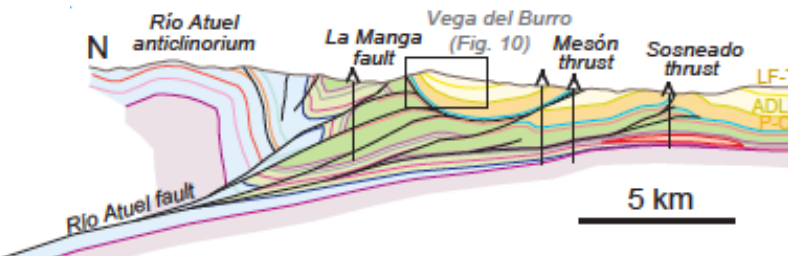
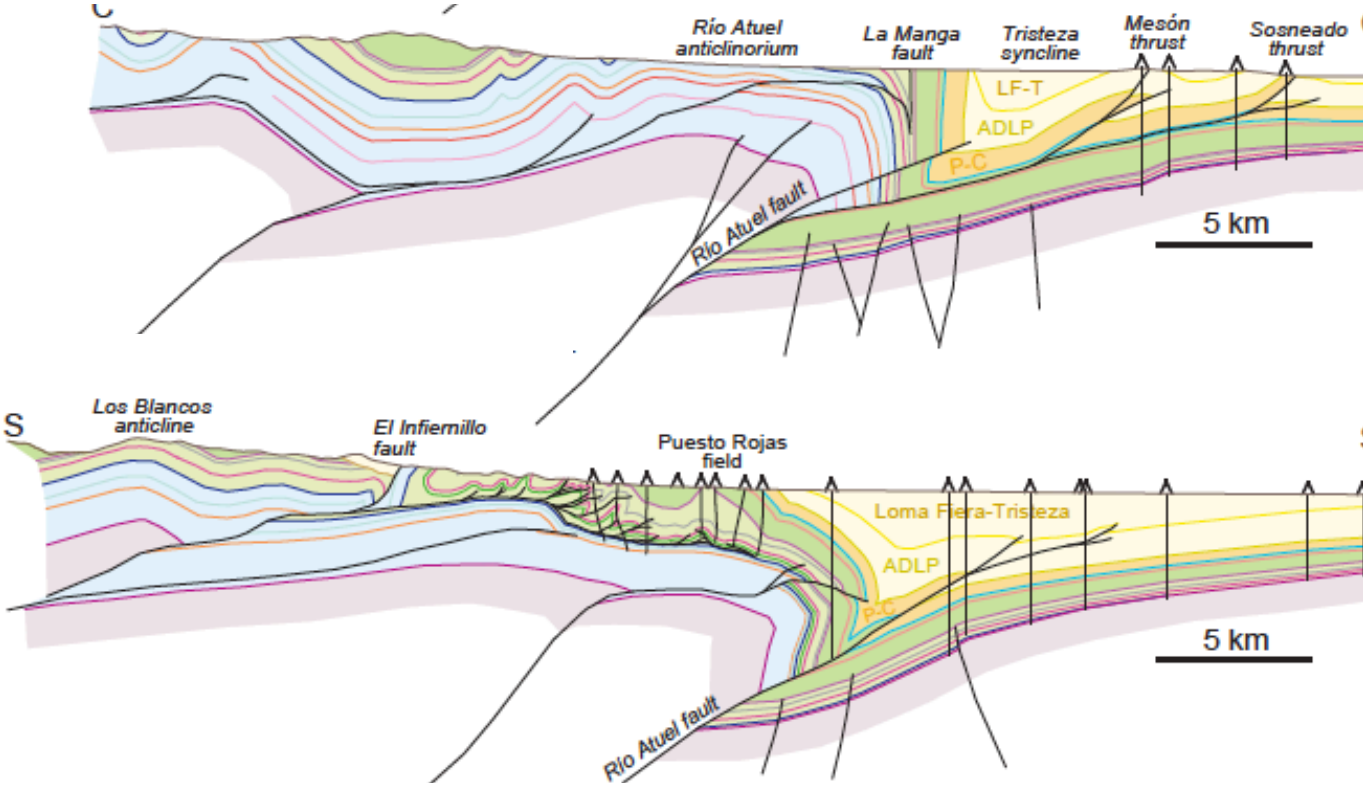


FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO – regimes de deformação e cinemática



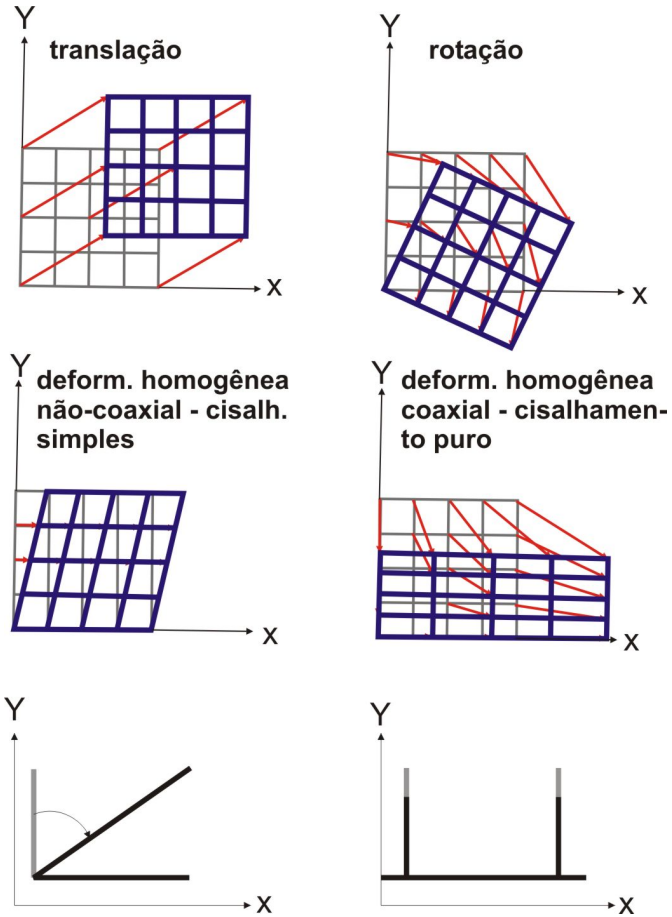
DEFORMAÇÃO E CAMPOS DE VETOR DE DESLOCAMENTO

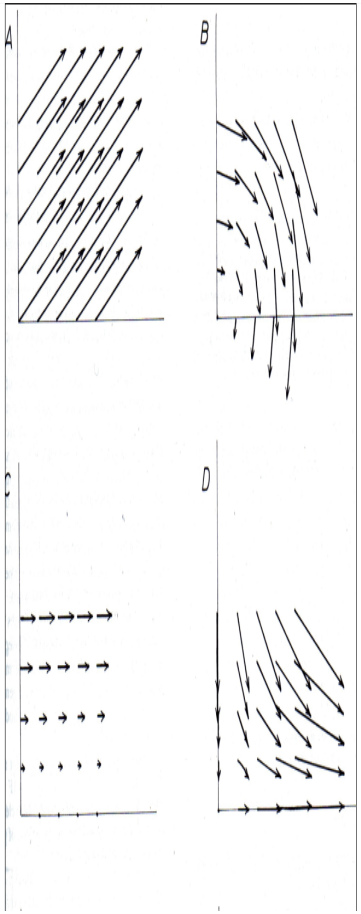
Translação: vetores de deslocamento paralelos e de comprimento constante.

Rotação: vetores de deslocamento variam na extensão e orientação, mas o objeto mantém-se fixo na posição da coordenada de origem (0,0).

Cisalhamento Simples: vetores de deslocamento são paralelos entre si e paralelos ao eixo de coordenadas X, mas são maiores quanto mais distantes da origem. O *strain* é rotacional e como há uma reorientação angular de todas as linhas não paralelas ao eixo-X, a deformação é dita **não-coaxial**.

Cisalhamento puro: variação complexa no comprimento e orientação dos vetores de deslocamento, provocando encurtamento paralelo ao eixo-Y e alongamento paralelo ao eixo-X. O s*train* é homogêneo e não-rotacional. Por não haver modificação angular entre as linhas originais, a deformação é dita **coaxial**.

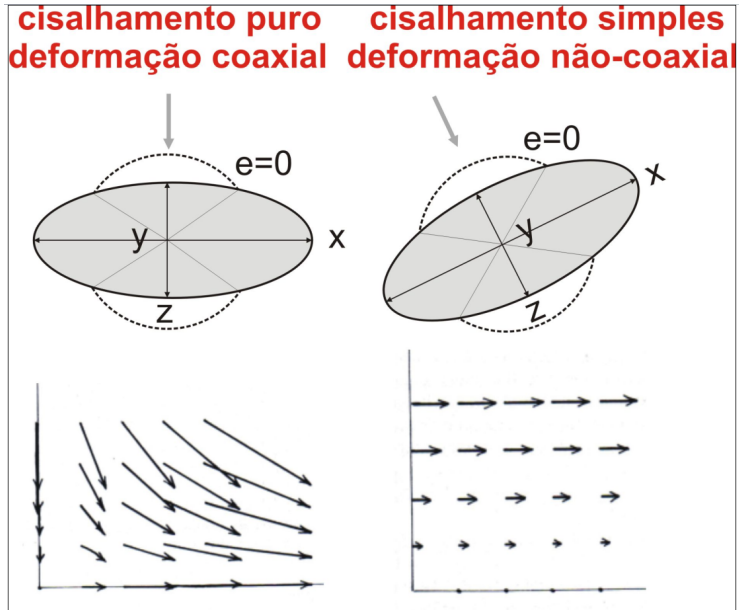


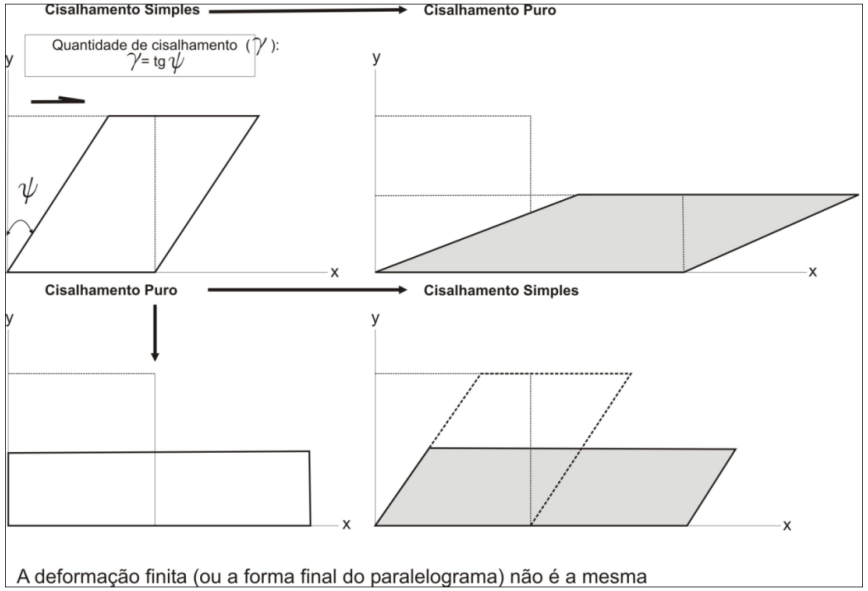


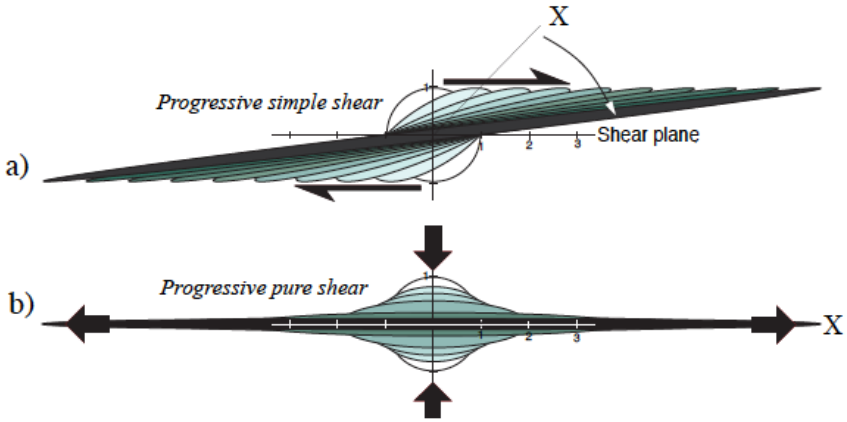
DEFORMAÇÃO E CAMPOS DE VETOR DE DESLOCAMENTO

No **cisalhamento puro progressivo**, os eixos de elongação instantânea do elipsóide de deformação são fixos; modificam-se na extensão, mas mantém as relações angulares originais. A deformação é dita **coaxial**.

