

Licenciatura em Geociências e Educação Ambiental
0440001– Geologia Estrutural e Práticas de Campo

AS ESTRUTURAS GEOLÓGICAS
Aula de Revisão

Baseada em Fossen (2017)



Marla da Glória Motta Garcia

Imagem © 2008 TerraMetrics

 **GEOCIÊNCIAS**

USP

RELAÇÃO ENTRE TECTÔNICA E GEOLOGIA ESTRUTURAL

- Dois termos associados
 - Geologia estrutural – foco nas estruturas
 - Tectônica – foco nos processos em escala regional
-
- *A geologia estrutural é utilizada para investigar problemas tectônicos*

RELAÇÃO ENTRE TECTÔNICA E GEOLOGIA ESTRUTURAL

Tectônica - associada frequentemente com a tectônica de placas, que é responsável pela maior parte das estruturas formadas na litosfera. No entanto, há outros processos que resultam em estruturas de deformação:

Glaciotectônica

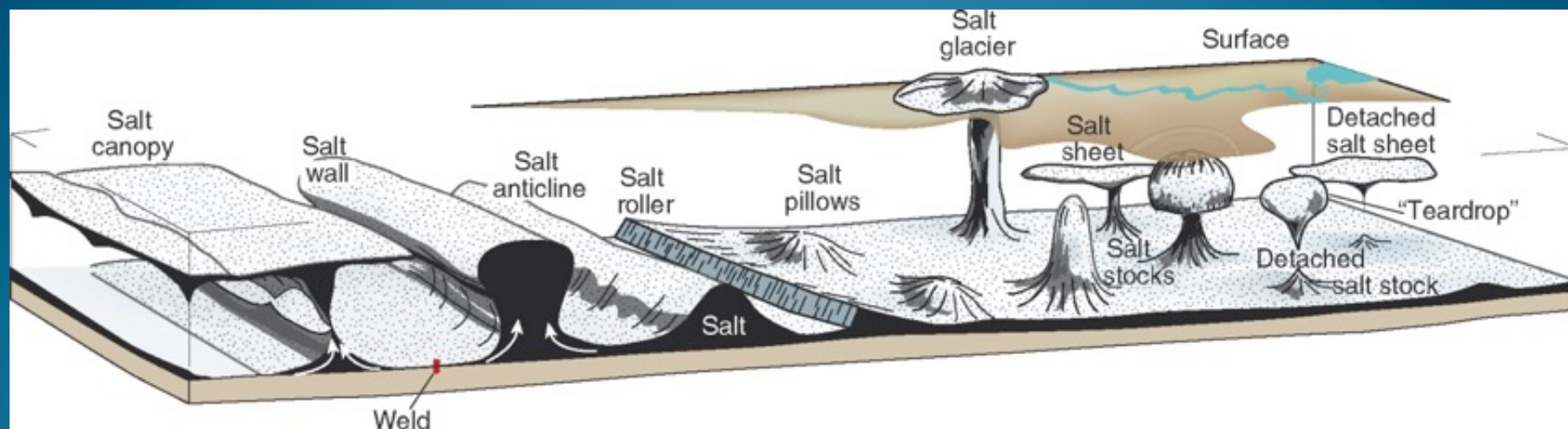


Pedersen (2014)

RELAÇÃO ENTRE TECTÔNICA E GEOLOGIA ESTRUTURAL

Tectônica - associada frequentemente com a tectônica de placas, que é responsável pela maior parte das estruturas formadas na litosfera. No entanto, há outros processos que resultam em estruturas de deformação:

Tectônica de sal

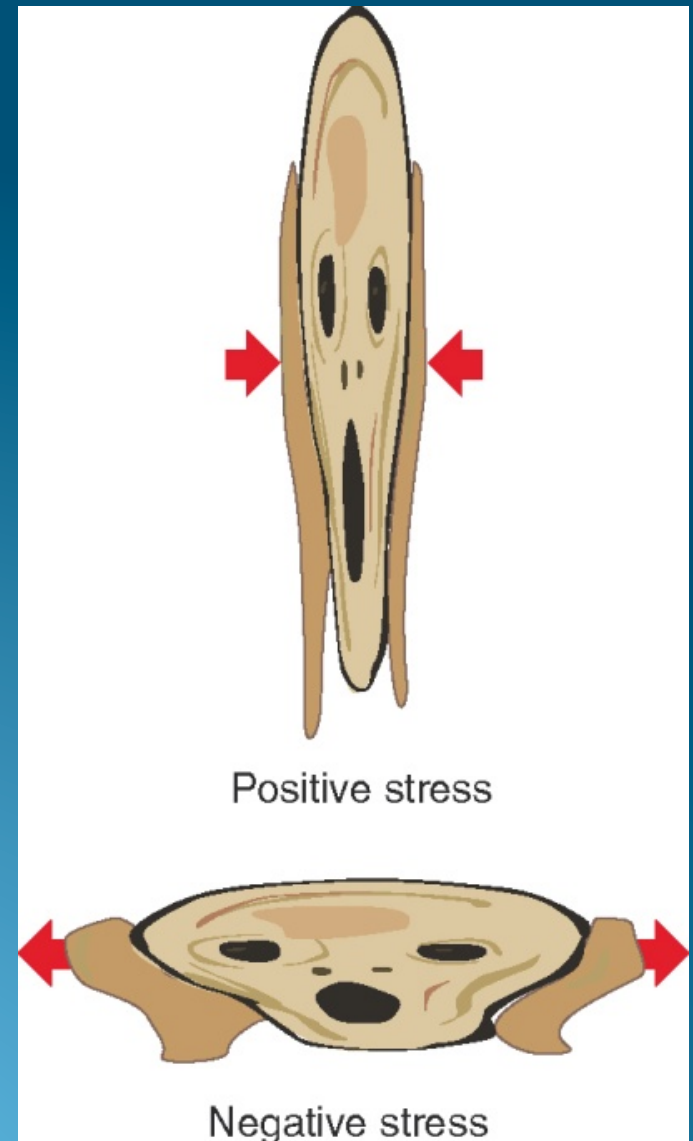


TIPOS DE ANÁLISES EM GEOLOGIA ESTRUTURAL

- Análise geométrica – estuda a geometria das estruturas em 3D
- Análise cinemática e análise da deformação – estuda os movimentos relativos e como as rochas se modificaram durante a deformação
- Análise dinâmica – estuda a relação entre esforço e deformação: quais esforços geraram as estruturas observadas?
- Experimentos físicos e métodos numéricos – utilizam materiais análogos e modelagem numérica para ajudar a compreender como as estruturas geológicas se formaram.

ESFORÇO E DEFORMAÇÃO

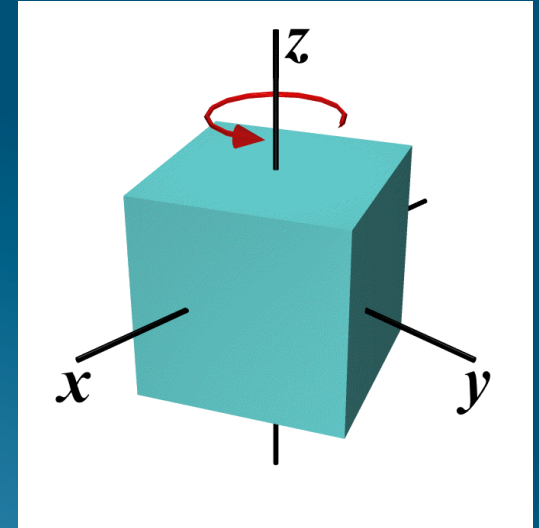
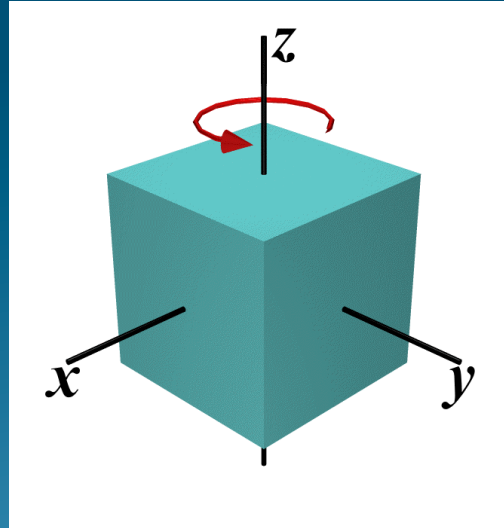
- Termos fundamentais em geologia estrutural
- Deformação (strain) – distorção de estruturas e objetos originais
- O que observamos e medimos nas rochas deformadas
- Esforço (stress) – as forças que causam esta distorção
- Não visualmente observável



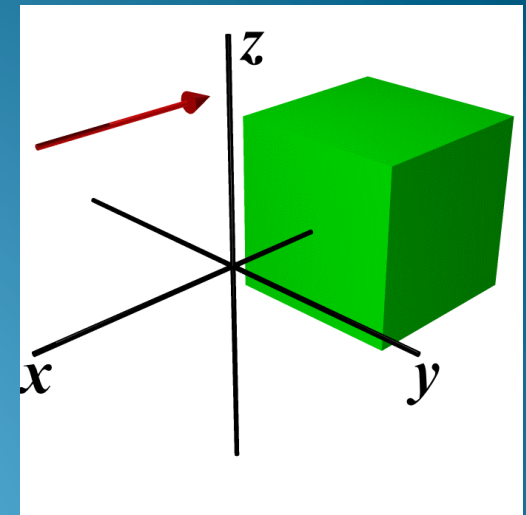
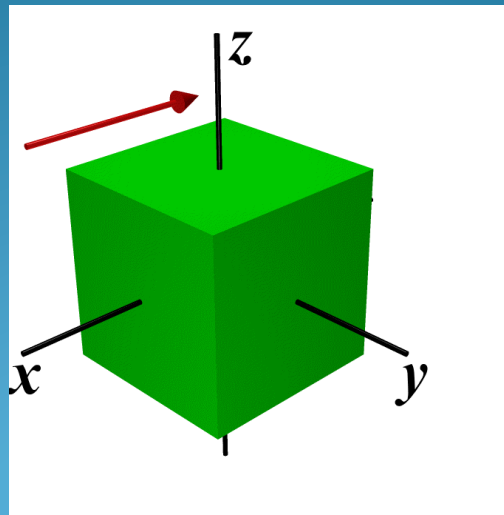
DEFORMAÇÃO

Deformação de corpo rígido:

Rotação



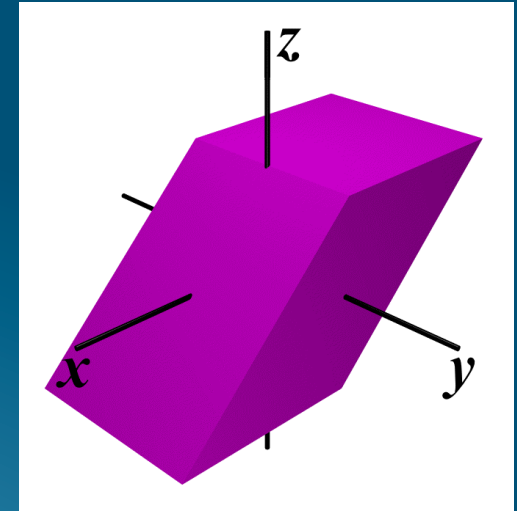
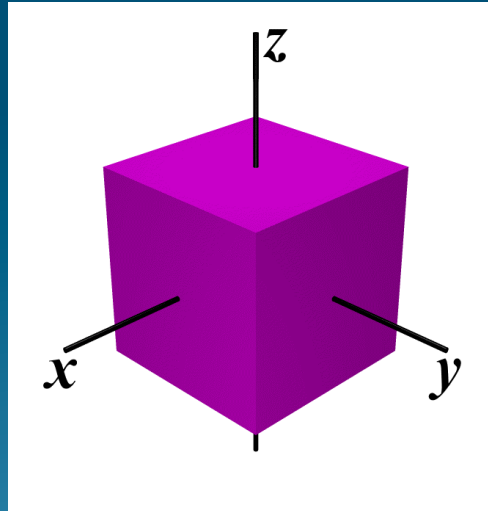
Translação



