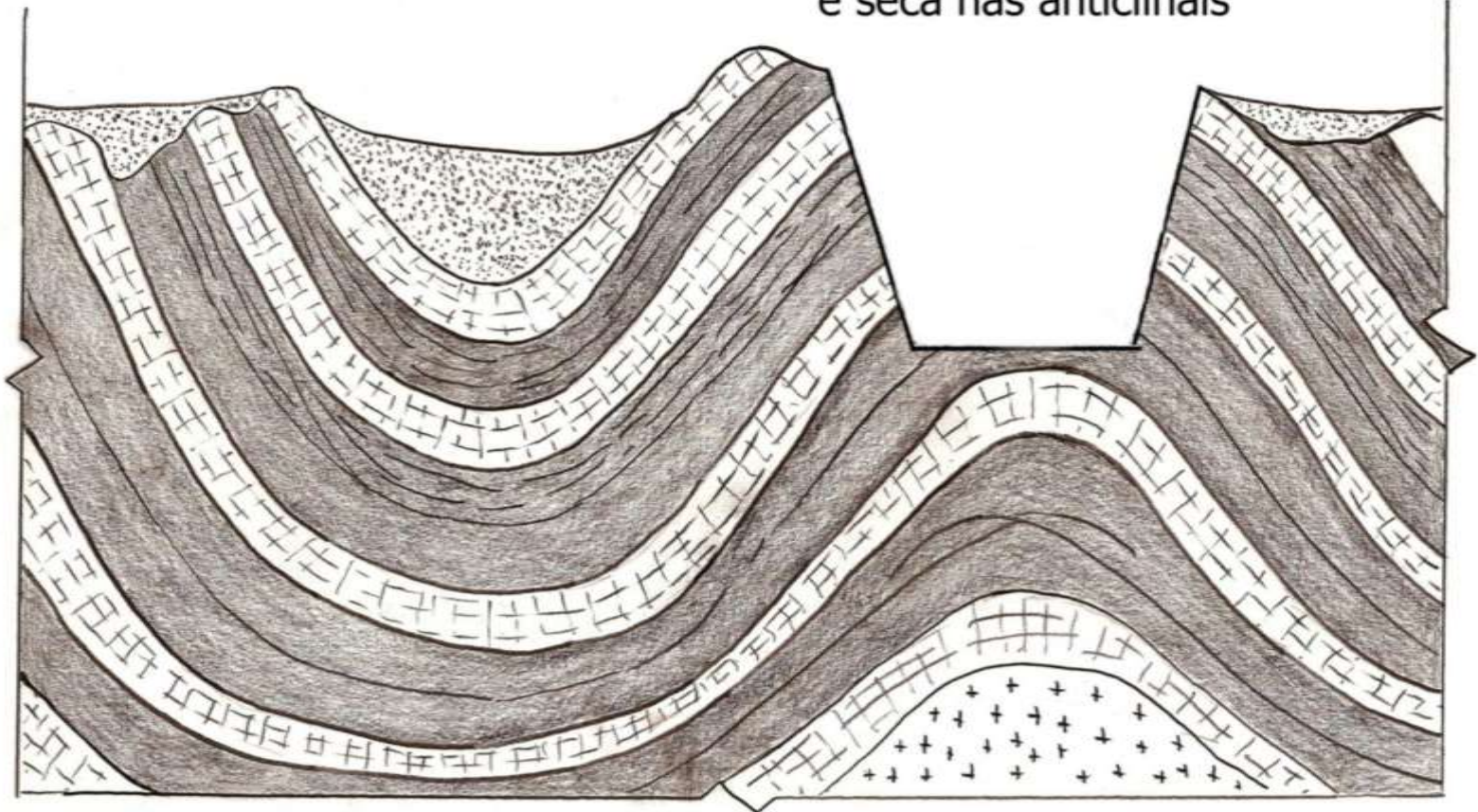
# Relação das dobras com a estabilidade das escavações