No **cisalhamento simples progressivo** o plano de fluxo é fixo, mas todas as linhas de materiais não paralelas ao plano de fluxo são rotacionadas na direção do eixo de elongação principal. Como as linhas de matéria não ficam paralelas aos eixos de elongação instantânea, o fluxo é dito **não-coaxial.**

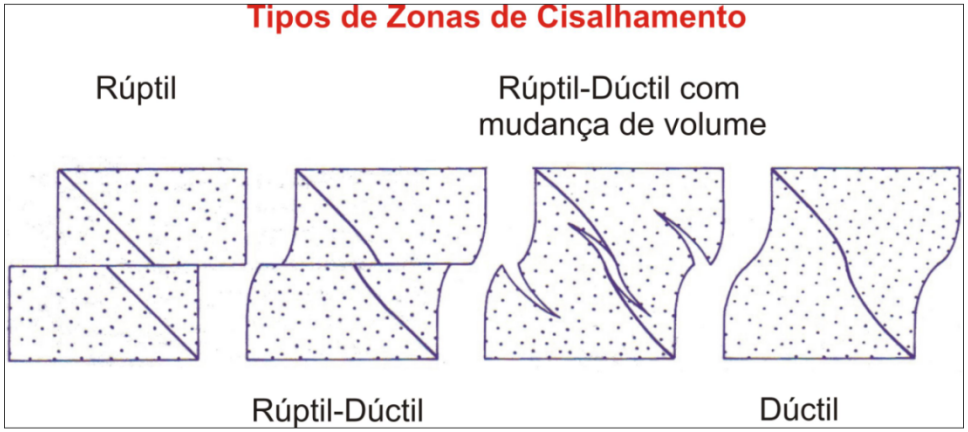






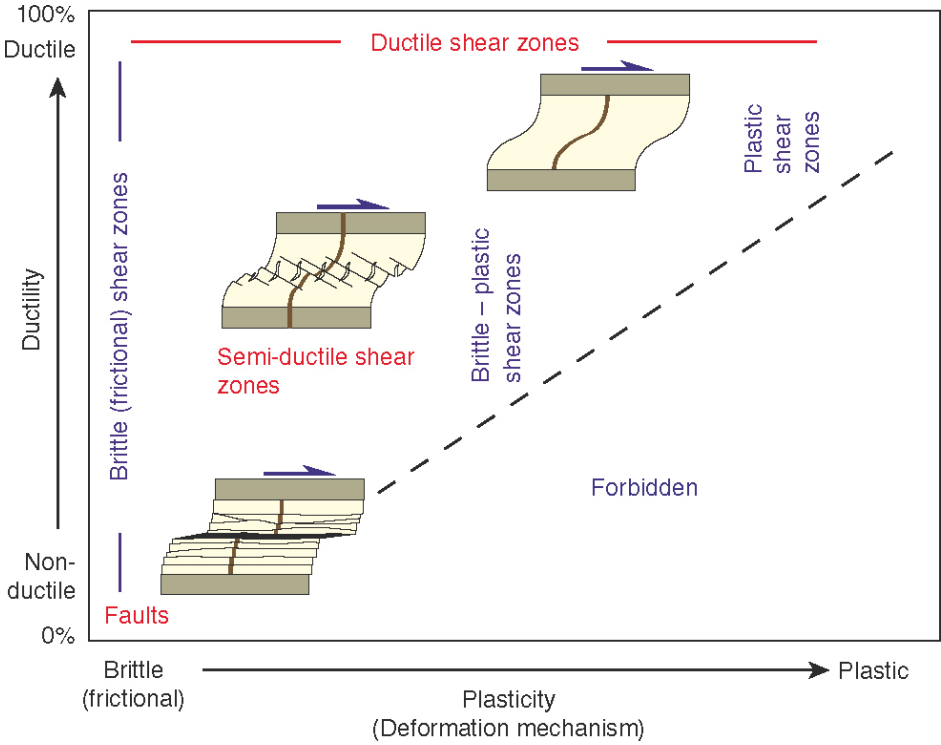
ZONA DE CISALHAMENTO

Tipologia das zonas de cisalhamento

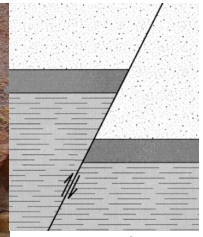


Falha é zona de cisalhamento rúptil com descontinuidade entre um bloco e outro (o limite de elasticidade da rocha sob esforço é atingido). Na falha a deformação se concentra na zona de ruptura.

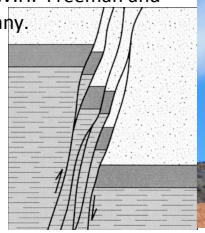
Na **Zona de cisalhamento dúctil** a deformação e o deslocamento são por fluxo dúctil, sem descontinuidade na escala de afloramento. Os elementos estruturais de uma rocha são defletidos, apresentam variações na espessura, na extensão e na orientação, mas não são rompidos. A zona de cisalhamento dúctil é espessa em relação a falha.



Falhas – definições

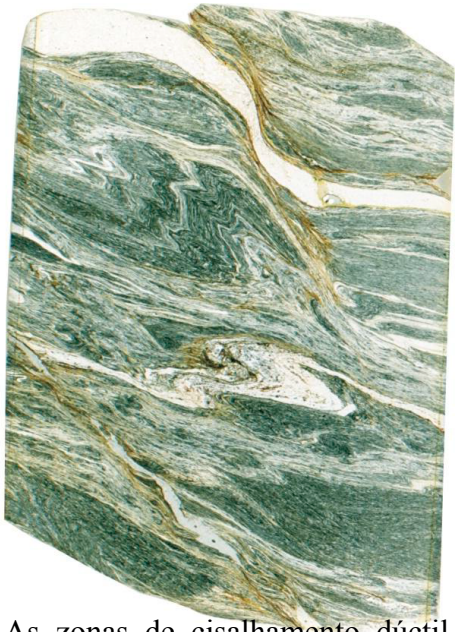


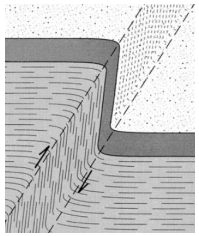
Twiss and Moores (2007). Structural Geology, 2nd edition. W.H. Freeman and Company.



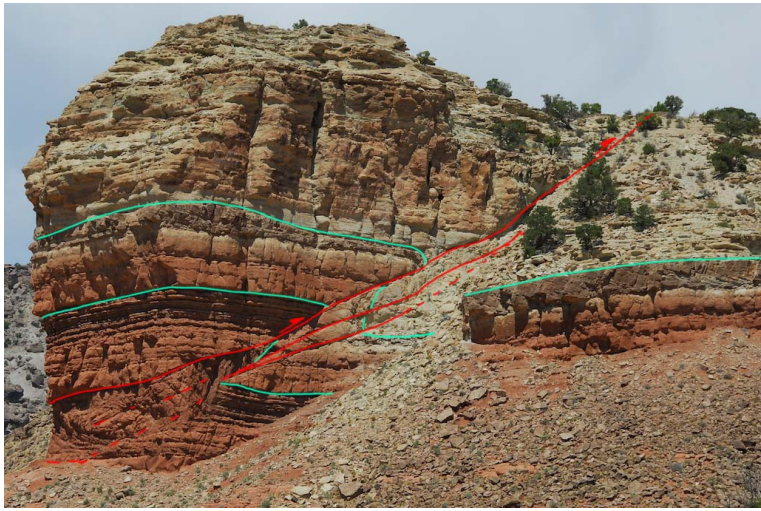
As falhas, em rochas, são superfícies ou zonas estreitas de **fraturas de cisalhamento** com ruptura e deslocamento de um lado em relação ao outro.

As zonas de falhas podem admitir bandas de deformação que são domínios estreitos e formados por um conjunto de fraturas de cisalhamento que acumulam deslocamentos.





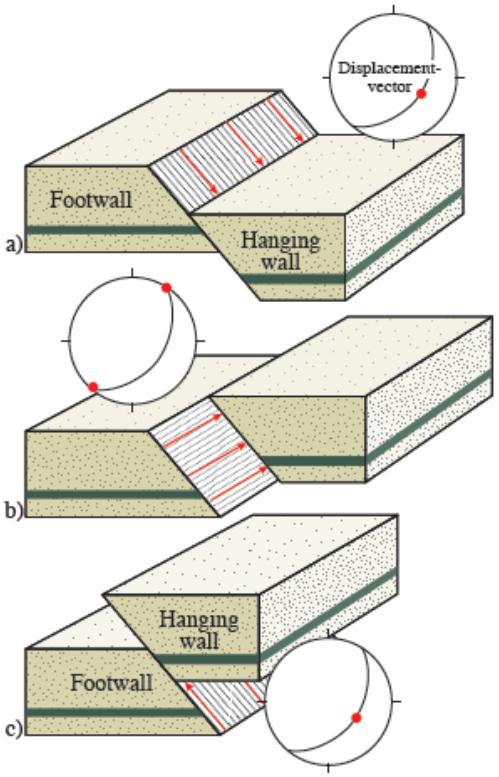
As zonas de cisalhamento dúctil são domínios estirados e de alta deformação mas sem perda de coesão.

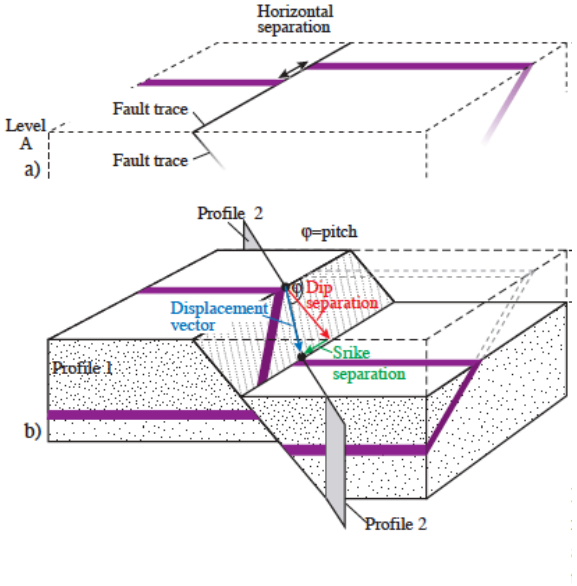


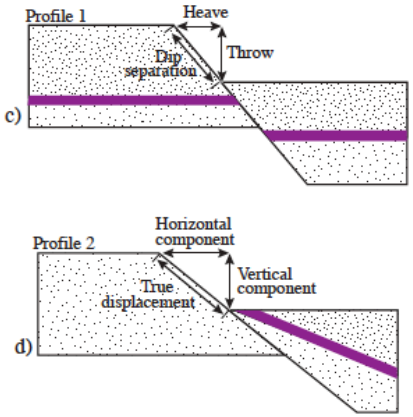
https://structuralgeo.wordpress.com/2013/07/17/reverse-faults/

Falhas – elementos geométricos

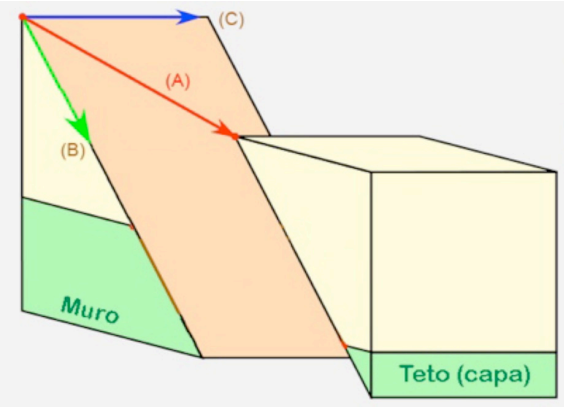
Membros finais de um conjunto continuo de falhas oblíquas.