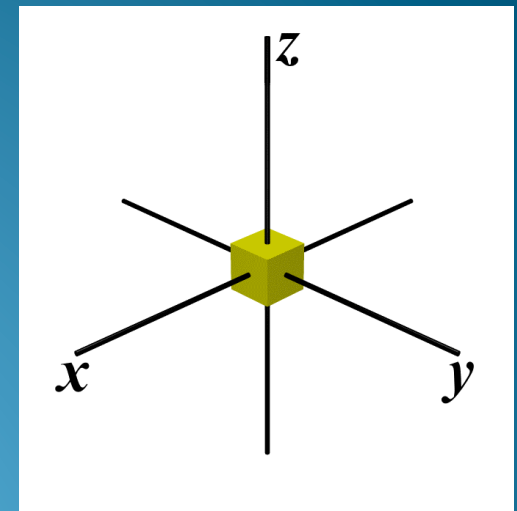
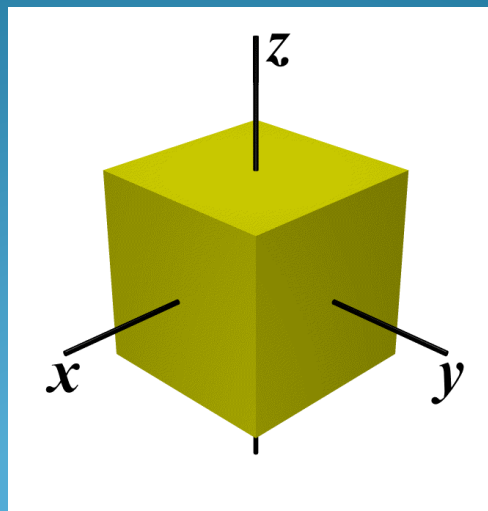
DEFORMAÇÃO

Deformação não rígida (*strain*):

Mudanças na forma

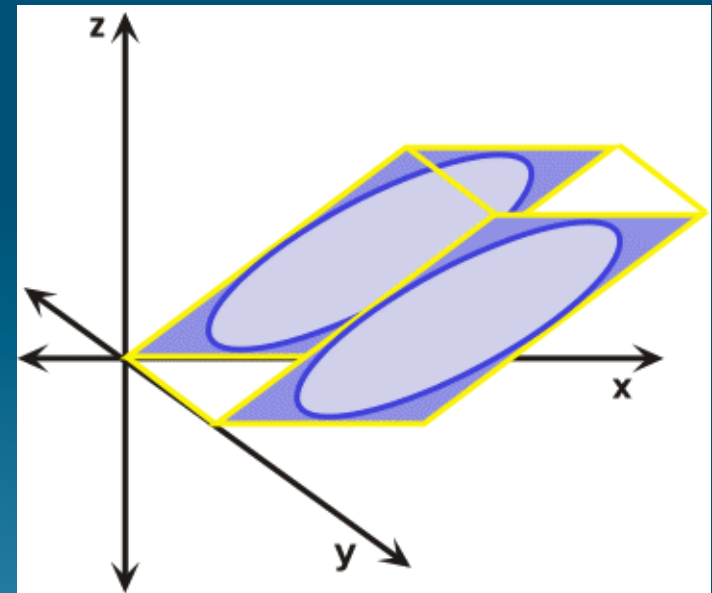
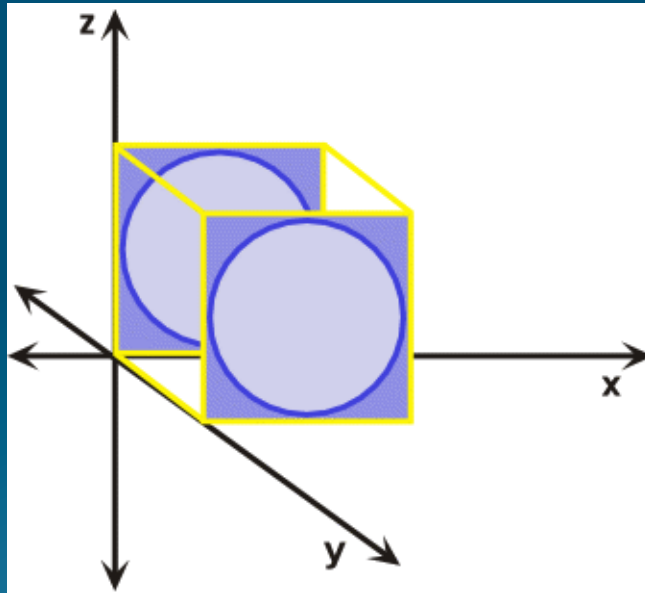


Mudanças na dimensão

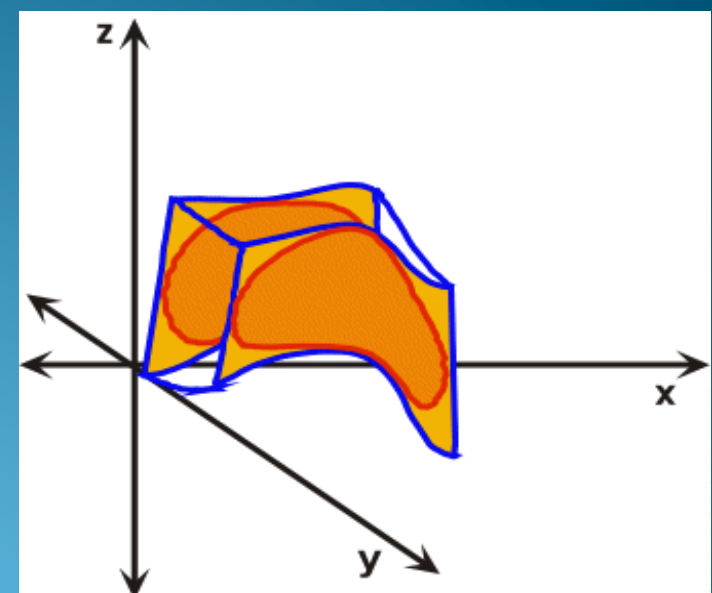
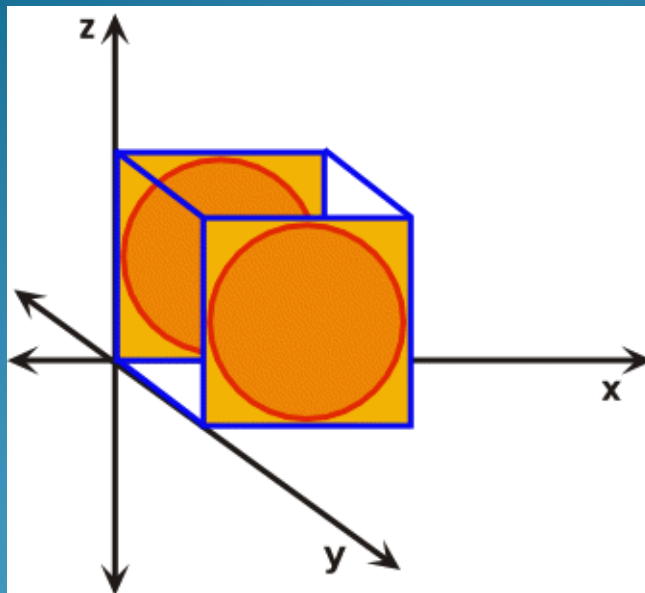