## Onde é melhor colocar a obra?



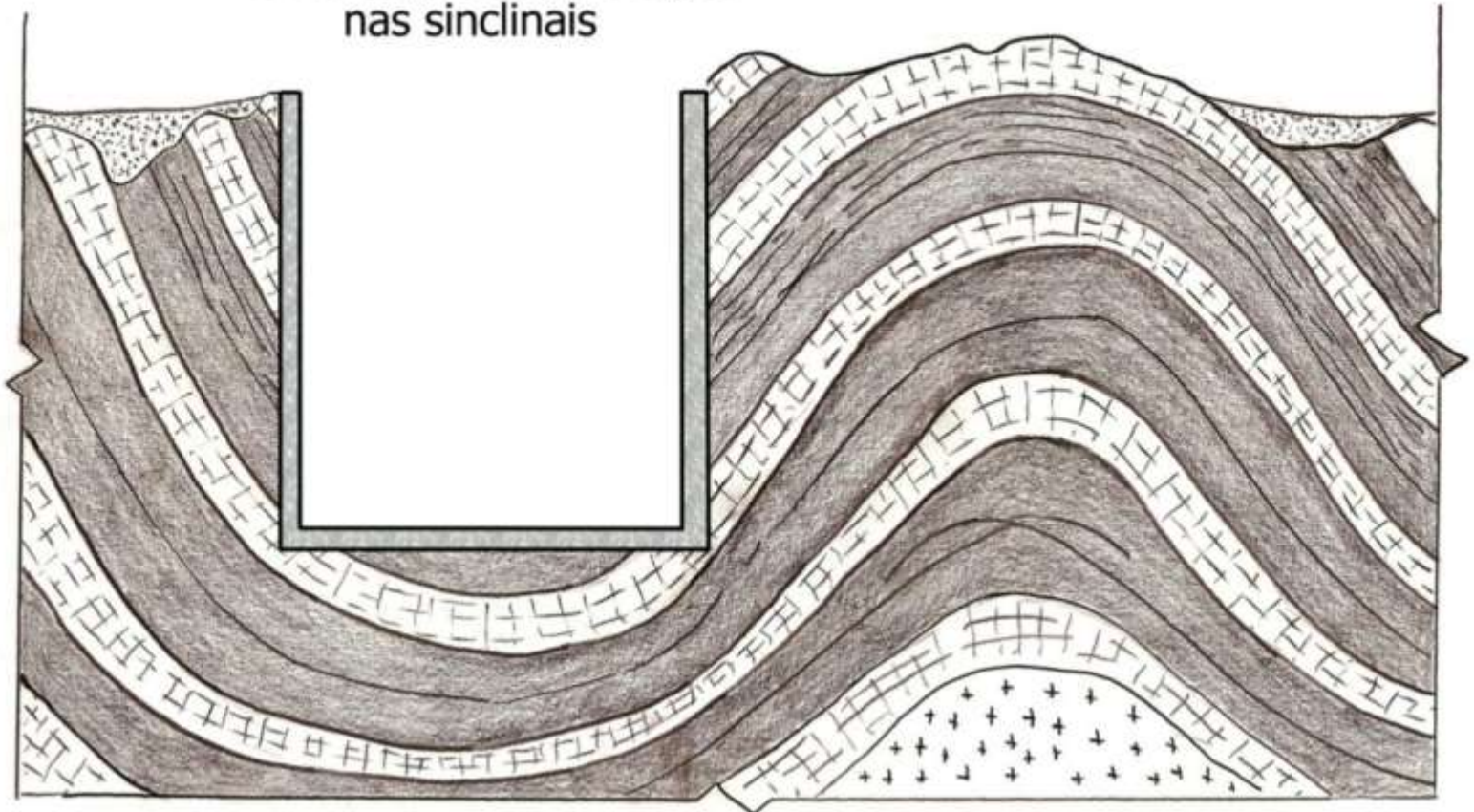
# Relação das dobras com a estabilidade das escavações