REJEITO



Geometria do deslocamento de uma falha, ou componentes do vetor de deslocamento:

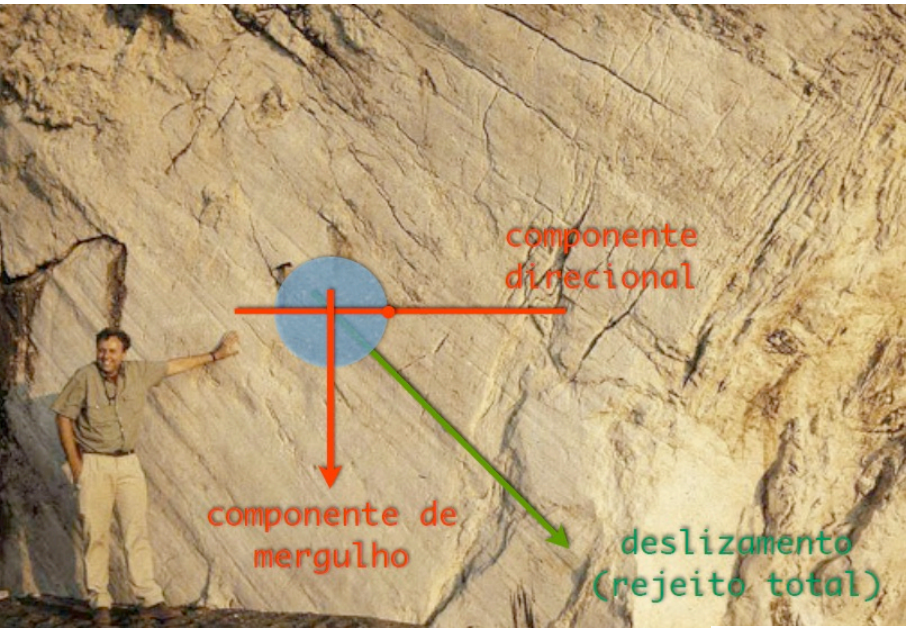
A- rejeito total ou deslocamento verdadeiro
B- rejeito de mergulho (separação ao longo do mergulho)
C- rejeito direcional (separação ao longo da direção do plano de falha)

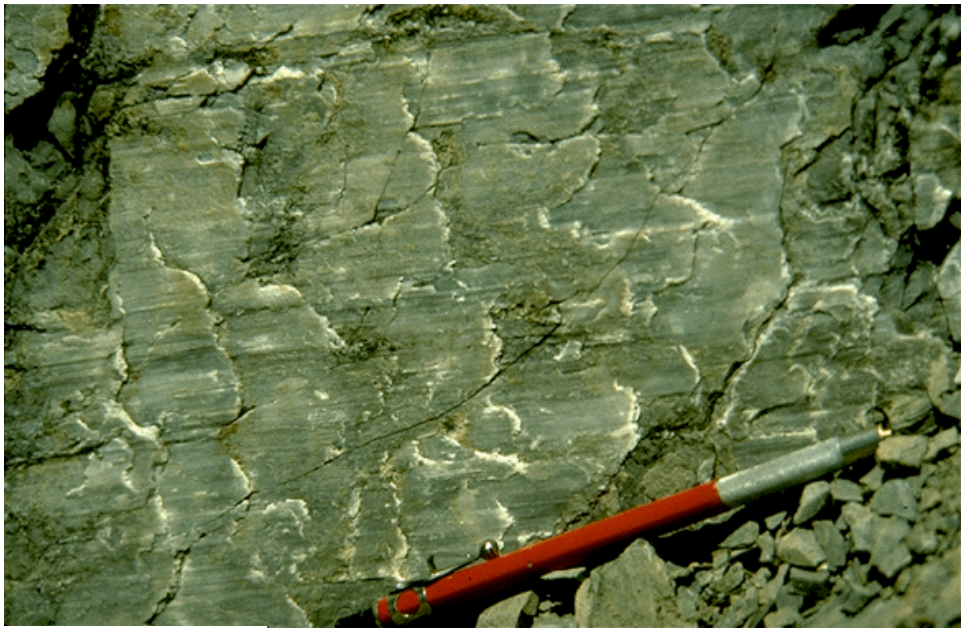
Capa ou teto da falha (***hanging wall***) – bloco que se encontra acima de um plano inclinado de falha).
Lapa ou muro da falha (***footwall***) – bloco que se encontra abaixo de um plano inclinado de falha)

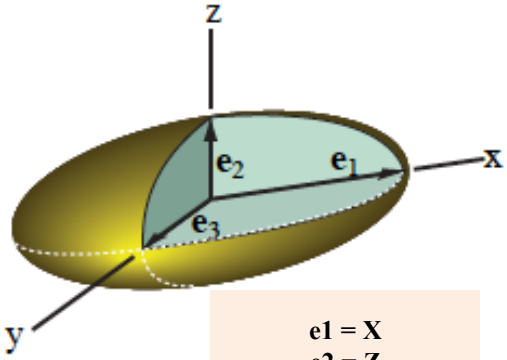
Falhas – elementos geométricos

- rejeito total ou o deslocamento verdadeiro pode ser observado no plano de falha e ao longo das estruturas relacionadas ao vetor de deslocamento – **estrias e *slickensides***. As **estrias** são lineações produzidas por fricção na superfície polida de falha e podem ser acompanhadas por recristalizações fibrosas de fases minerais solúveis, os **slickensides**.

- São estruturas paralelas ao **eixo-X** de elongação instantânea máxima do elipsóide de deformação.







e1 = X
e2 = Z
e3 = Y

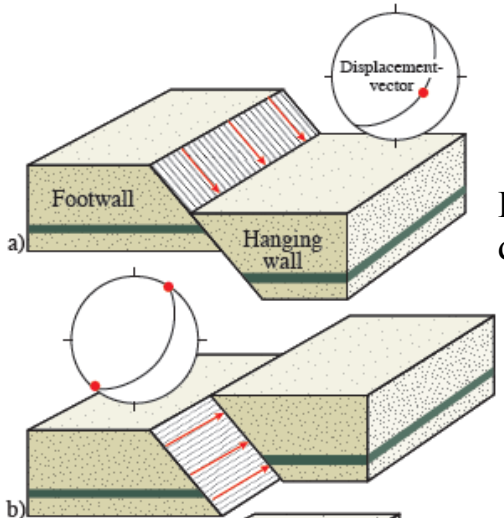
Falhas – classificação

As falhas são classificadas quanto ao ângulo de mergulho e quanto a orientação do movimento relativo, admitindo como membros finais:

1- **falhas de alto ângulo** (mergulho do plano de falha maior que 45°) e **falhas de baixo ângulo** (mergulho do plano de falha menor que 45º).

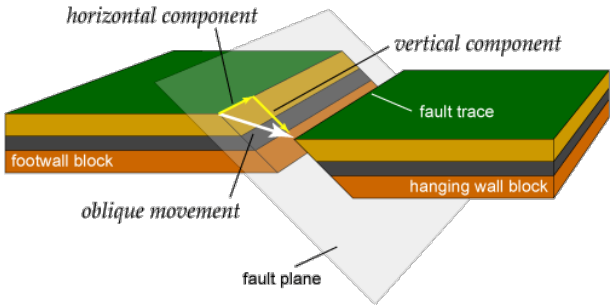
2 – **falhas de mergulho** (deslocamento paralelo ao mergulho), **falhas direcionais** (deslocamento horizontal no plano de falha) e **falhas oblíquas** (deslocamento inclinado no plano de falha. O vetor oblíquo de deslocamento é a soma dos vetores vertical e horizontal)

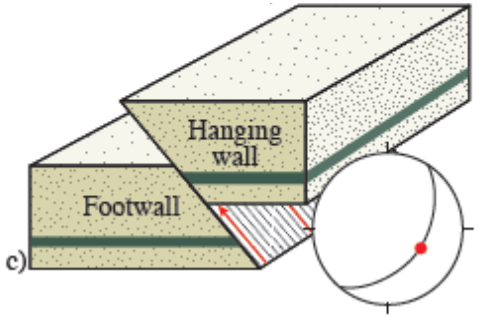
As falhas de mergulho podem ser classificadas quanto ao sentido de deslocamento entre os blocos de lapa e capa em normais e inversas (*dip slip faults – normal and reverse*)



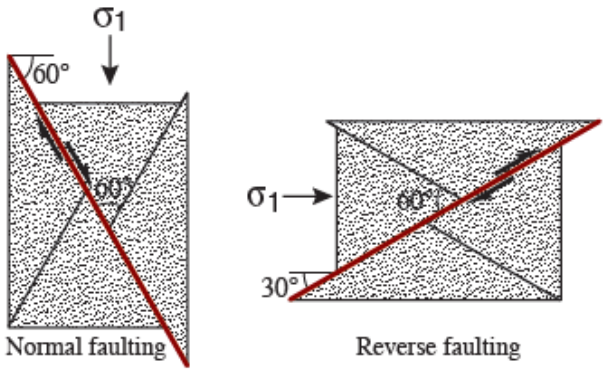
Falhas normais são falhas de mergulho onde a capa desce em relação à lapa.

Falhas inversas ou reversas são falhas de mergulho onde a capa sobe em relação à lapa.





Falhas – classificação



O ângulo entre o tensor máximo e o plano de deslocamento está em torno de 30º na crosta superior controlando o forte mergulho das falhas normais e o baixo mergulho das falhas inversas.

FALHA NORMAL

Observar as bandas de deformação que acumulam o rejeito vertical da falha e os conjugados de cisalhamento que indicam o regime de deformação.

Plano de falha em tração.

FALHA INVERSA

Plano de falha em compressão

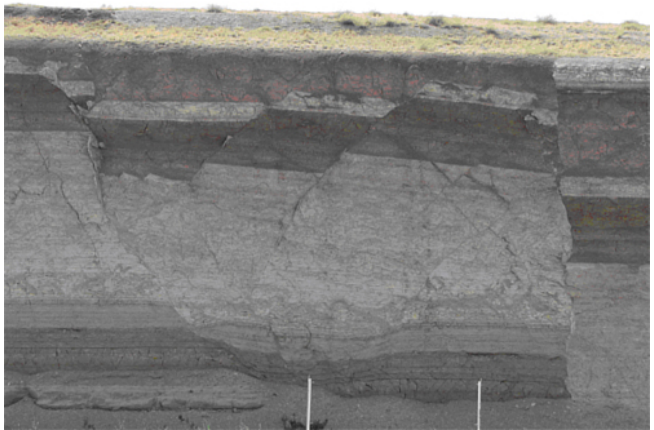
Falhas em regimes de extensão

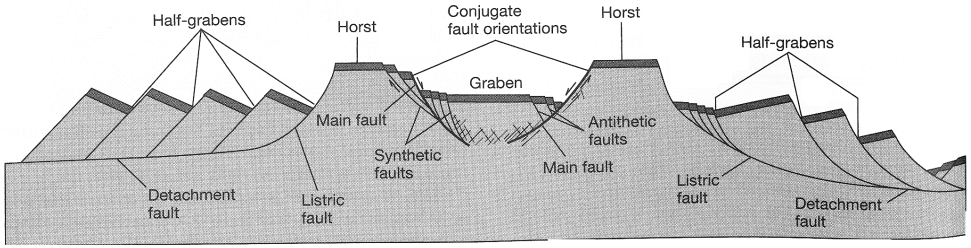
FALHAS NORMAIS CONJUGADAS

Falhas normais conjugadas com mergulhos convergentes definem um **graben**, onde o bloco interno (capa) desce em relação aos blocos externos (lapas)

Falhas normais conjugadas com mergulhos divergentes definem um **horst**, onde o blocos externos (capa) descem em relação ao bloco interno (lapa)

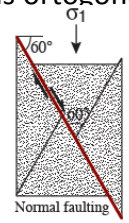
Falhas normais lístricas possuem o plano de falha horizontal em profundidade e definem os **hemigrabens.**





Falhas em regimes de extensão

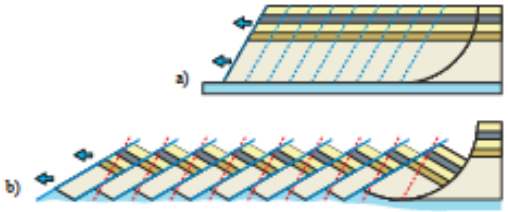
As falhas de tração causam a extensão da crosta ou de algumas camadas de um pacote litológico. A extensão perpendicular a direção da falha (ou ao plano de falha) define uma **falha de tração**, ou seja um espectro **de falhas normais** entre falhas verticais e horizontais. Falhas ortogonais ou paralelas às camadas não encurtam, nem estendem essas camadas.