DEFORMAÇÃO

Homogênea

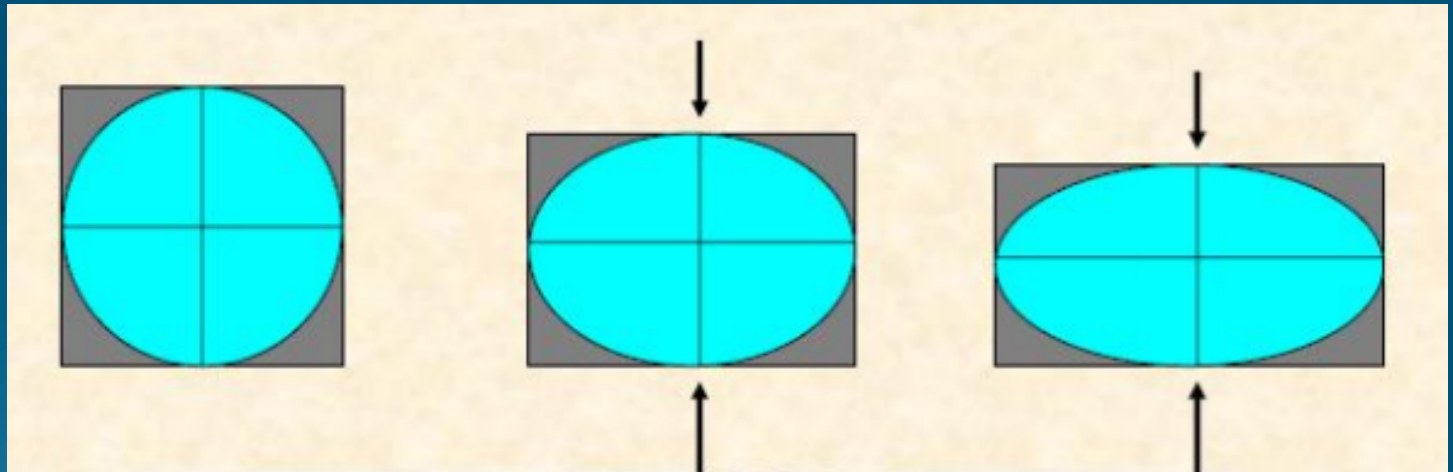


Heterogênea

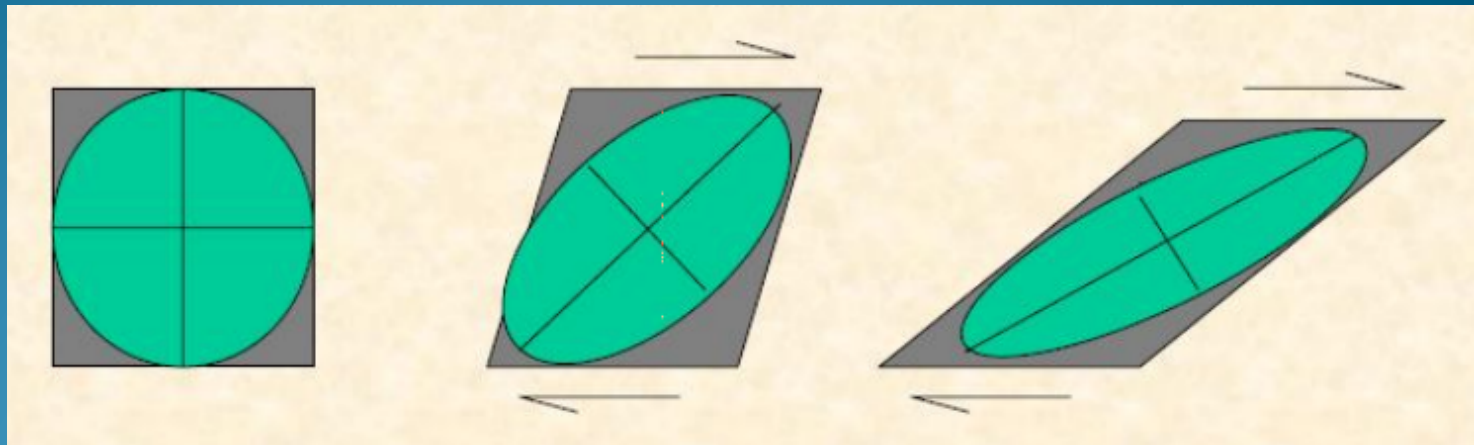


DEFORMAÇÃO

Cisalhamento Puro



Cisalhamento Simples

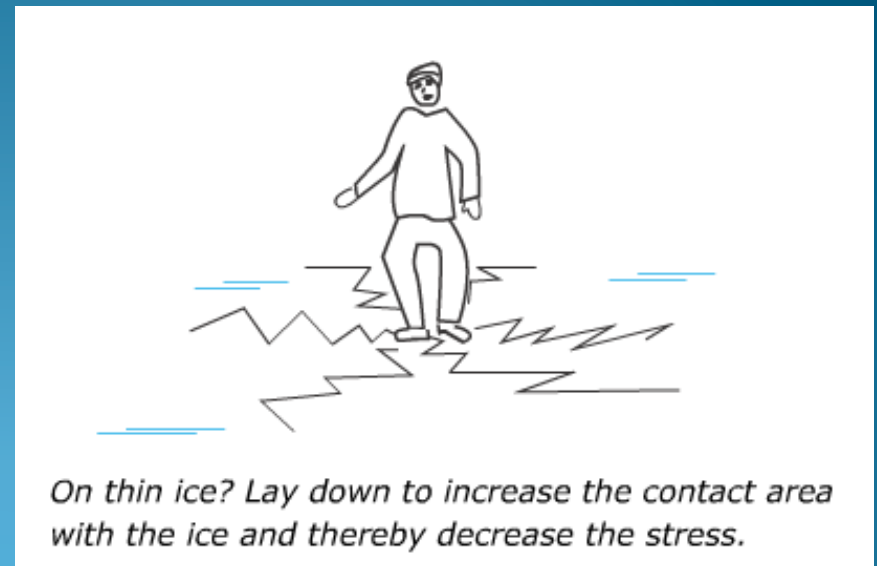
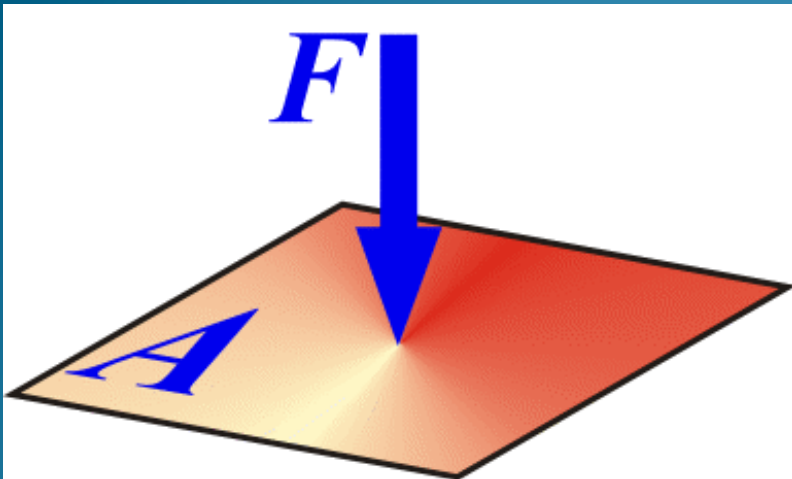


ESFORÇO

- O esforço em uma superfície é a força por unidade de área

$$\sigma = F/A$$

- As rochas sofrem esforços em todas as direções
- Intensidade do esforço aumenta em profundidade com o peso das rochas sobrejacentes.



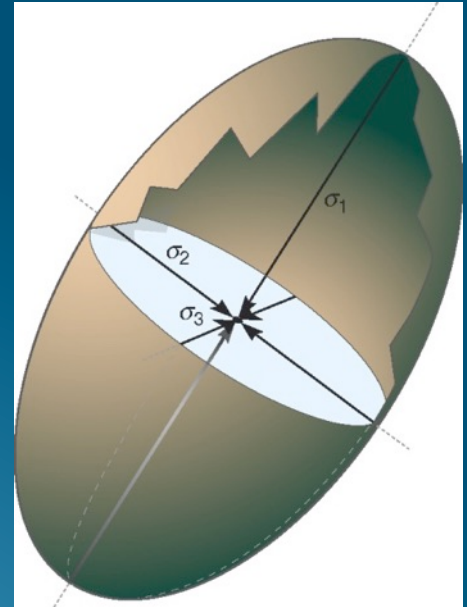
ESFORÇO

Estado de esforços na crosta descrito por meio de três eixos ortogonais

σ_1 – Eixo de esforços maior
(*direção de máximo esforço*)

σ_2 – Eixo de esforços intermediário

σ_3 – Eixo de esforços menor



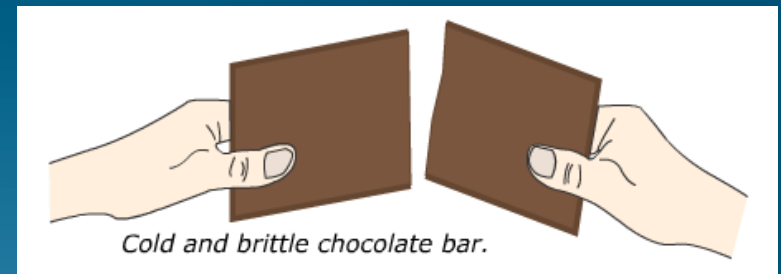
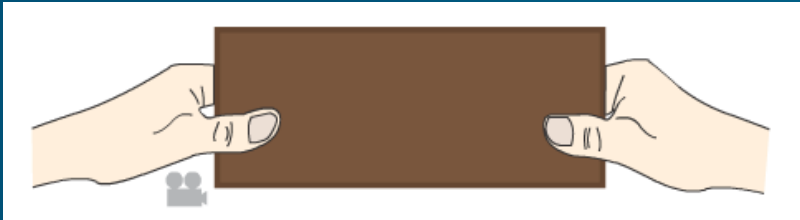
Os esforços na litosfera são geralmente compressivos, isto é, as rochas não são diretamente afetadas por esforços que as “puxam para lados opostos”

As estruturas formadas por extensão ocorrem porque o esforço compressivo naquela direção é menor do que as outras direções – menor resistência

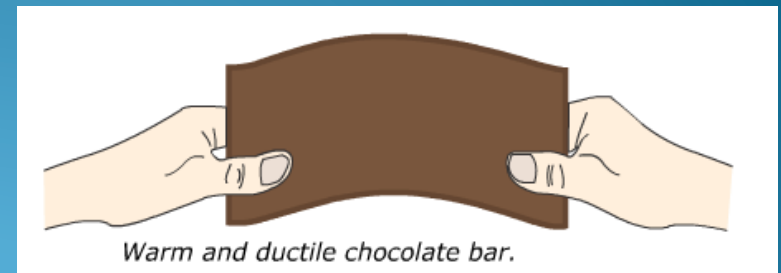
REGIME RÚPTIL VS REGIME DÚCTIL

As rochas respondem ao esforço de duas maneiras:

Rúptil



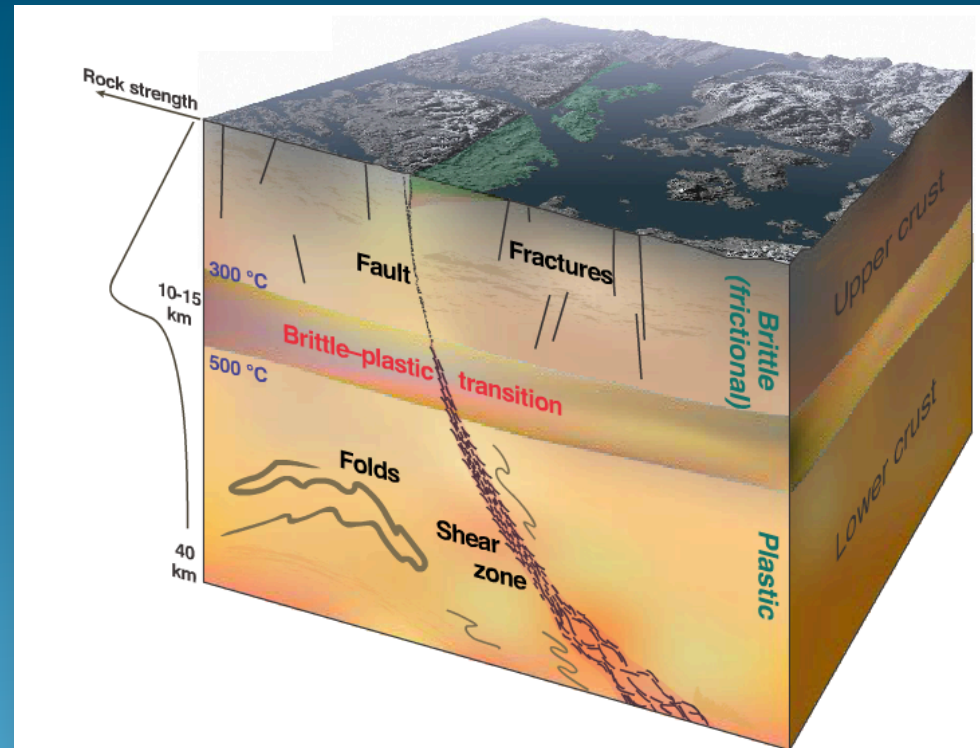
Dúctil



FATORES QUE AFETAM A RESPOSTA DAS ROCHAS À DEFORMAÇÃO

As rochas respondem ao esforço de duas maneiras:

- Pressão confinante ou litostática
- Presença de fluidos
- Temperatura
- Taxa de deformação
- Composição mineralógica
- Presença de anisotropias



AS ESTRUTURAS

PRIMÁRIAS

Formadas durante a geração da rocha



deposição de sedimentos



cristalização/solidificação de rochas ígneas

SECUNDÁRIAS

Formadas como resultado de processos deformacionais (tectônicos)



Modificação de estruturas primárias

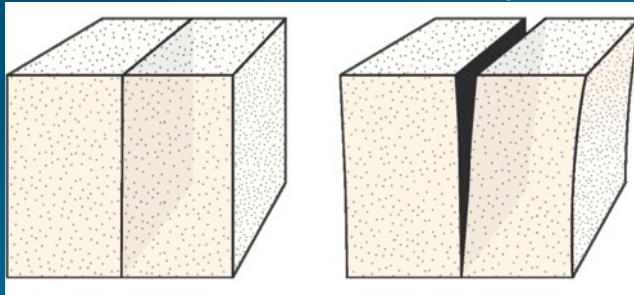


Recristalização e deformação de estruturas tectônicas

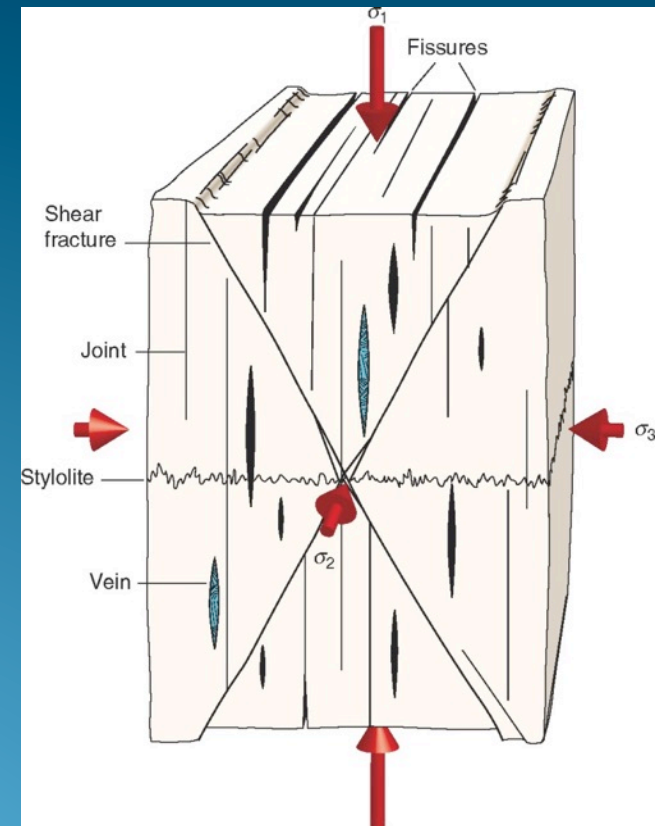
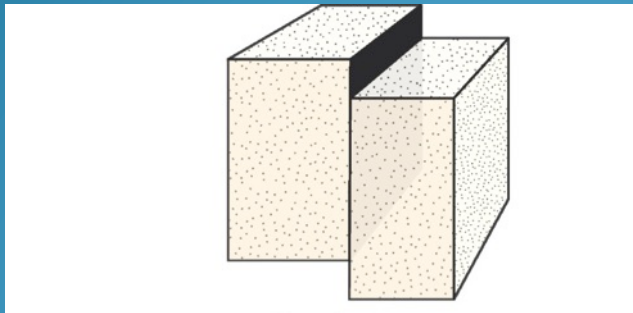
AS FRATURAS