escavação estável  
e seca nas anticlinais



# Relação das dobras com a estabilidade das escavações

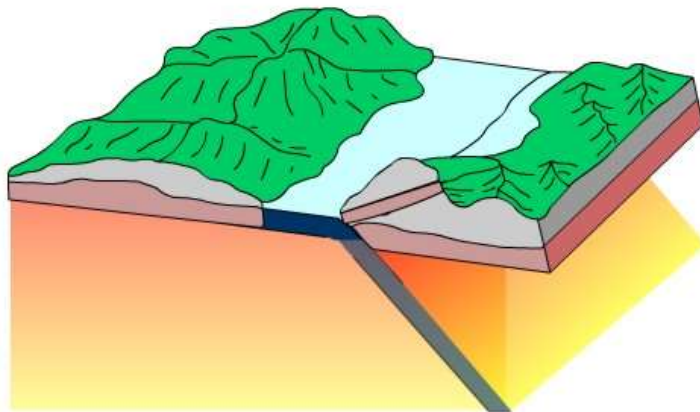
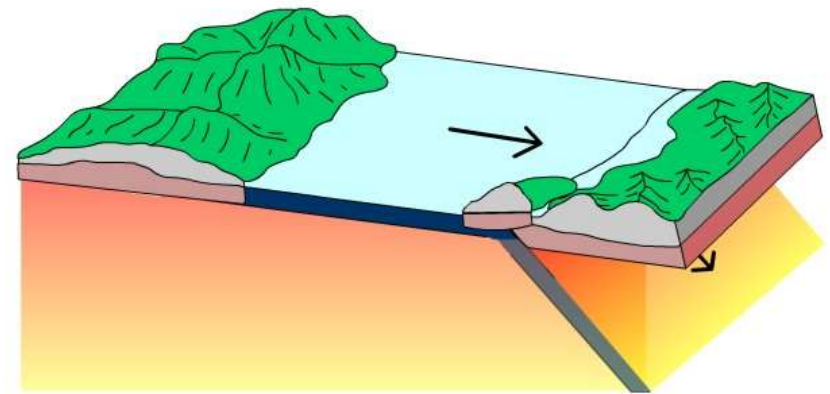
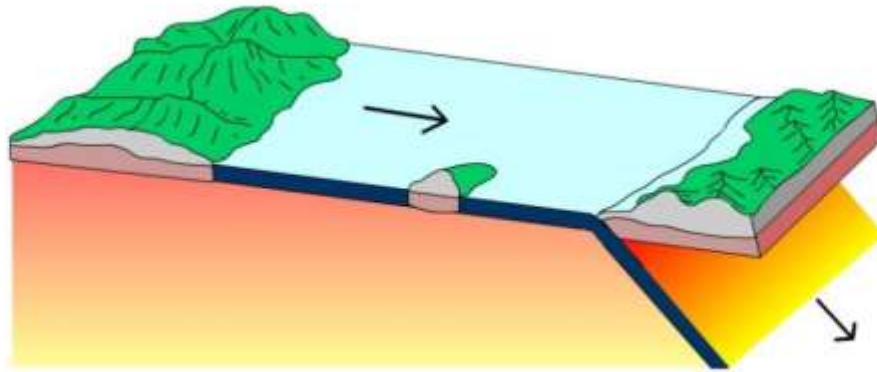
paredes mais solicitadas e maior presença d'água nas sinclinais