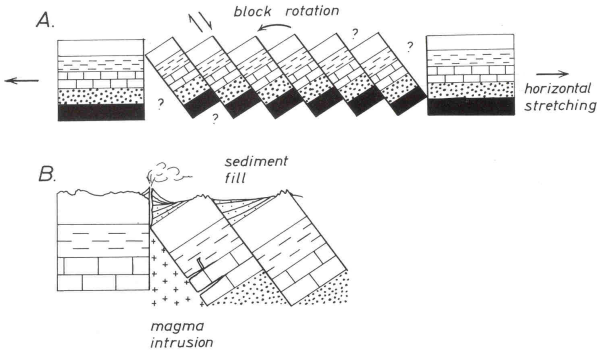


As falhas de tração iniciam-se, no geral com mergulhos em torno de 60º, mas coexistem com falhas de baixo e alto ângulo em um sistema lístrico.

MODELO RÍGIDO EM DOMINÓ

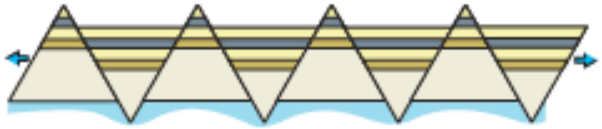
Um conjunto de blocos de falhas simultâneos e uniformemente rotacionados configura um **modelo rígido em dominó** (como livros uniformemente virados em uma estante).





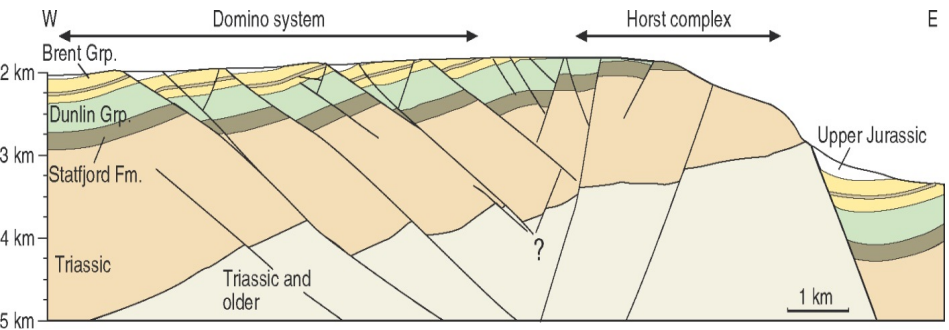
No sistema de falhas normais em dominó a transição para o assoalho não deformado está acomodado por um deslocamento horizontal

O desenvolvimento de um sistema de horst e gabrens é uma alternativa simétrica ao sistema em dominó em um regime de deformação por cisalhamento puro.

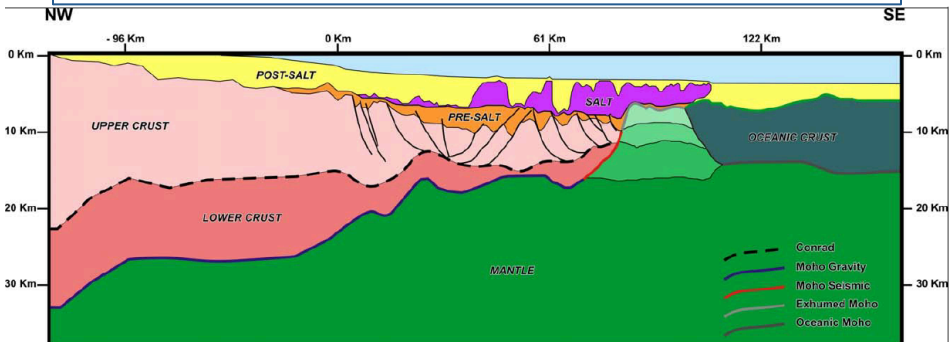


O arranjo das falhas em dominó ou em horst-grabens depende de como o *strain* é acomodado na crosta. Um sistema de falhas assimétrico em-dominó depende da presença de de uma camada mais plástica basal (argilito, sal) ou uma falha basal de baixo ângulo. Na ausência destas estruturas um sistema simétrico pode se desenvolver. Em ambos a extensão total e o afinamento crustal pode ser o mesmo.

Campo de petróleo de Gullfaks – Mar do Norte

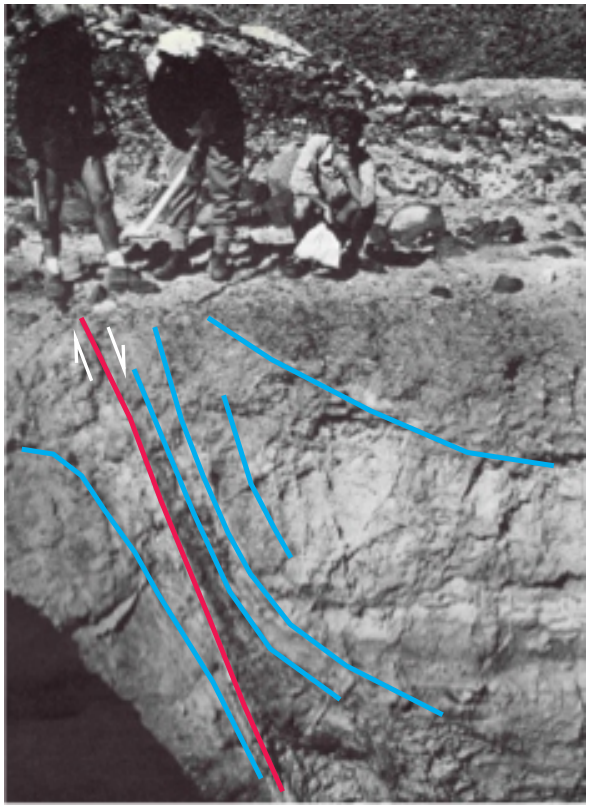


Bacia de Campos – margem continental brasileira (Zalán et al, 2011)

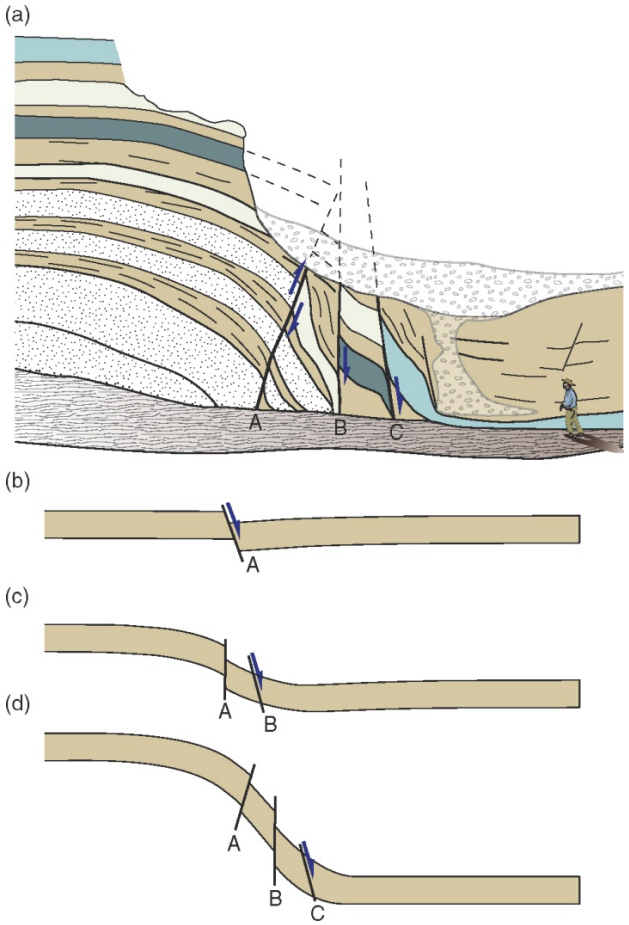


Falhas em regimes de extensão

DOBRAS DE PROPAGAÇÃO DE FALHA



Flanking ou ***drag folds***
As dobras flanqueadas correspondem a deflexões dos elementos planares ou lineares de uma rocha controlada por uma estrutura transversal (veio, fratura, falha, etc)



Dobra de propagação de falha (*fault propagation fold*) podem causar aparente inversão local do deslocamento

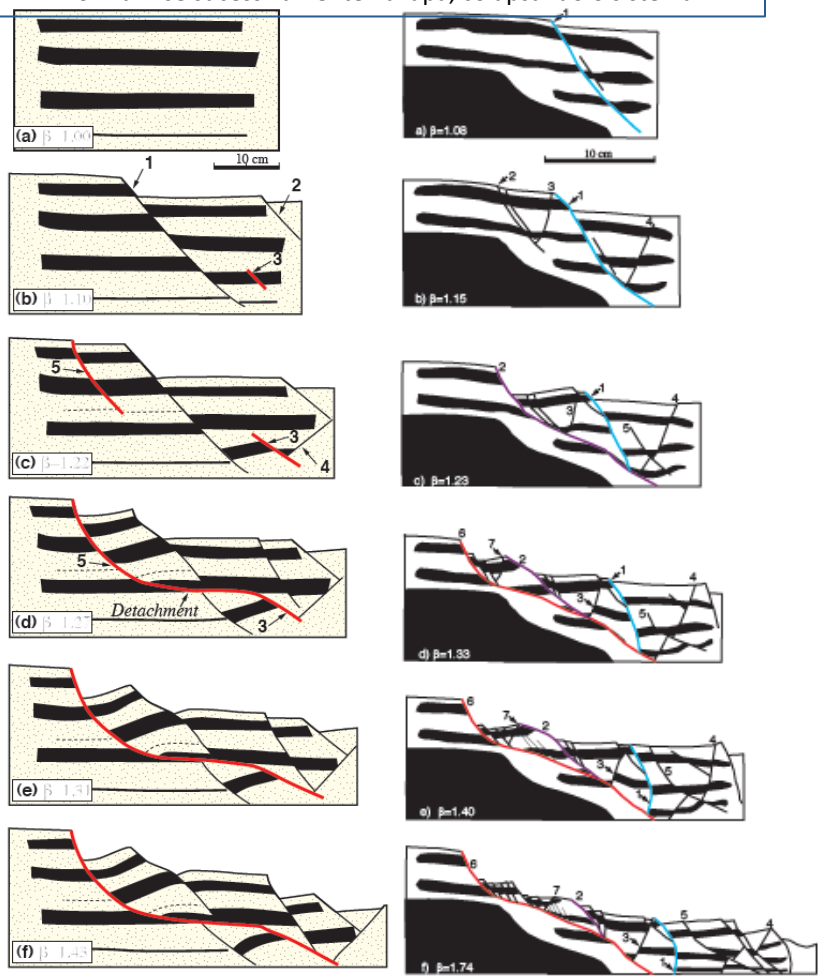
Falhas em regimes de extensão

Falhas normais de baixo ângulo desenvolvem-se seja por rotação rígida ou dúctil de falhas normais de alto ângulo, seja diretamente em um processo de um sistema lístrico de falhas normais.

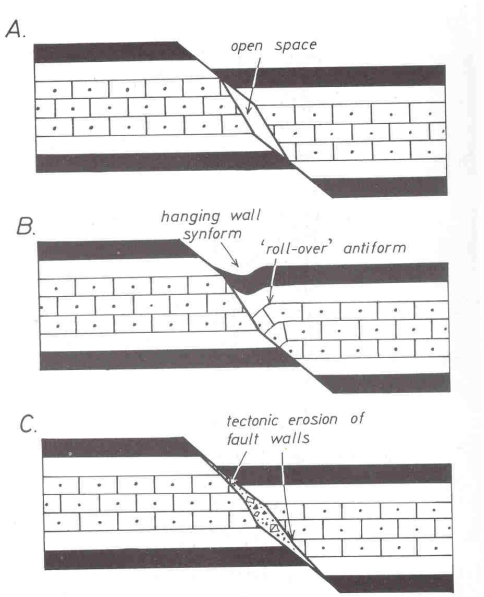
O **sistema lístrico** de falhas normais possui, caracteristicamente o plano principal de falha encurvado (côncavo para cima) e desenvolve-se pelo colapso sucessivo do assoalho do sistema. A falha de baixo ângulo pode se formar tardiamente dentro da evolução do sistema, cortando as falhas precedentes de alto ângulo.

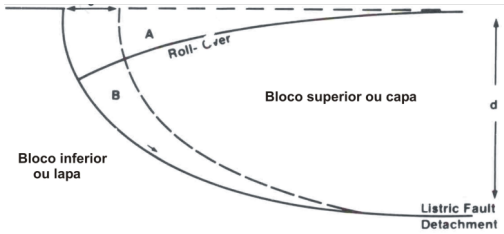
A falha lístrica acomoda a transição para um assoalho não deformado.