Descontinuidades mais ou menos planares, com duas categorias principais:

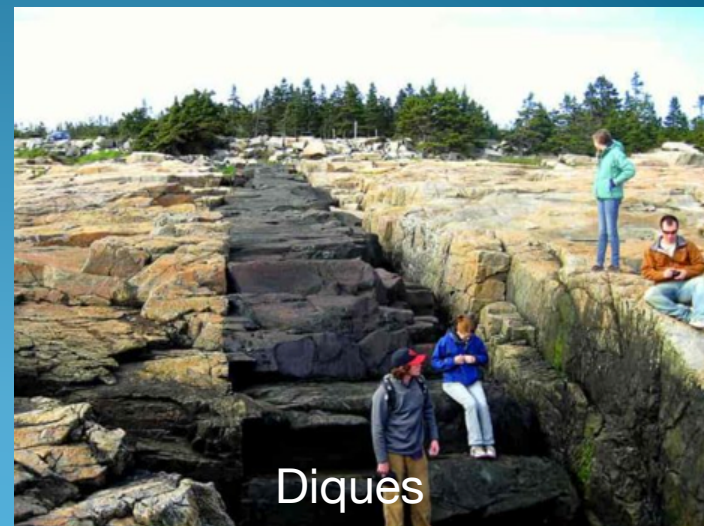
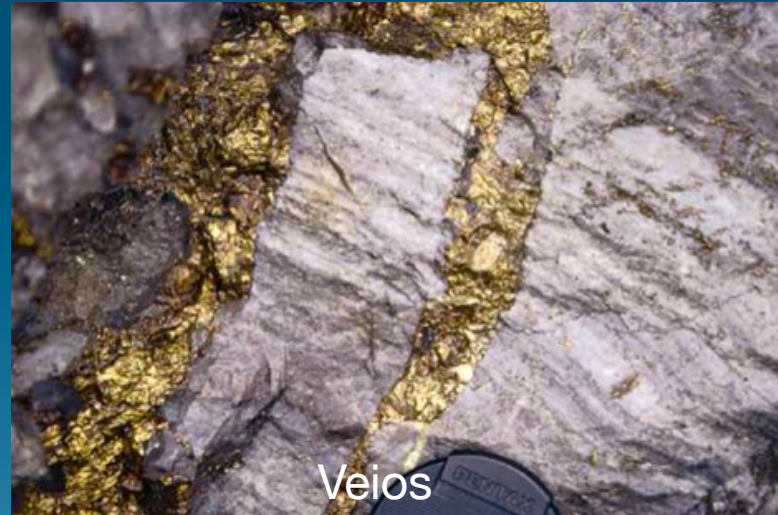
- Fraturas de extensão
pouca ou nenhuma separação das paredes



- Fraturas de cisalhamento
mostram movimentação ao longo do plano de rompimento

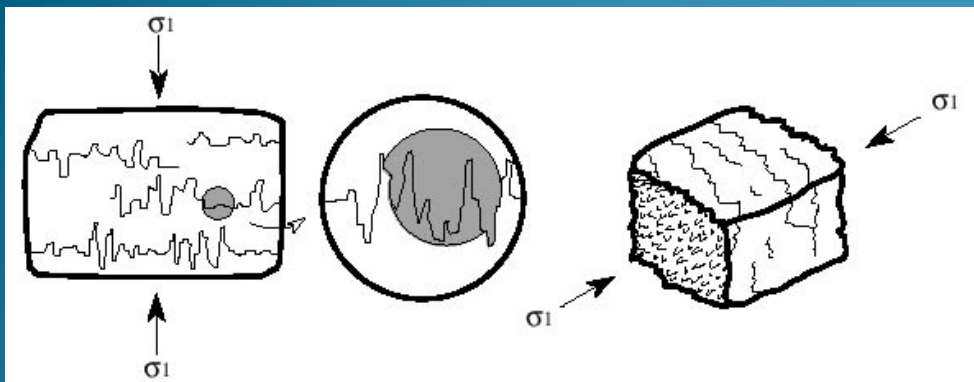


FRATURAS DE EXTENSÃO



FRATURAS DE CONTRAÇÃO

- Estilolitos
- Preenchidos por material residual da rocha encaixante
- Processos de dissolução por pressão



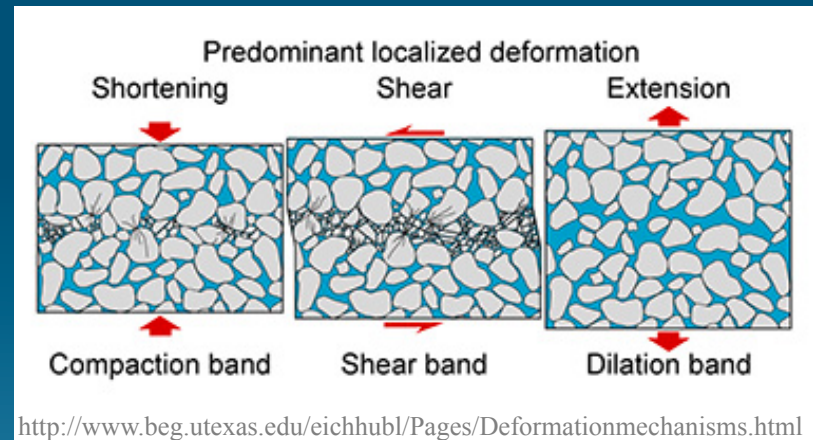
FRATURAS DE EXTENSÃO E CONTRAÇÃO



Qual é o campo de esforços?

BANDAS DE DEFORMAÇÃO

- Tipo especial de fratura de cisalhamento
- Rejeito milimétrico a centimétrico
- Ocorrem em rochas porosas – comum em arenitos
- Reduzem a permeabilidade das rochas – interessante para a indústria do petróleo



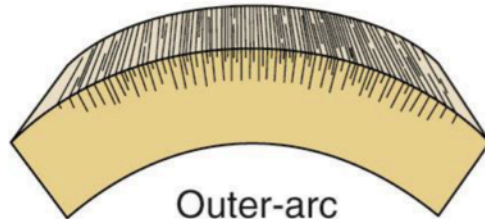
MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE FRATURAS

Soterramento



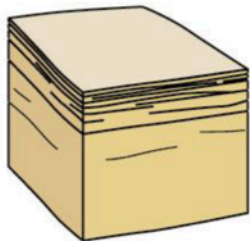
Hydro-fracturing

Deformação



Wing cracks
(pinnate joints)

Alívio de carga



Exfoliation

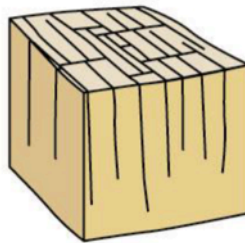
Resfriamento

Magma



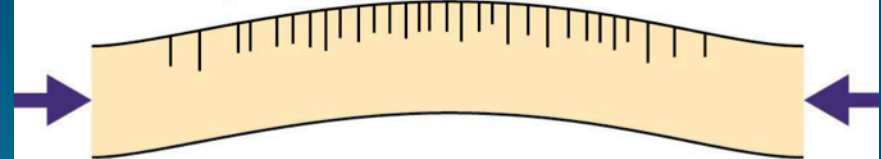
Thermal
contraction
(columnar
joints)

Exhumation

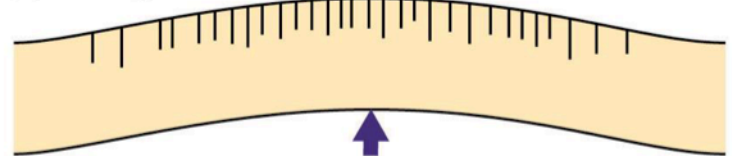


Thermal
contraction

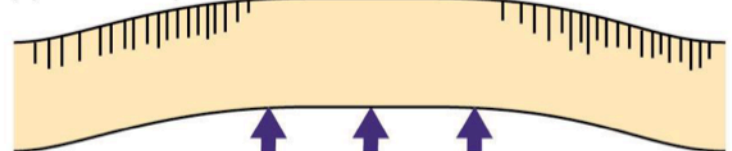
(a) Buckling



(b) Doming



(c) Plateau uplift

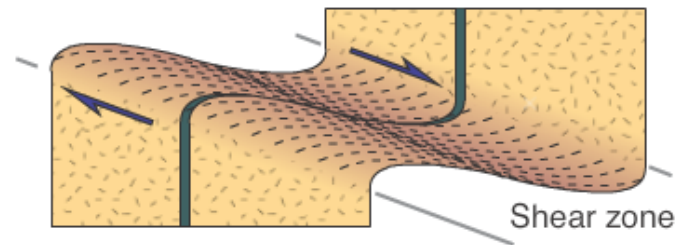
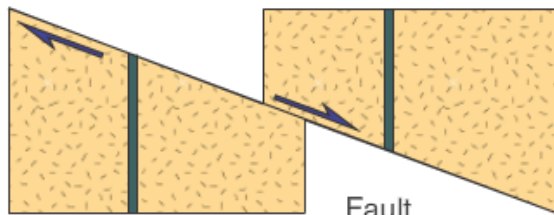
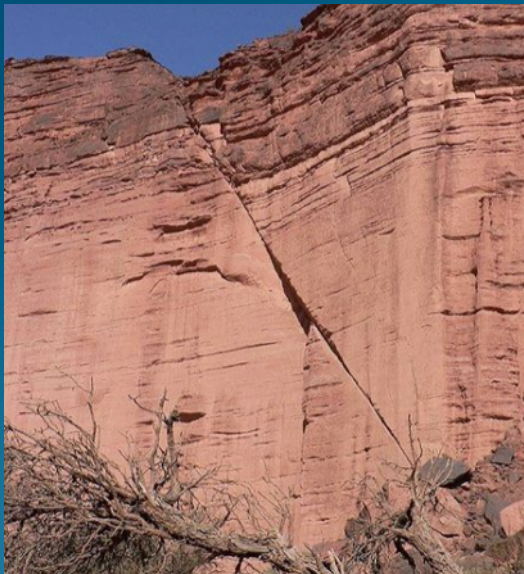


FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO

Estruturas que deslocam camadas desde metros até dezenas ou centenas de quilômetros

Falhas – ocorrem no domínio rúptil

Zonas de cisalhamento – ocorrem no domínio dúctil

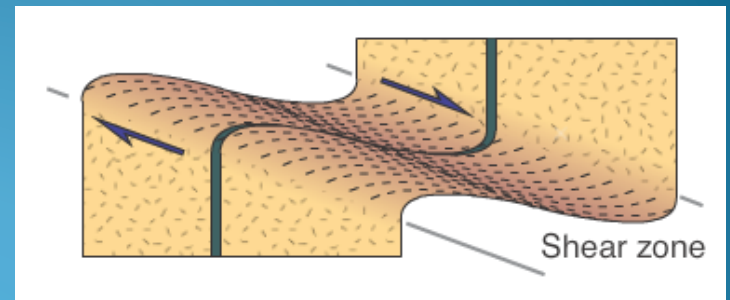
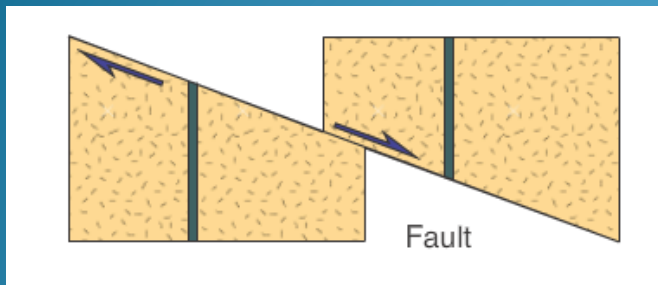
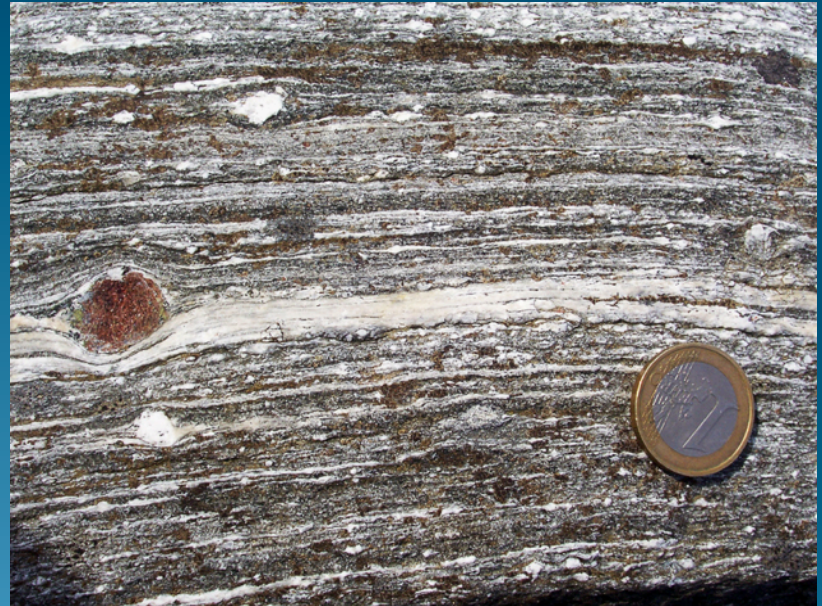