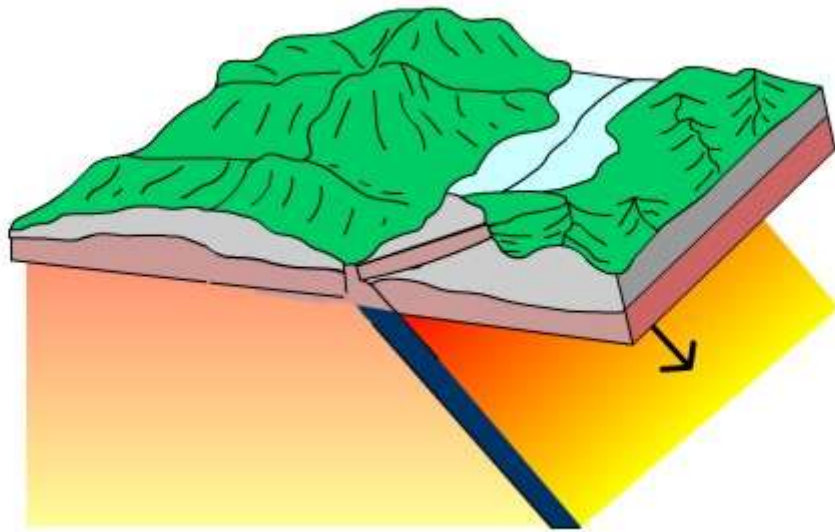
# Relação das dobras com a drenagem



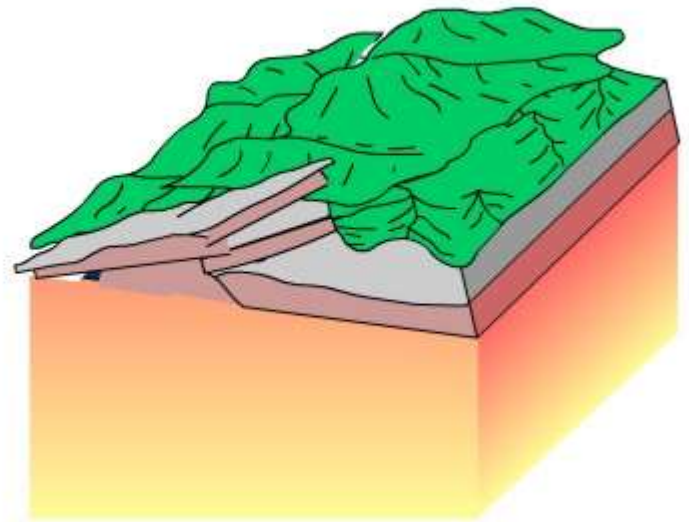


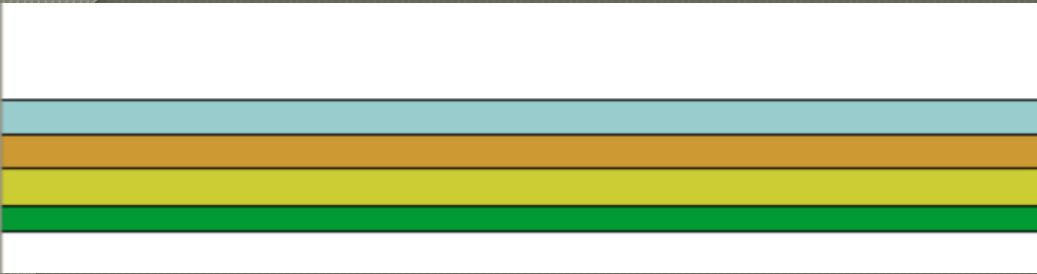


Dobras no choque de  
placas continentais: nem  
sempre são  
organizadas...

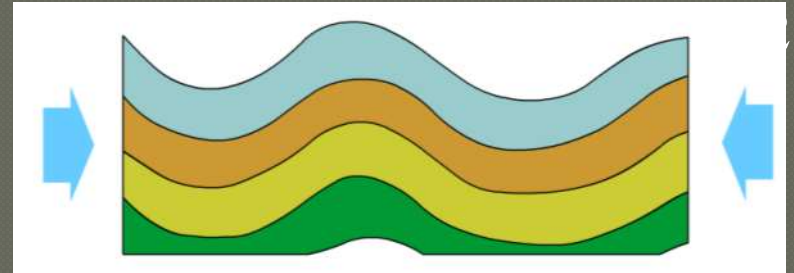


Dobras no choque de  
placas continentais: nem  
sempre são  
organizadas...