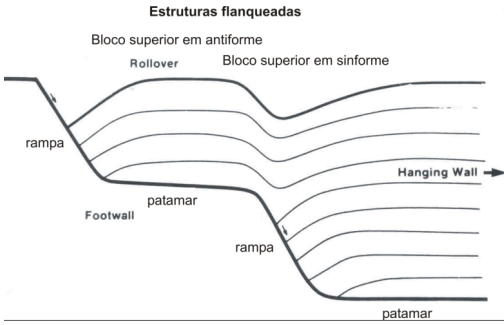
Falha listrica por colapso do *footwall*. As novas falhas formam-se sucessivamente na lapa, colapsando o sistema

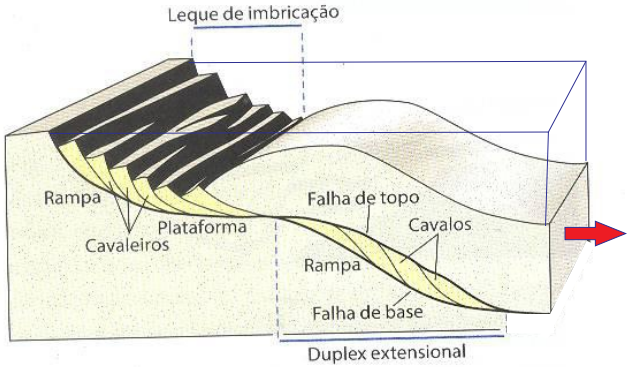


Estruturas antiformais por *roll-over* no bloco superior, controlado pelas rampas e patamares do plano lístrico de falhas normais





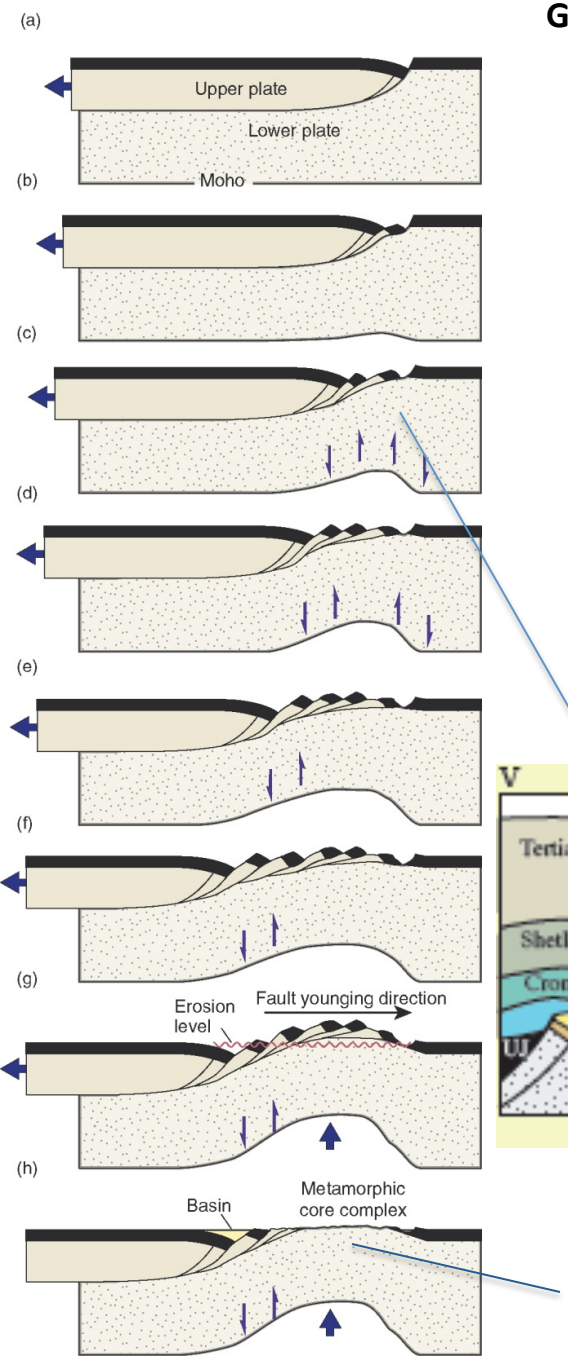




Falhas normais e geometria em rampa-patamar-rampa em um duplex extensional

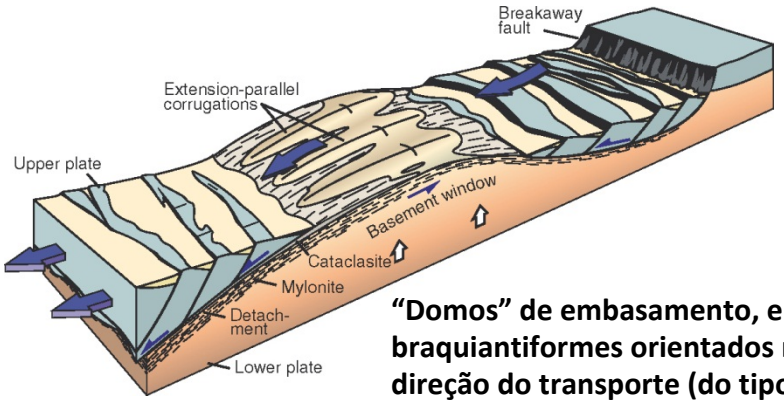
Falhas em regimes de extensão

GRANDES ESTRUTURAS LITOSFÉRICAS EM EXTENSÃO

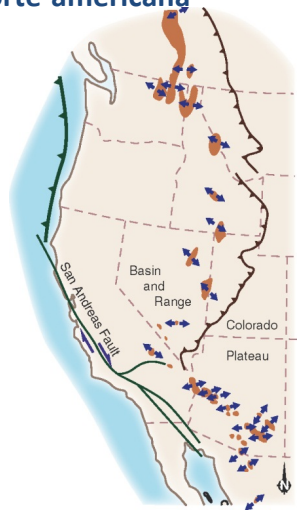


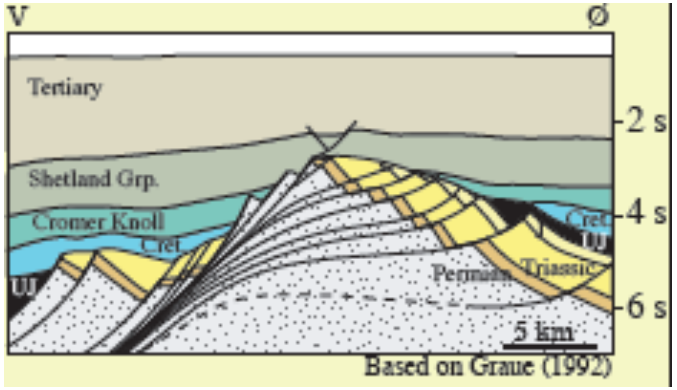
DOMOS GNÁISSICOS (METAMORPHIC CORE COMPLEX)

Província de "Basin and Range" – extensão de retro-arco na Cordillera norte-americana



"Domos" de embasamento, em braquiantiformes orientados na direção do transporte (do tipo-a)





Magnet High no norte do Mar do Norte

Desenvolvimento de ***metamorphic core complex*** por extensão da crosta e compensação isostática. A compensação isostática é acomodada por cisalhamento vertical, enquanto que a abertura e extensão é promovida pela migração dos blocos falhados em um sistema lístrico em dominó.

O modelo admite uma deformação por cisalhamento simples da crosta médio-inferior, adelgaçamento da crosta superior e soerguimento do Moho (limite crosta inferior e manto litosférico), gerando uma anomalia térmica.

Falhas em regimes de extensão

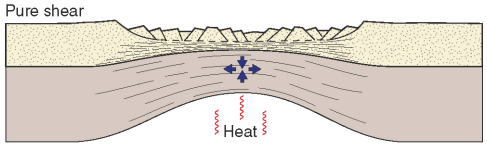
GRANDES ESTRUTURAS LITOSFÉRICAS EM EXTENSÃO

RIFTES CONTINENTAIS E OCEÂNICOS

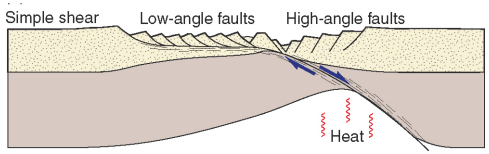
O estiramento crustal responsável pelos grandes domínios de rifte e de ruptura continental tem sido abordado em modelos de cisalhamento puro (McKenzie, 1970), ou de cisalhamento simples (Wenicke, 1980).

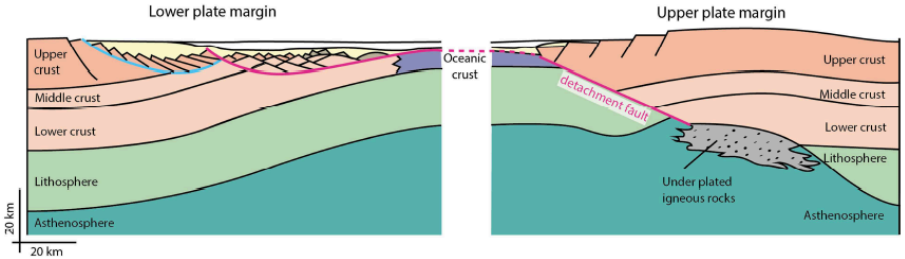
Modelos de extensão litosférica e rifteamento

Falhas individuais promovem um rifte por **cisalhamento puro** com adelgaçamento **simétrico** da crosta superior. A extensão horizontal é balanceada por um adelgaçamento vertical com afinamento plástico da crosta inferior. O maior gradiente de temperatura situa-se no centro da bacia.

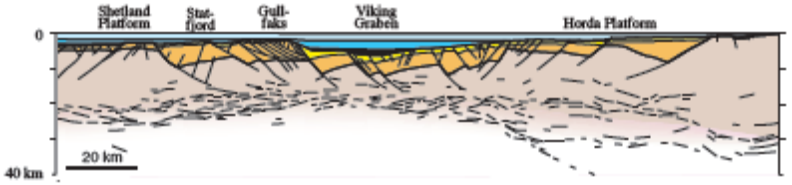


Um rifte **assimétrico** resulta do modelo de **cisalhamento simples** controlado por uma zona de cisalhamento inclinada através da litosfera. A estrutura térmica está deslocada no sentido do mergulho da zona de cisalhamento principal.