ROCHAS EM FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO

Cataclasitos

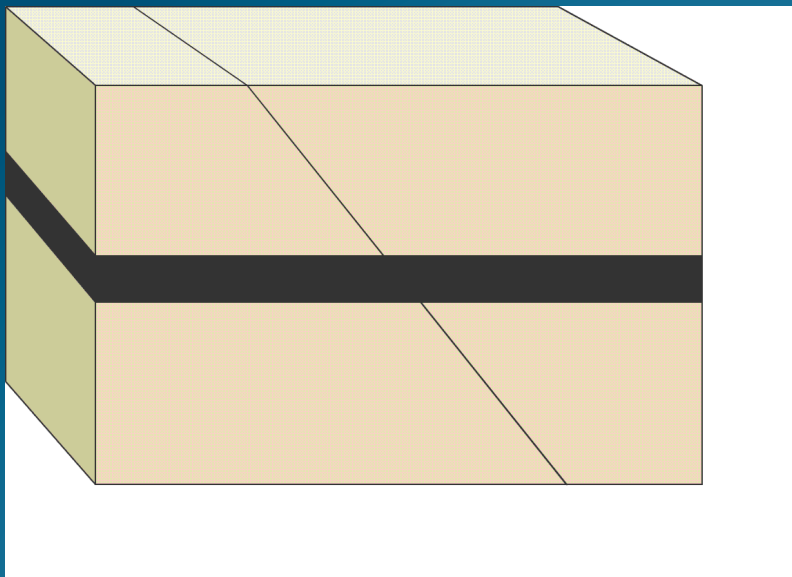


Milonitos



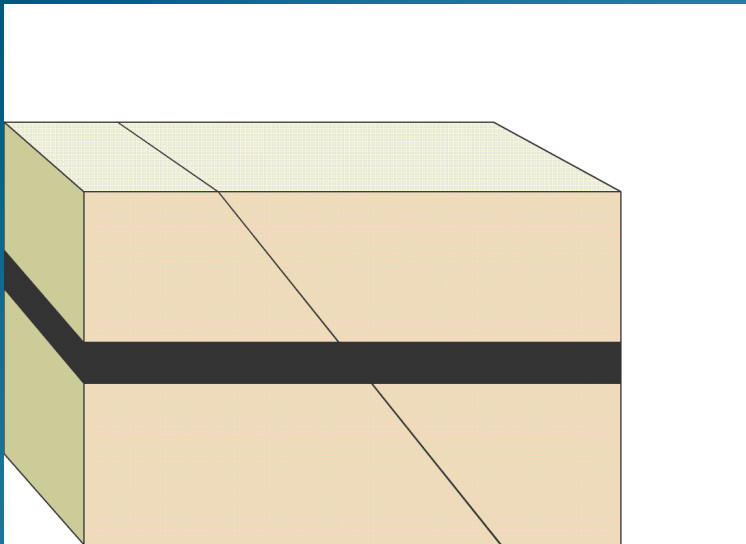
TIPOS DE FALHAS

Normal



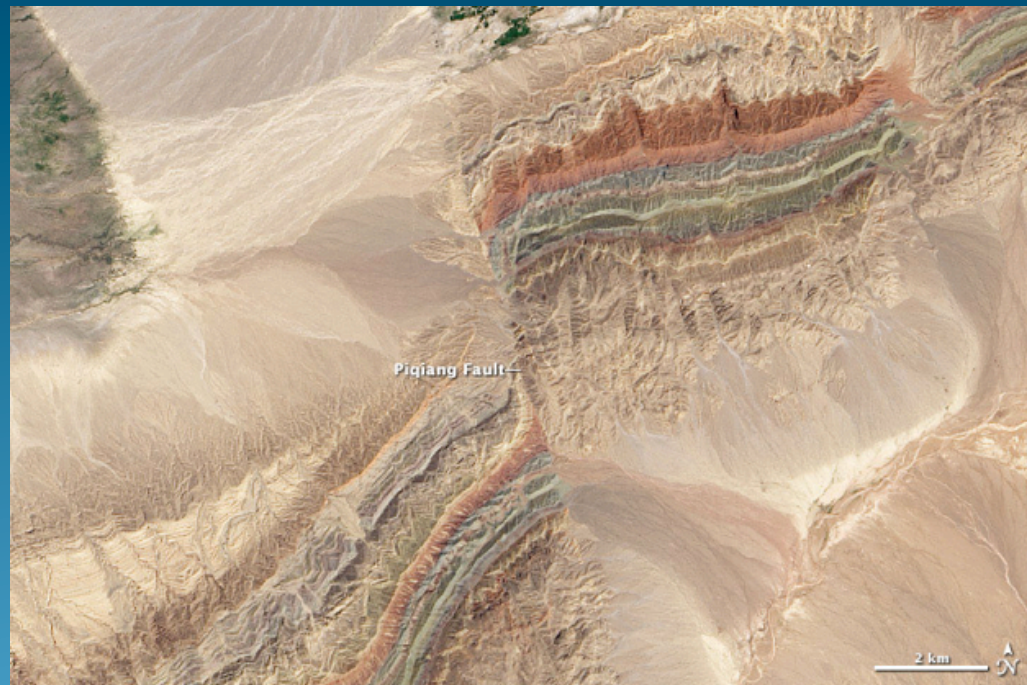
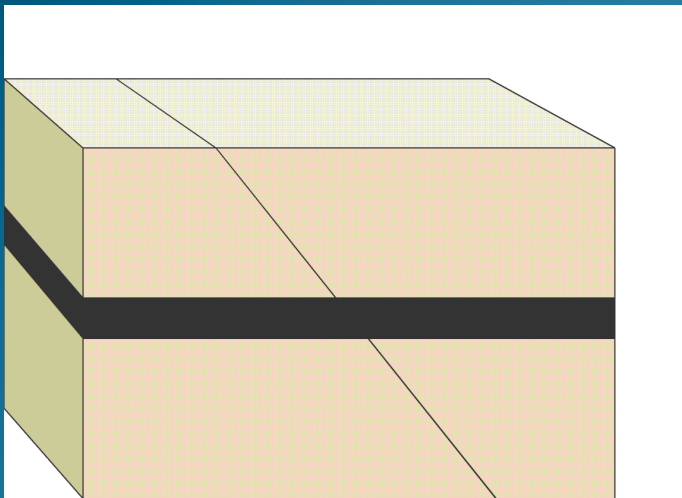
TIPOS DE FALHAS

Reversa



TIPOS DE FALHAS

Transcorrente



AS DOBRAS

Estruturas dúcteis formadas em várias escalas



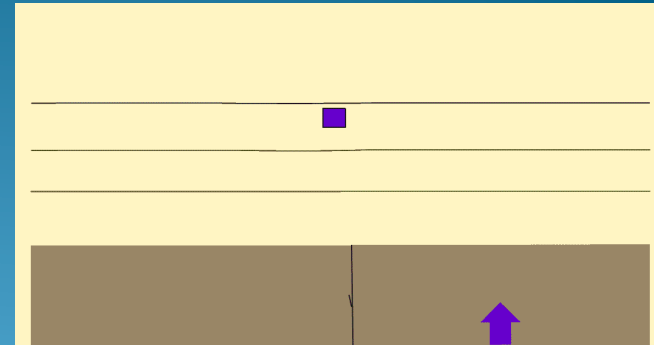
AS DOBRAS

Os dobramentos podem ocorrer devido a muitos mecanismos.

Encurtamento paralelo
às camadas (flambagem)



Movimentos perpendiculares
às camadas (flexura)