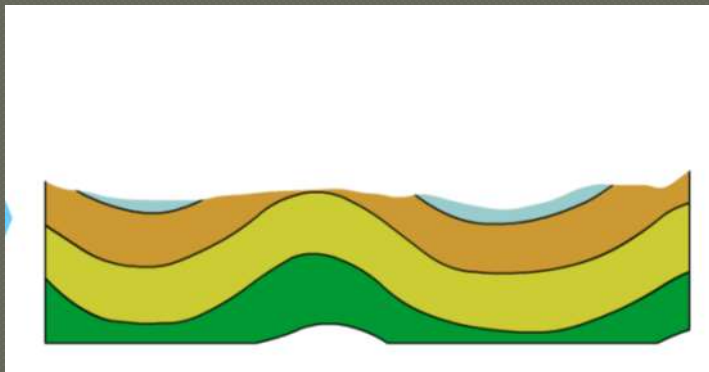




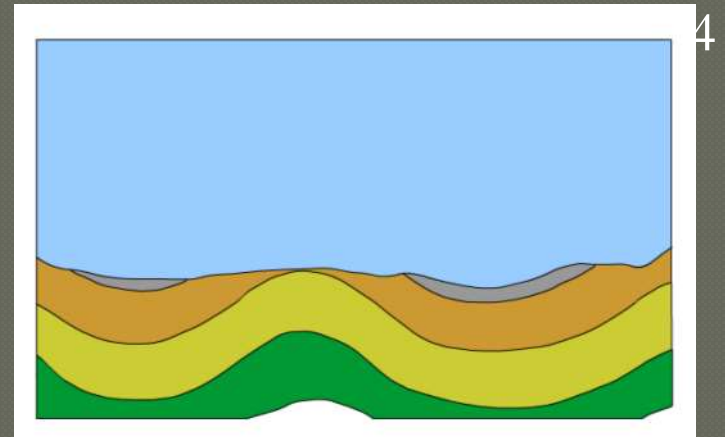
Camadas de rochas sedimentares



Regime compressivo: dobras

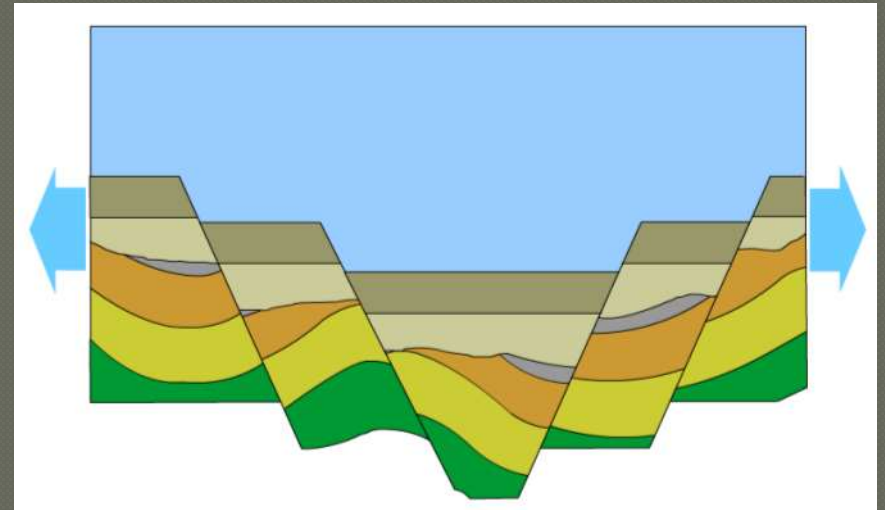


Erosão

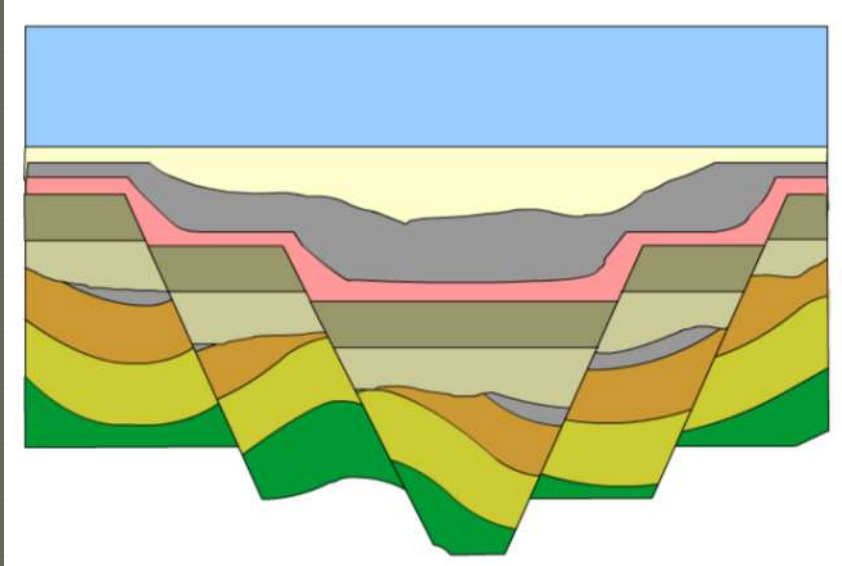