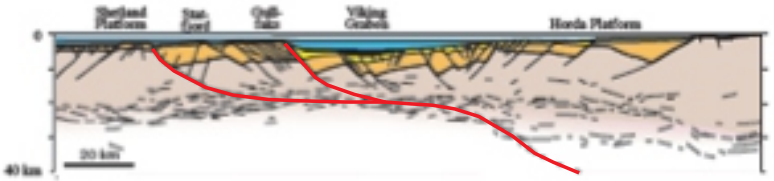


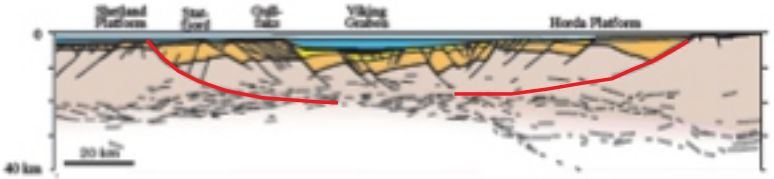


Seção sísmica profunda no norte do Mar do Norte



Interpretação por cisalhamento simples



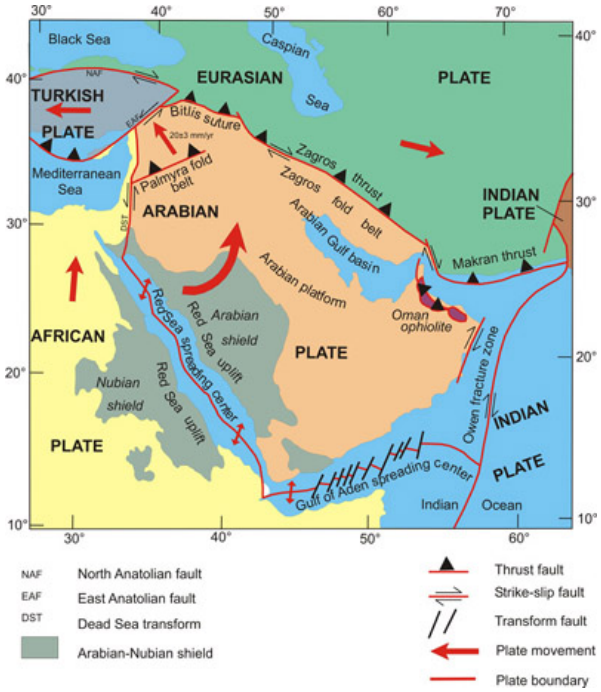


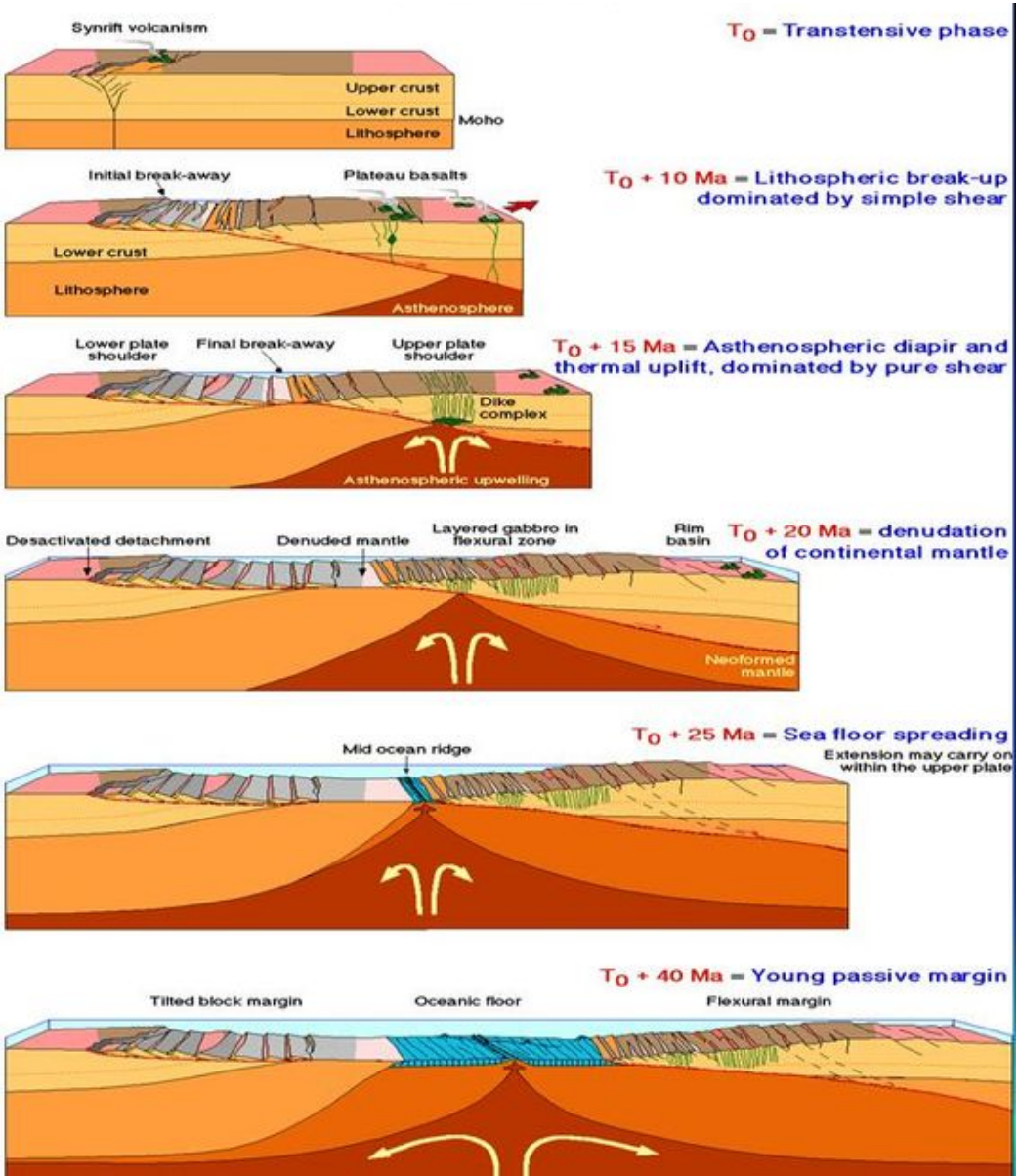
Interpretação por cisalhamento puro

Falhas em regimes de extensão

GRANDES ESTRUTURAS LITOSFÉRICAS EM EXTENSÃO

EVOLUÇÃO GEODINÂMICA DO RIFTE DO MAR VERMELHO





Margens passivas pareadas:

1-vulcânica;

2- não-vulcânica, ou de placa inferior

Falhas em regimes de extensão

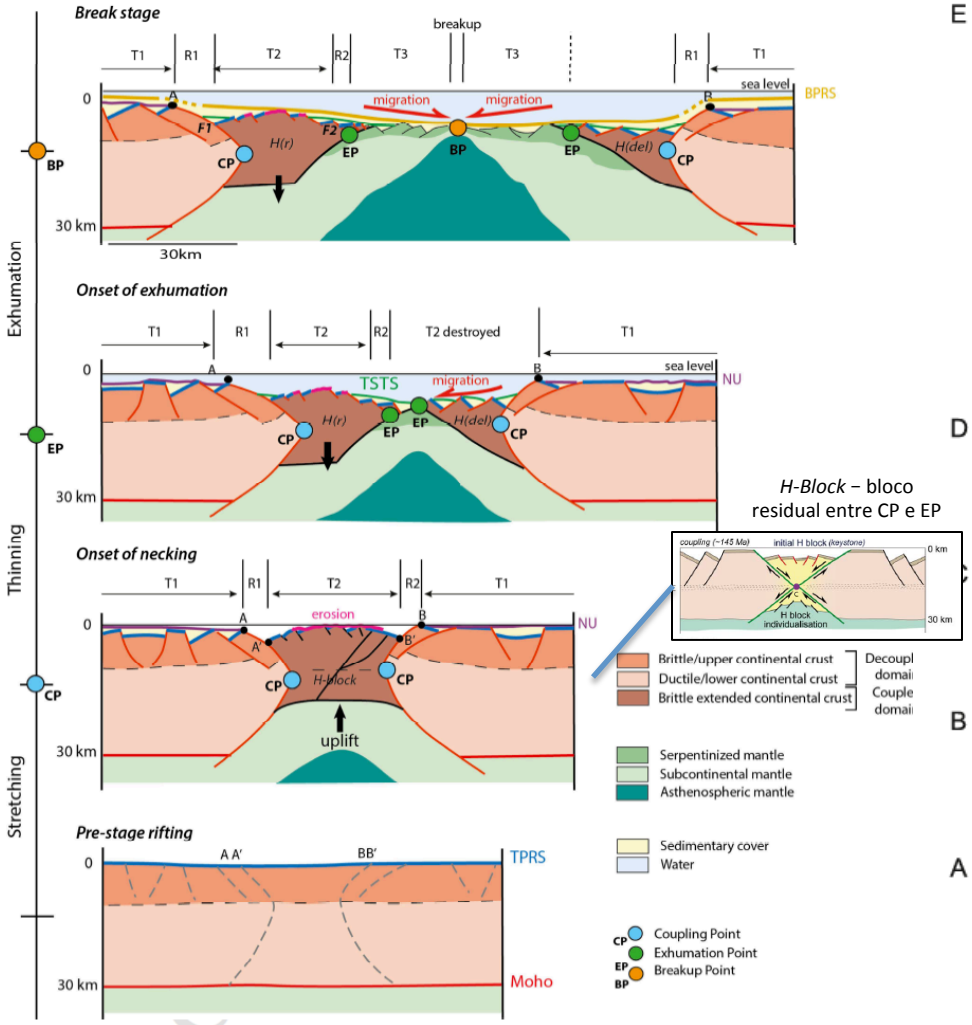
GRANDES ESTRUTURAS LITOSFÉRICAS EM EXTENSÃO

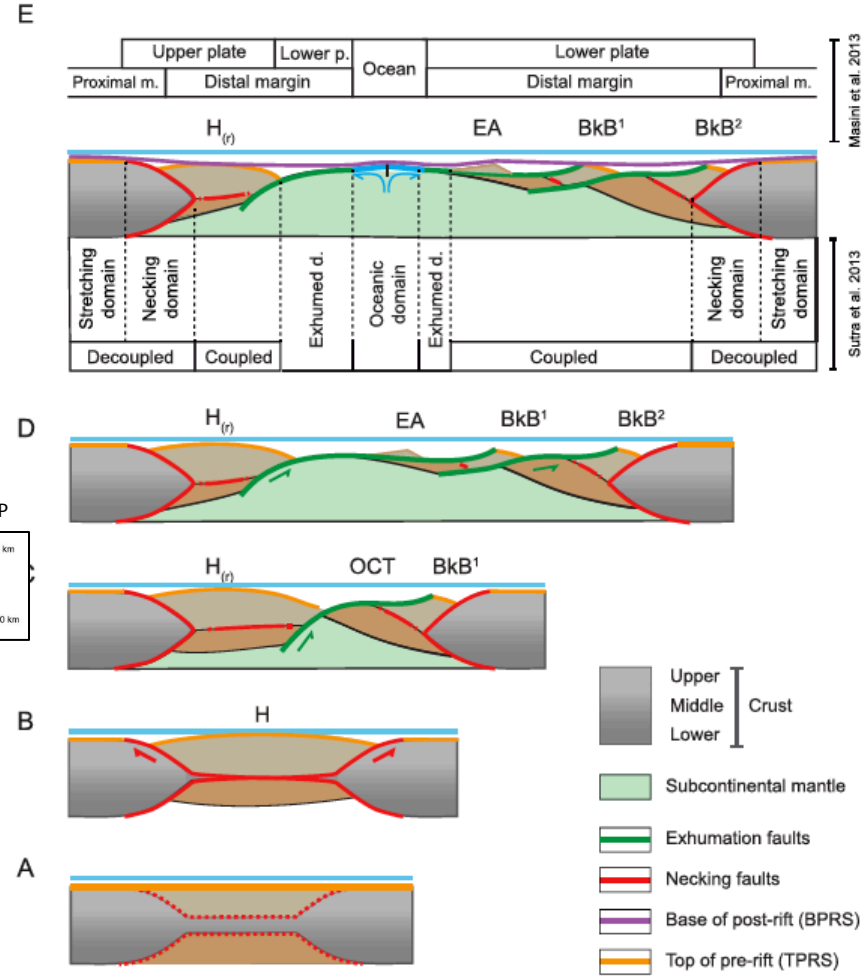
MARGENS CONJUGADAS E NÃO MAGMÁTICAS DE RIFTE

Estágios de evolução de margens conjugadas de rifte simétrico

Sutra et al./GGG 14 (2013)2575-2597
Decarlis et al./MPG 68 (2015) 54-72
Haupert et al./MPG 69 (2016)241-261