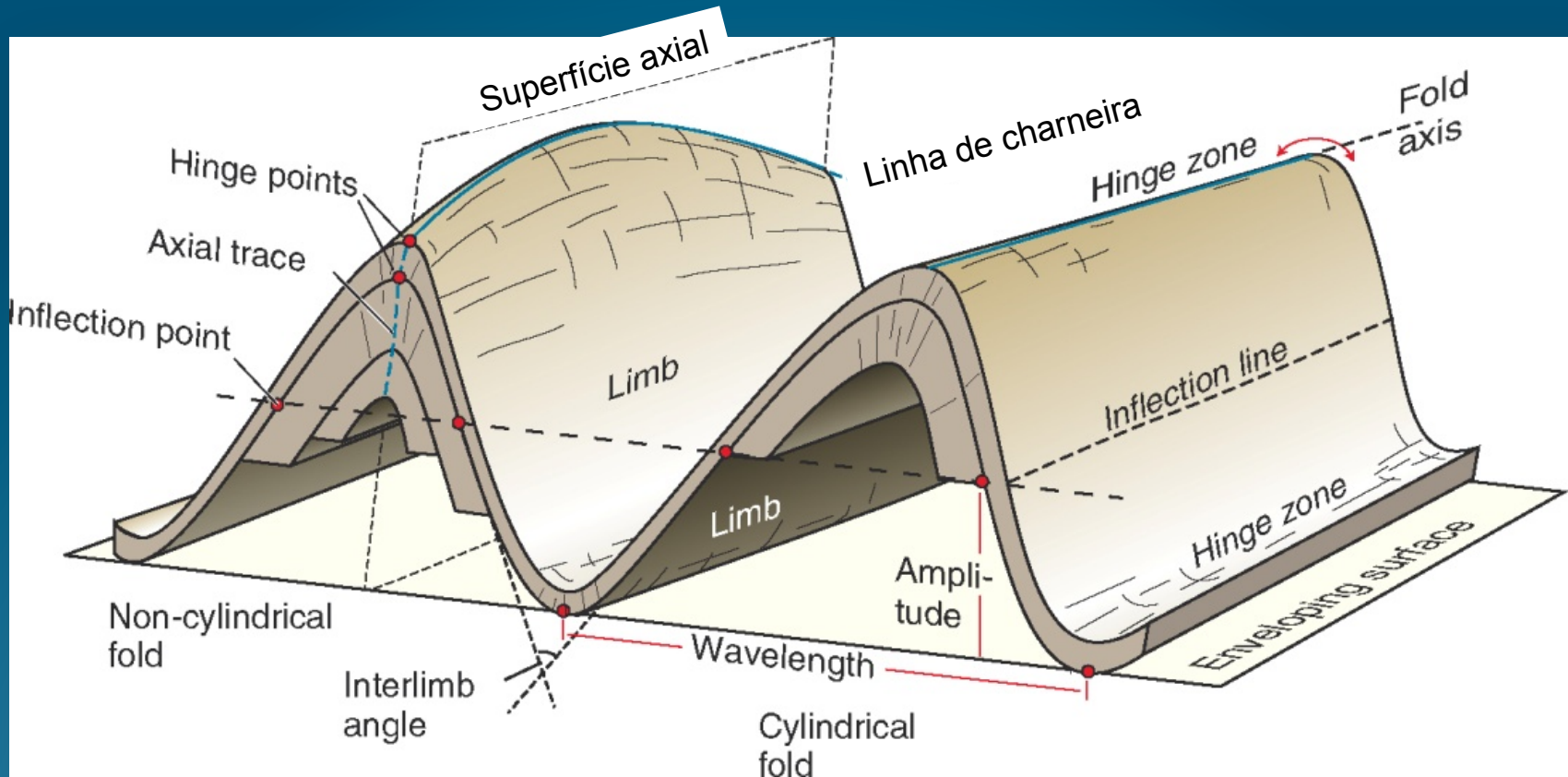


Cisalhamento

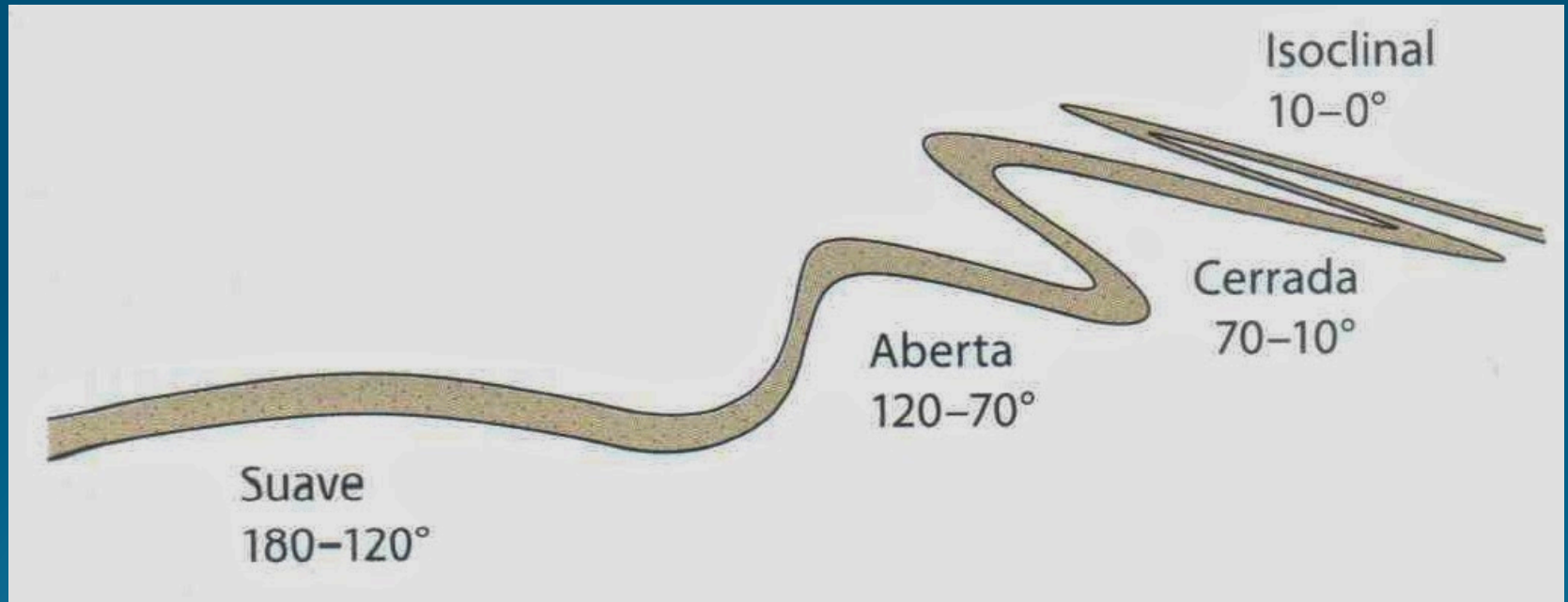


AS DOBRAS

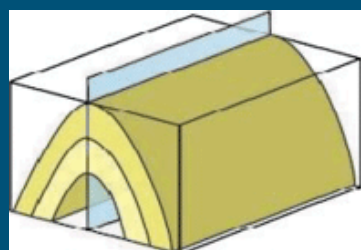
A análise geométrica das dobras pode fornecer muitas informações sobre sua formação



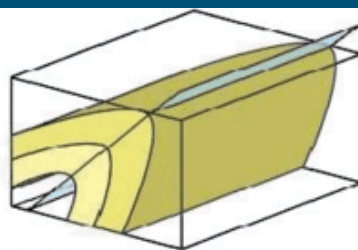
CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS



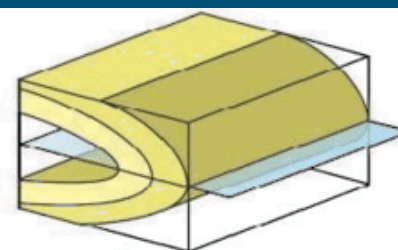
CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS



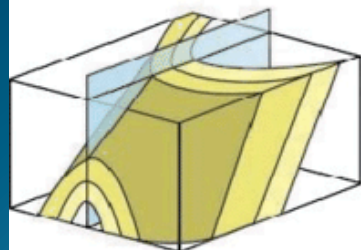
Normal horizontal



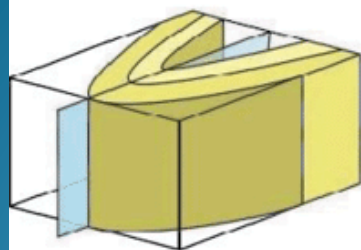
Horizontal moderadamente inclinada



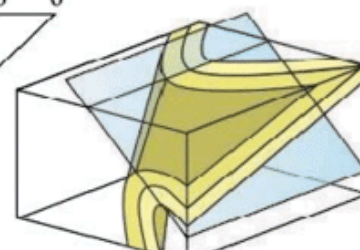
Recumbente



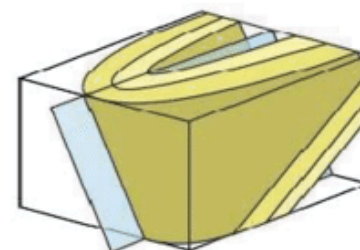
Normal com caimento moderado



Vertical

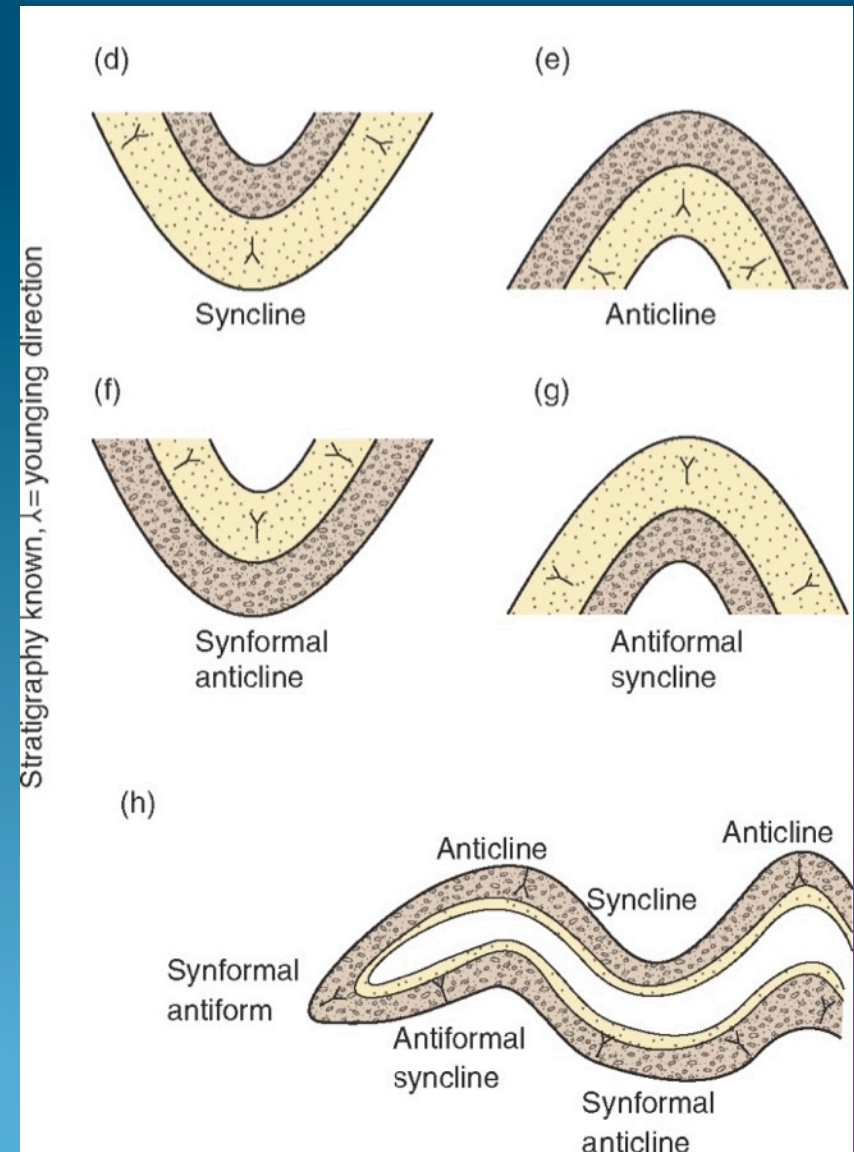
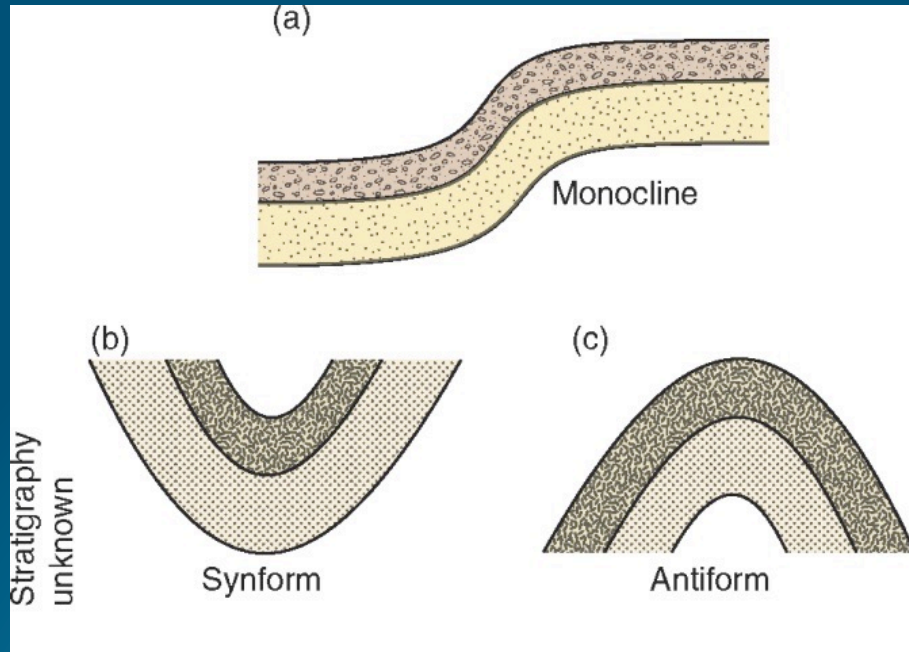