Rebaixamento do continente

Novos sedimentos

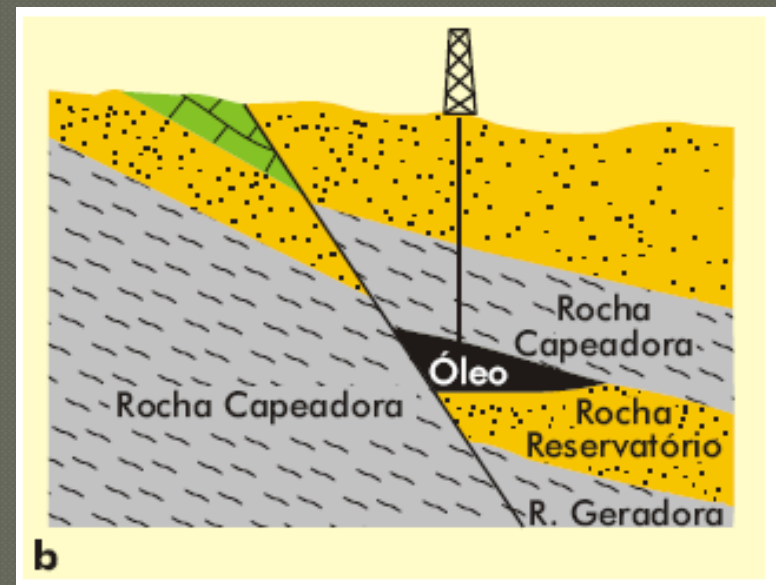
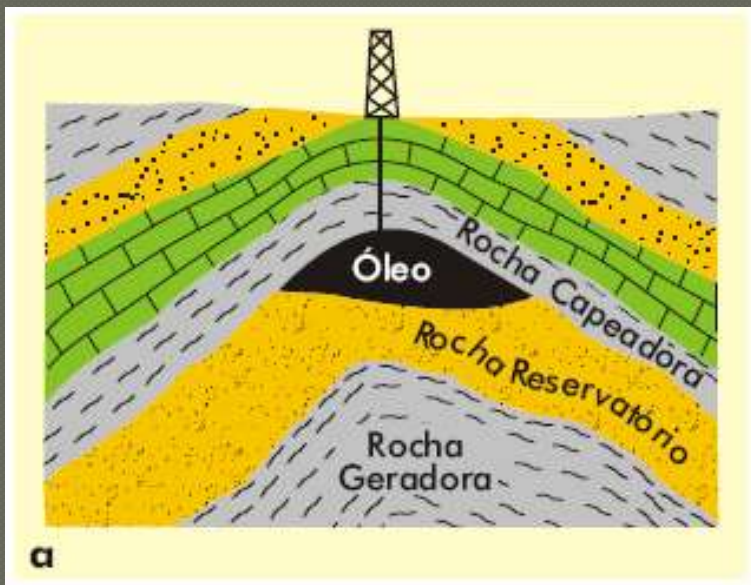


Regime distensivo: falhas normais



Novos sedimentos

# Deformações na crosta e o petróleo



Exemplos de trapas: (a) anticlinal, (b) falha