Estágios de evolução de margens conjugadas de rifte assimétrico

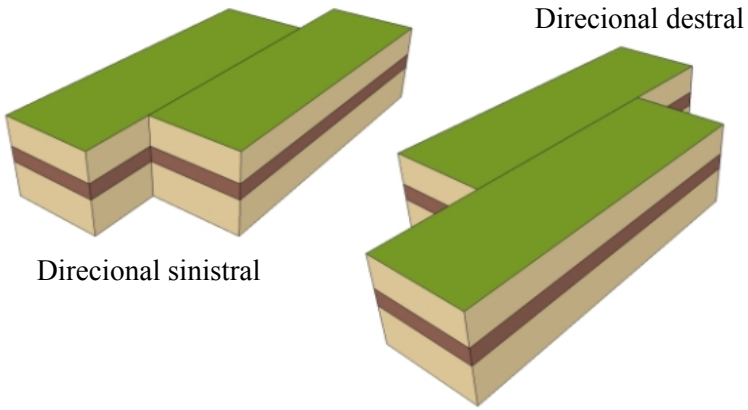


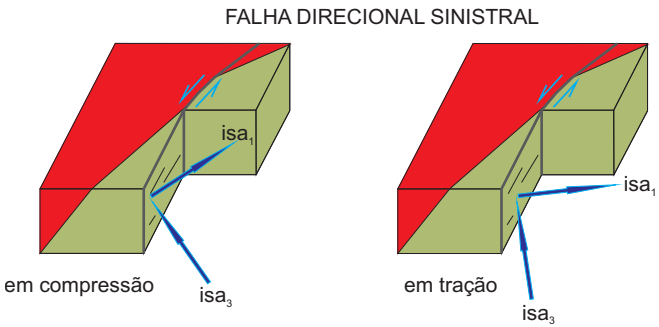


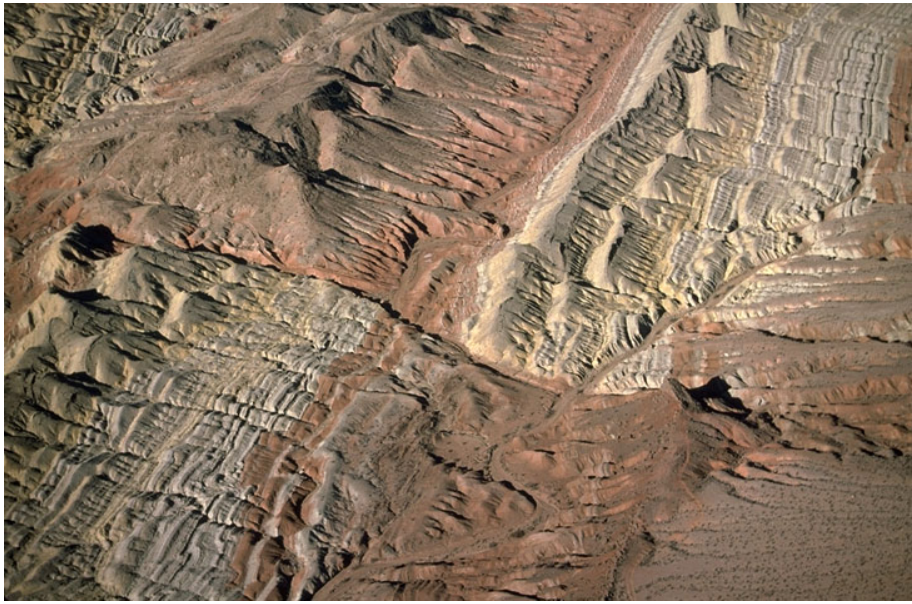
Falhas direcionais – regimes oblíquos de deformação

FALHAS DIRECIONAIS

Falhas direcionais (***strike-slip faults***) são de alto mergulho e com deslocamento paralelo a direção do plano de falha. São estruturas de regimes deformacionais oblíquos, podendo o plano de falha estar em compressão ou em tração, dependendo da orientação do tensor. As falhas direcionais são classificadas quanto ao campo da deformação (transpressivas ou transtrativas) e quanto o sentido de movimento (com movimentação horária, a falha é **direcional-destral** e com movimentação anti-horária é **falha direcional sinistral**).



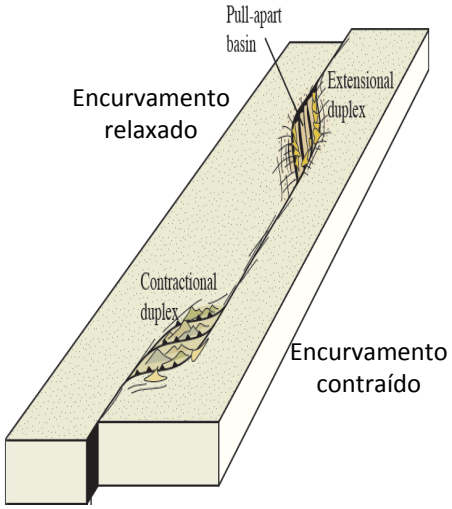




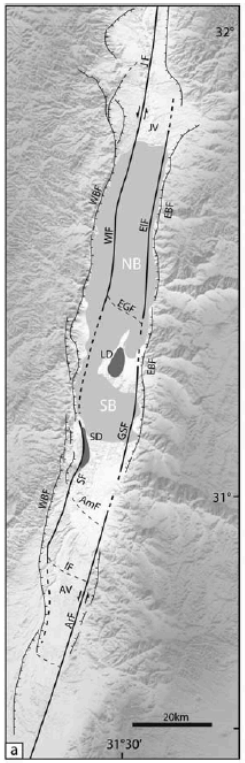
Falhas direcionais – transpressão e transtração

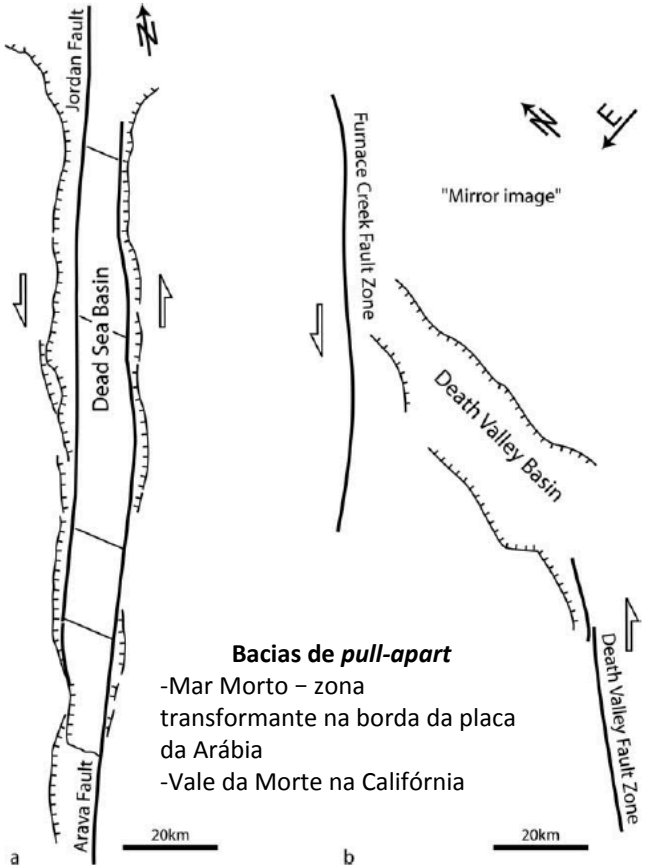
As estruturas rúpteis com vetor de deslocamento paralelo à direção são falhas direcionais (*strike-slip faults*), no geral de alto ângulo e retilíneas em mapas.

Estruturas em **Flor Positiva** e em **Flor Negativa** desenvolvem-se nos domínios de encurvamentos em contração e naqueles em tração (relaxados) de zonas de cisalhamento

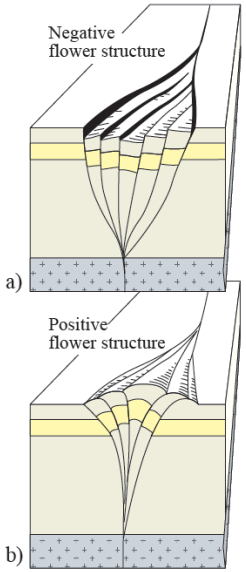


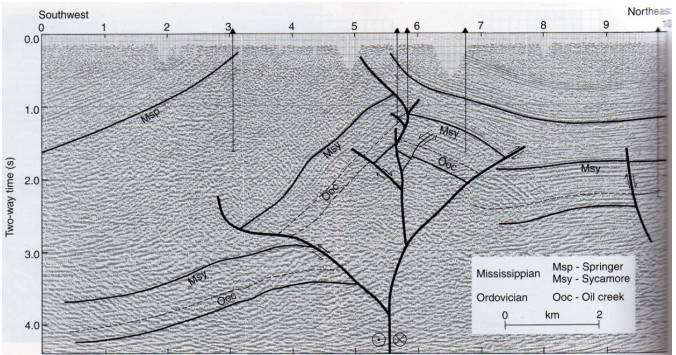
Bacias *pull-apart* em zonas de relaxamento transtrativo





Bacias de *pull-apart*
-Mar Morto – zona transformante na borda da placa da Arábia
-Vale da Morte na Califórnia





Estrutura em flor positiva como *trap* em campo petrolífero do Carbonífero

Falhas direcionais – Rampas e transferências

RAMPAS LATERAIS

São falhas direcionais verticais (ou transcorrentes) que interconectam estruturas em extensão (falhas normais) ou compressivas (falhas inversas ou de empurrão) com o mesmo sentido de mergulho.

FALHAS DE TRANSFERÊNCIA

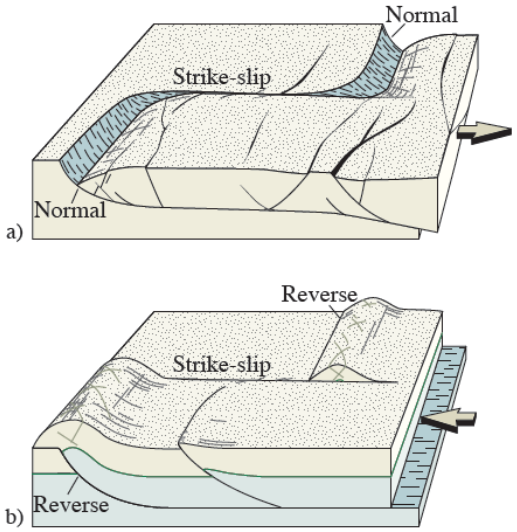
As falhas direcionais verticais (ou transcorrentes) podem resultar da transferência do deslocamento entre duas falhas sob regime em extensão ou contração.
Hemigrabens de polaridades opostas e conectados por uma falha de transferência.
O rejeito é aparente e oposto ao movimento na zona de transferência.

FALHAS TRANSFORMANTE

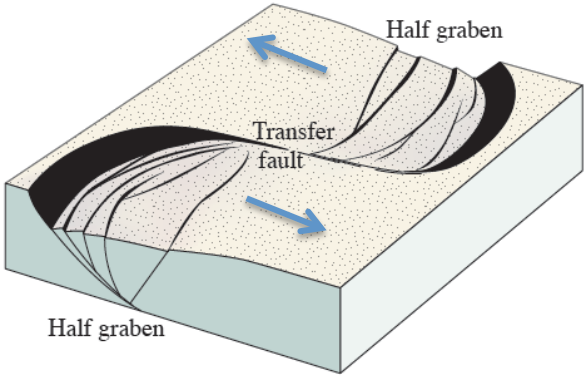
Limite vertical de placas tectônicas.

Deslocamento proporcional à taxa de espalhamento oceânico

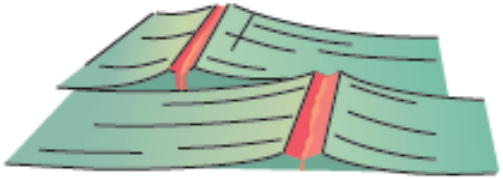
Rampas laterais destrais

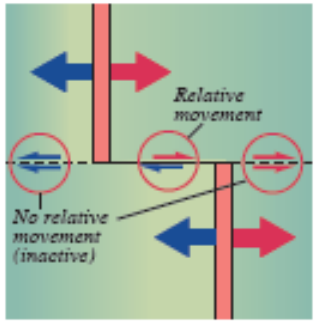


Falha de transferência sinistral



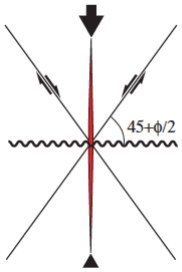
Falha transformante





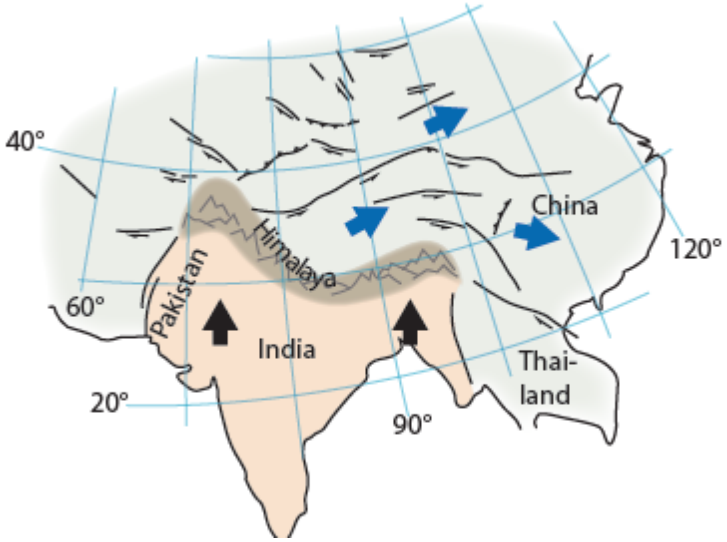
Falhas direcionais – colisão continental e escape lateral