Moderadamente inclinada

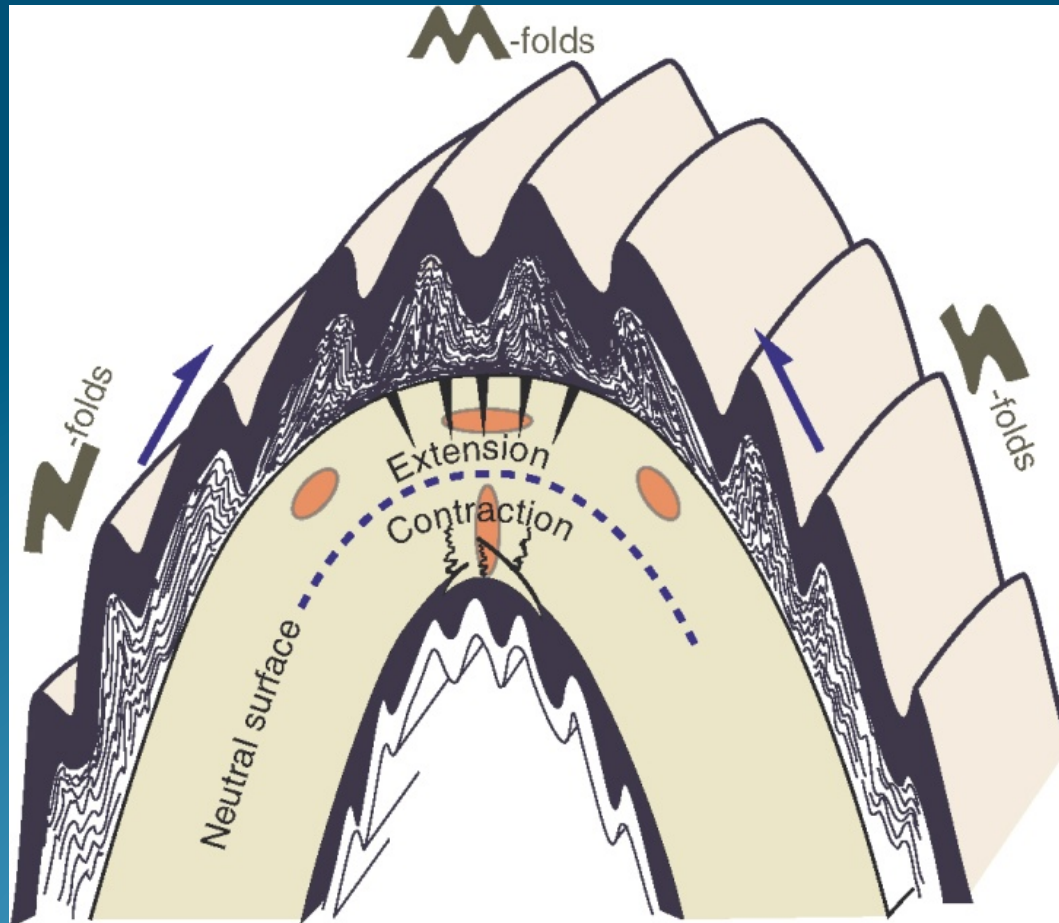


Reclinada

CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS



DOBRAS E ESTRUTURAS MAIORES



Dobras parasíticas – contêm informações sobre dobras de grande escala

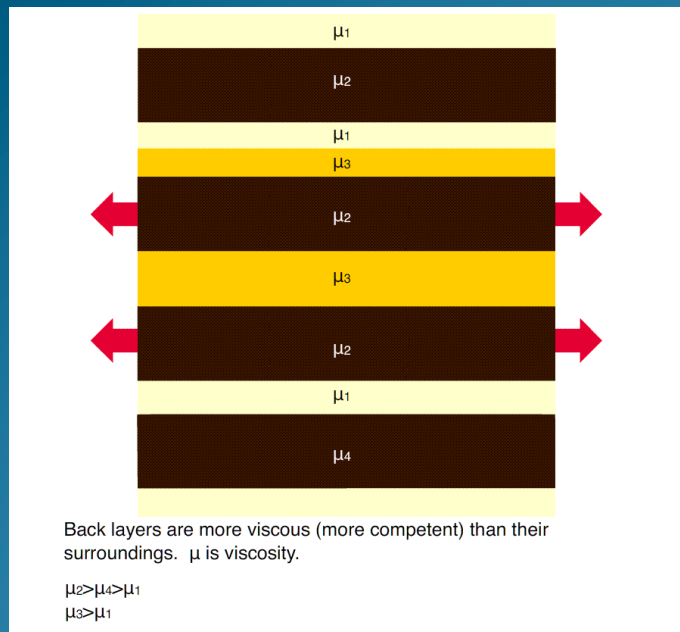


OS BOUDINS

Pedaços de camadas de rochas que foram um dia contínuas

Quebradas em pedaços mais ou menos regulares devido a extensão paralela à camada

Contraste de competência ou viscosidade



AS FOLIAÇÕES

Estruturas planares – se formam quando as rochas se deformam em profundidade na crosta

Formam-se na direção perpendicular ao encurtamento – ou seja, no plano de achatamento

Crescimento de novos minerais

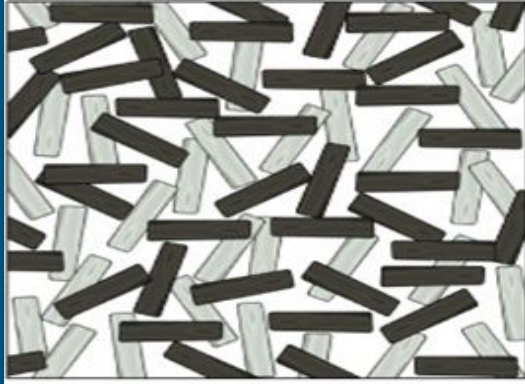
Recristalização

Dissolução

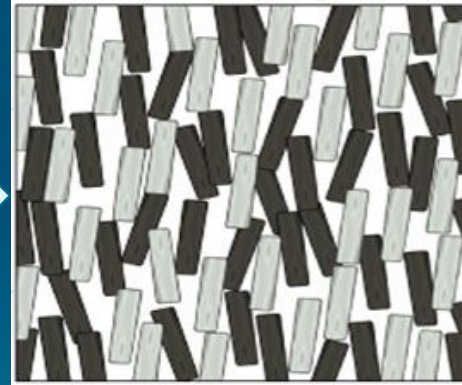
Rotação de minerais

Dobramento de grãos (crenulação)

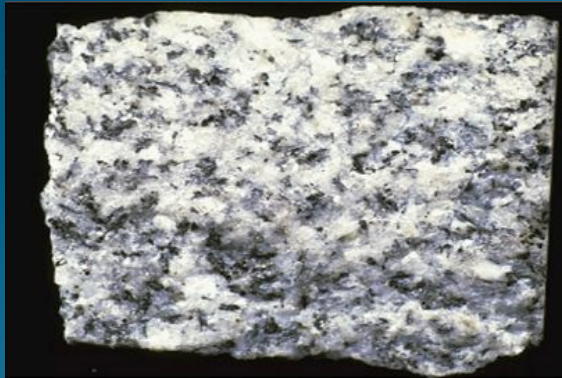
FORMAÇÃO DAS FOLIAÇÕES



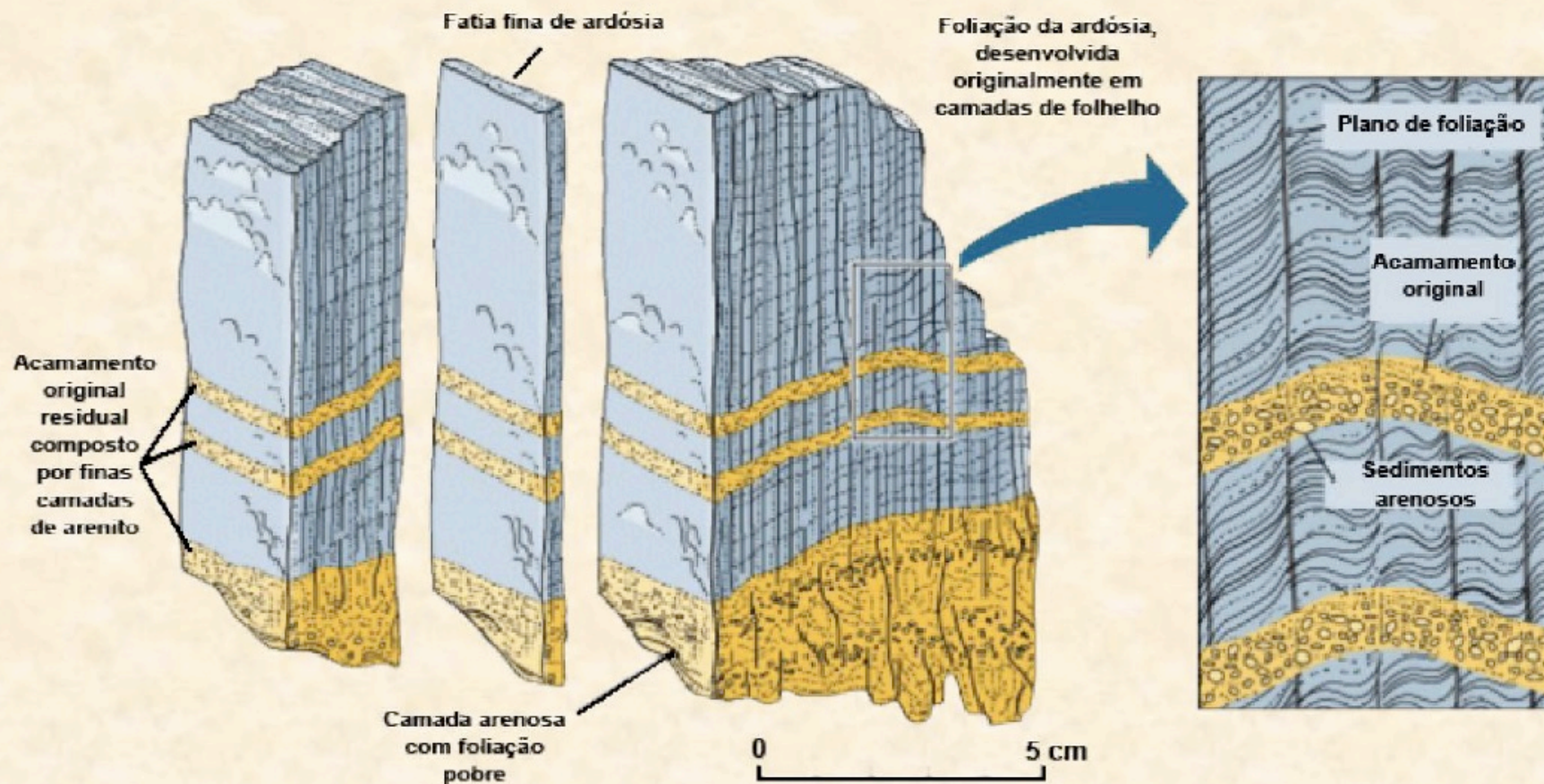
Tensão



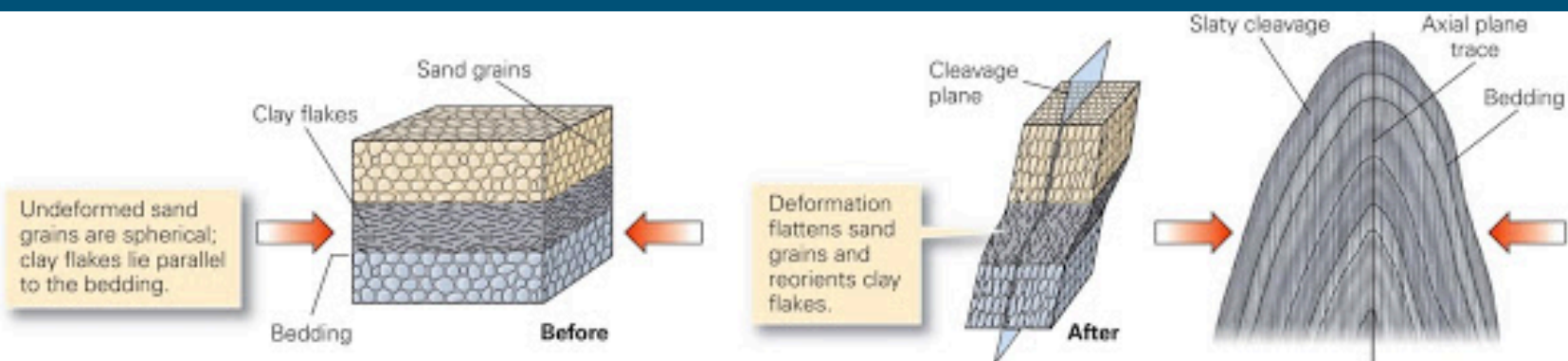
Tensão



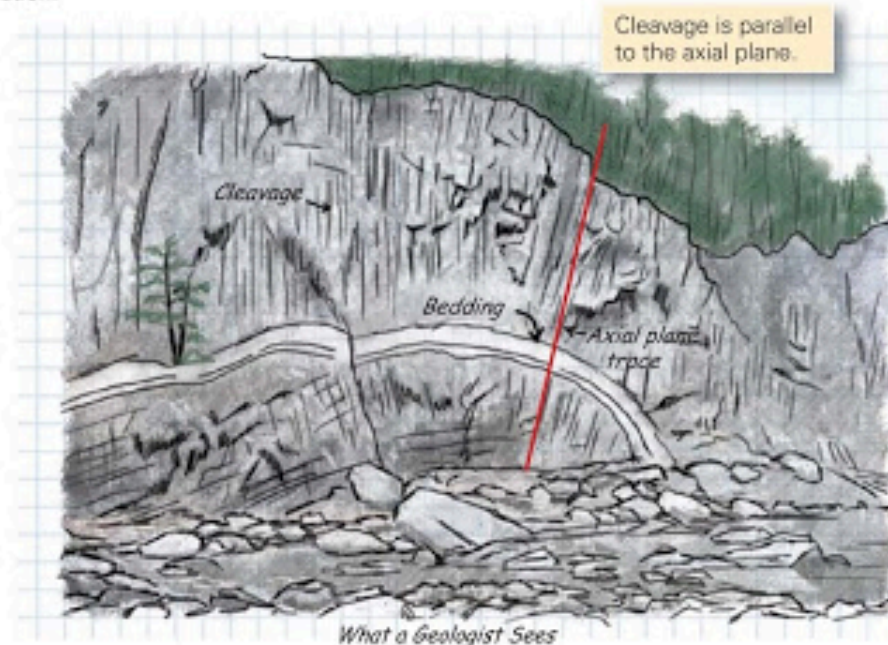
RELAÇÃO ENTRE FOLIAÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA



RELAÇÃO ENTRE FOLIAÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA



(a) Compression shortens beds, flattens sand grains, and reorients clay flakes. Clay flakes were originally parallel to bedding, but they become parallel to slaty cleavage during deformation. Folding may accompany cleavage formation.



(b) An example of slaty cleavage developed in Paleozoic strata exposed in a stream cut in New York. Relict bedding is still visible, but note that the rock breaks more easily on the cleavage. This cleavage formed in association with folding.

FOLIAÇÕES E AS ROCHAS METAMÓRFICAS



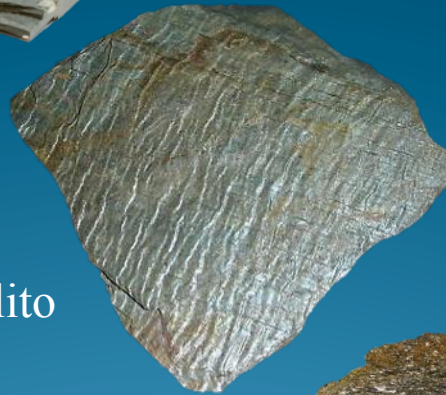
Folhelho

Estratificação
(primária)



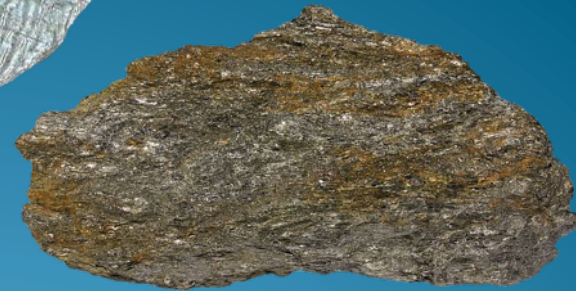
Ardósia

Clivagem ardosiana



Filito

Xistosidade



Xisto

Bandamento
gnáissico



Gnaiss



Grau metamórfico

LINEAÇÕES

Estruturas lineares que se formam durante a deformação.

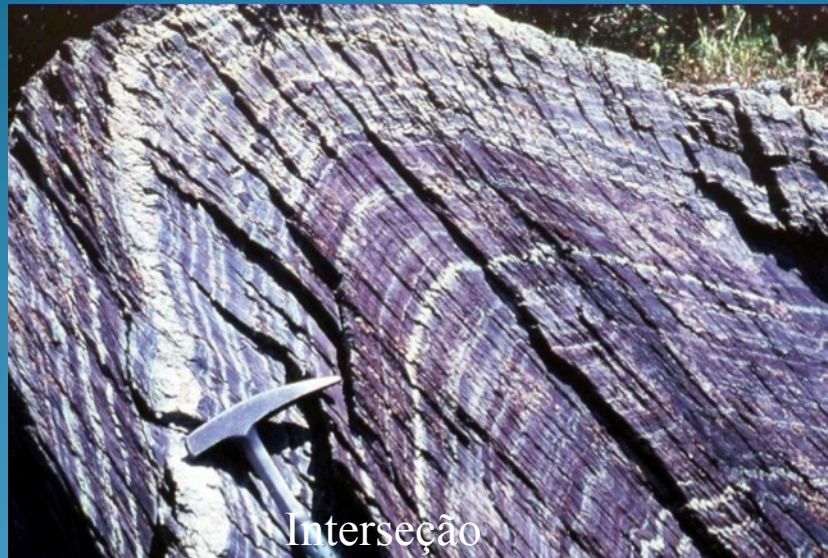
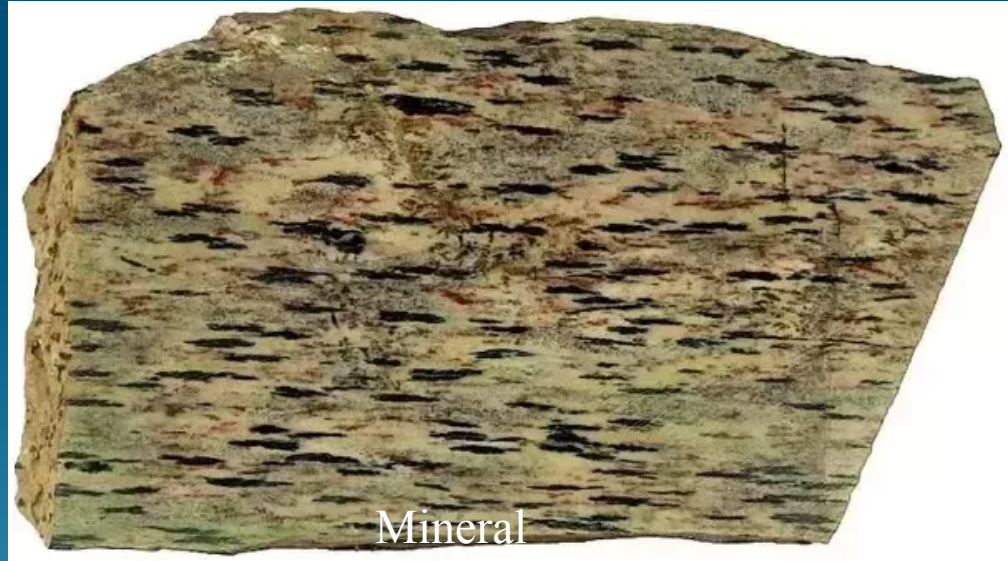
Ao longo de superfícies
de falha (não penetrativas)



Em rochas metamórficas
(penetrativas)



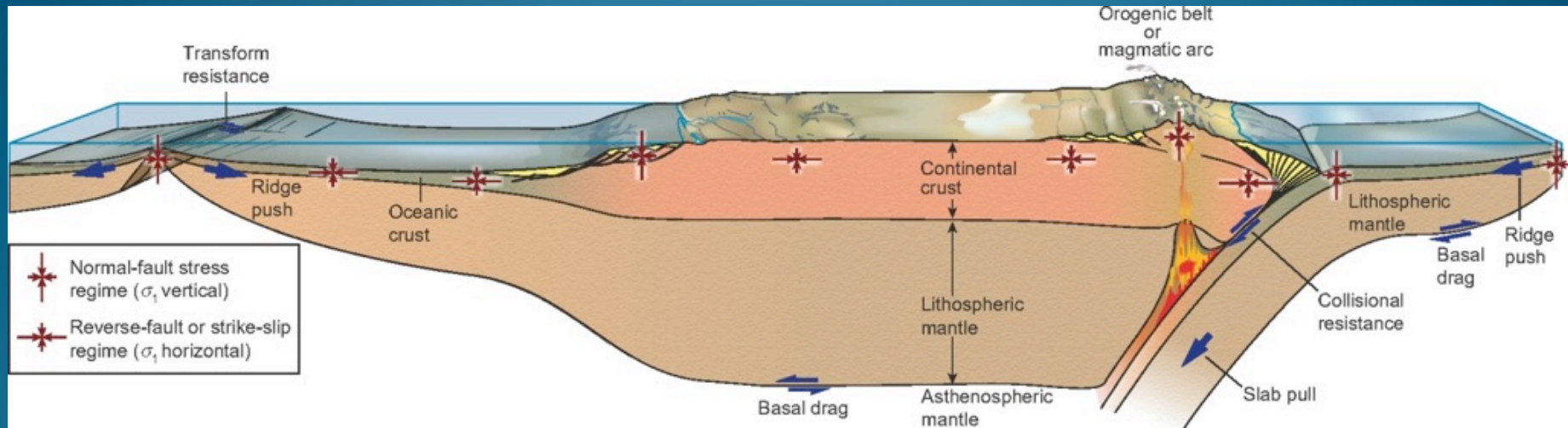
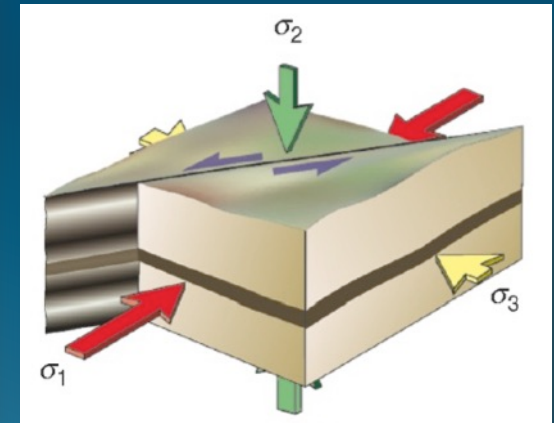
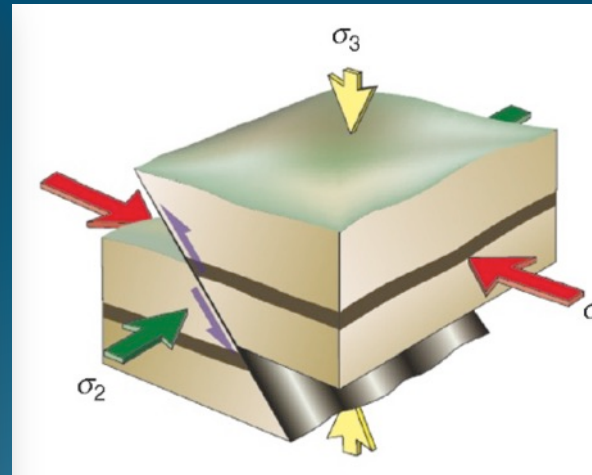
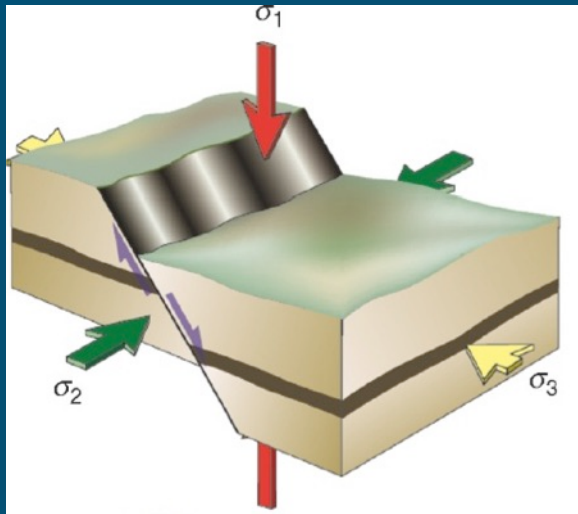
LINEAÇÕES E FOLIAÇÕES



LINEAÇÕES E FOLIAÇÕES



REGIMES TECTÔNICOS E ESFORÇOS PRINCIPAIS



MAPA DE ESFORÇOS GLOBAL