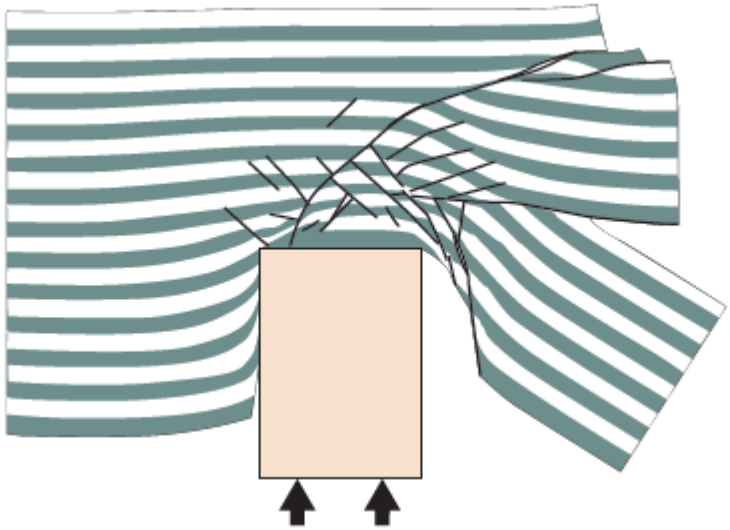
Falhas direcionais conjugadas desenvolvidas em um regime deformacional por cisalhamento puro

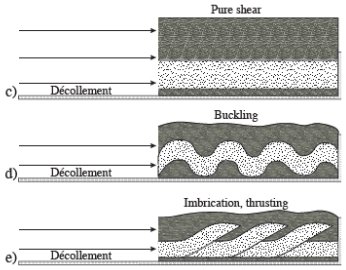


Um sistema conjugado de falhas transcorrentes promove o escape lateral da placa asiática face a colisão da placa da Índia.
Placa da Índia mais rígida e fria que a placa asiática

Experimento de Tapponnier et al. (1986) análogo à extrusão lateral por edentação continental quando da colisão himalaiana







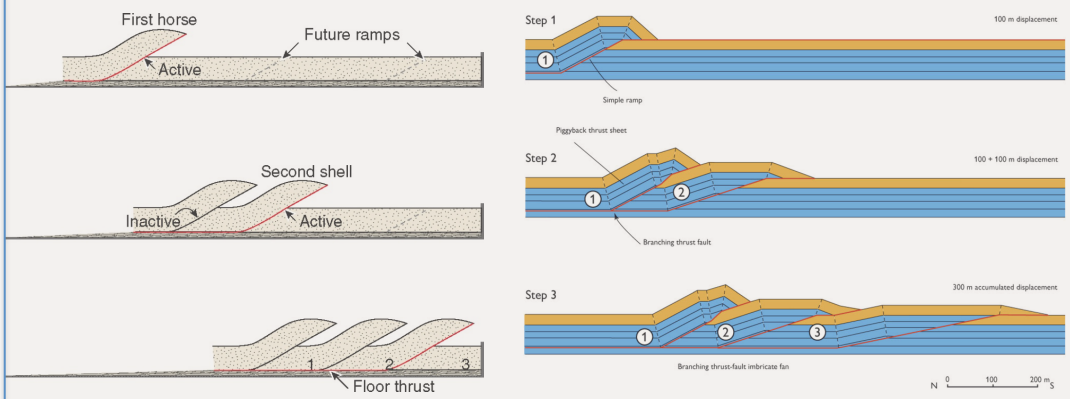
Falhas em regimes de compressão

As falhas contracionais são estruturas rúpteis que produzem um encurtamento da crosta ou de uma camada de referência.

CAVALGAMENTO

Uma falha contracional de baixo ângulo de mergulho, cuja capa (*hanging wall*) é transportada sobre a lapa (*footwall*) é dita **falha de cavalgamento**. Falhas de cavalgamento colocam rochas mais antigas sobre mais jovens, duplicando a pilha estratigráfica. Podem inverter o gradiente metamórfico sobrepondo rochas mais quentes sobre rochas de menor grau metamórfico. Deslocam-se em direção ao antepaís (*foreland*).

O cavalgamento é a estrutura rúptil que separa o substrato autóctone em relação ao pacote alóctone superior, a **nappe de cavalgamento.**

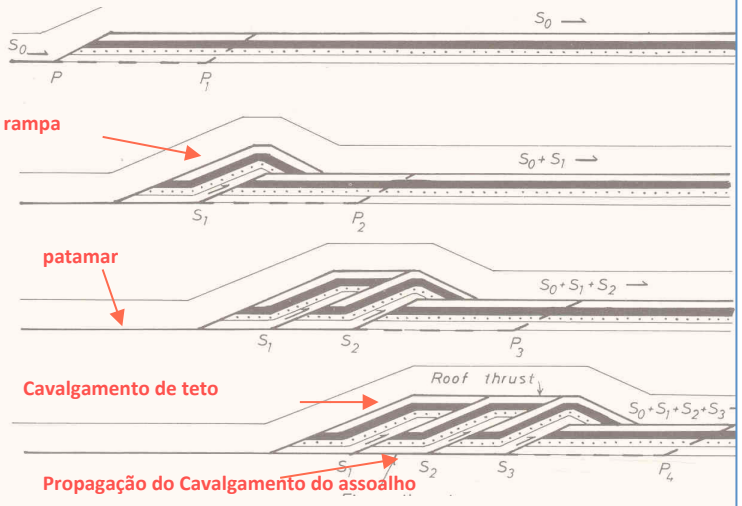


A propagação das falhas contracionais pode se dar em um padrão **imbricado**, caracterizado por uma sequência de falhas inversas conectadas por uma falha mestra de baixo ângulo. A propagação normal dos imbricados (*horses*) é no sentido do transporte – mais jovens quanto mais frontais.

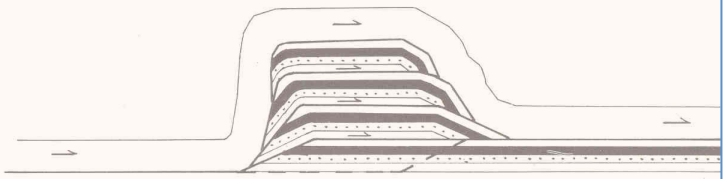
Caso contrário o cavalgamento é tido fora-de-sequência.

Quando o sistema de cavalgamentos admite, para além de uma falha mestra basal, outra de topo, o sistema é denominado de **cavalgamento em duplex**.

Duplex mergulhando para o além-país (*hinterland*)

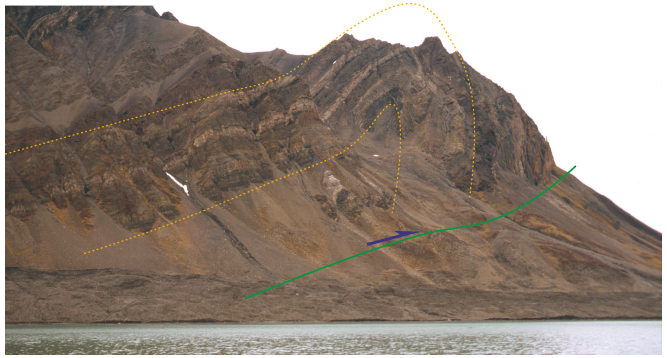


Pilha imbricada de antiforme

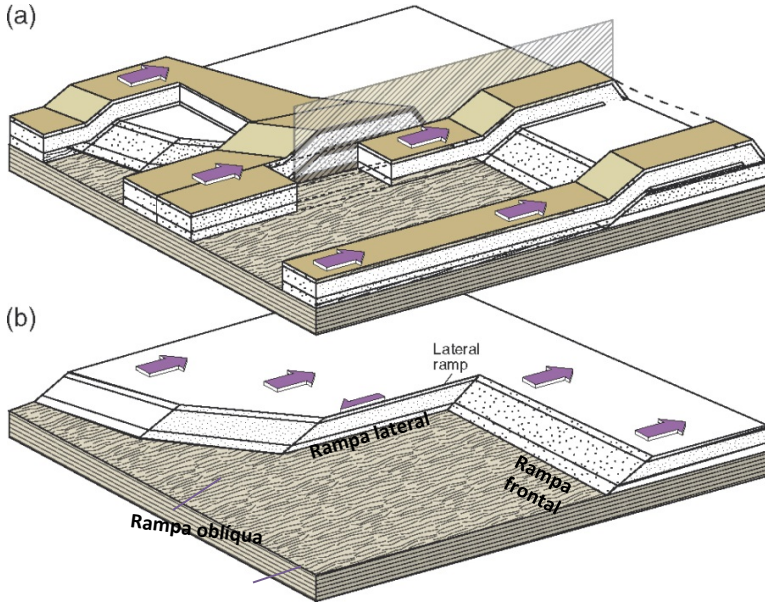


Falhas em regimes de compressão

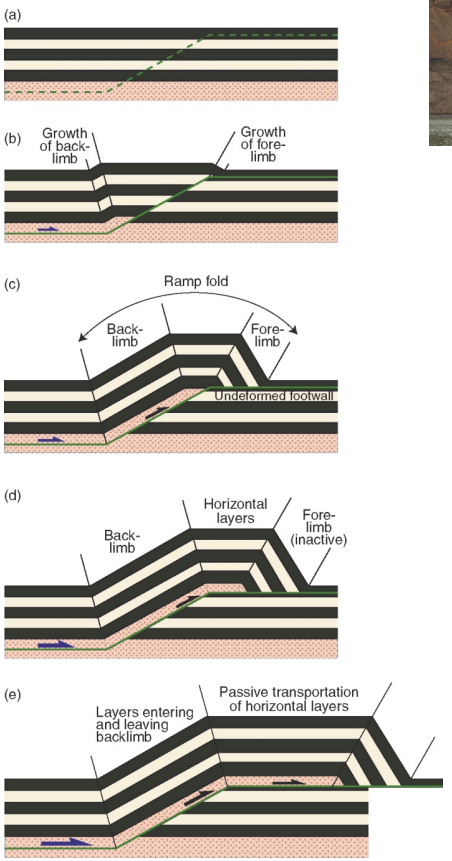
Dobras antiformais de rampa, dobras de propagação de falha em um sistema contracional em rampas e patamares



Rampa lateral

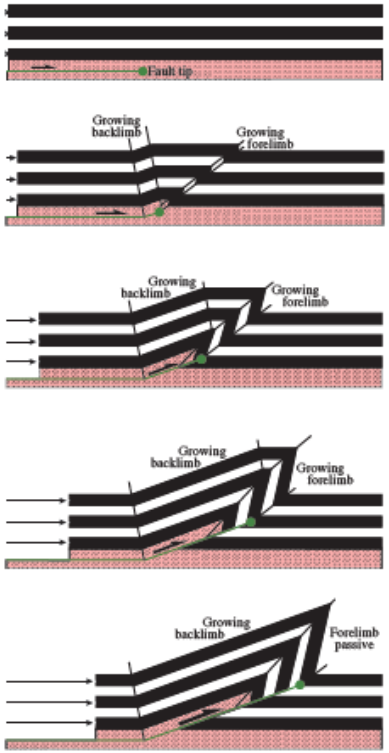


Antiforme de rampa



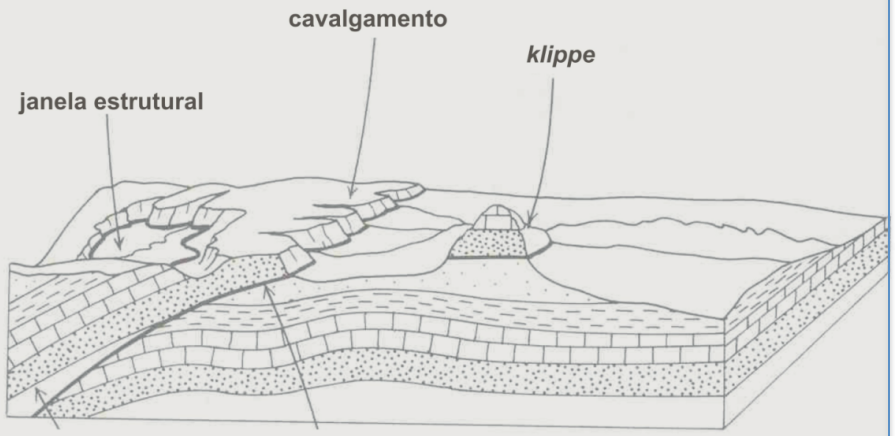
O flanco posterior da dobra **antiformal de rampa** está controlado pelo mergulho da rampa e pela propagação da falha no patamar.

Dobra de propagação de falha



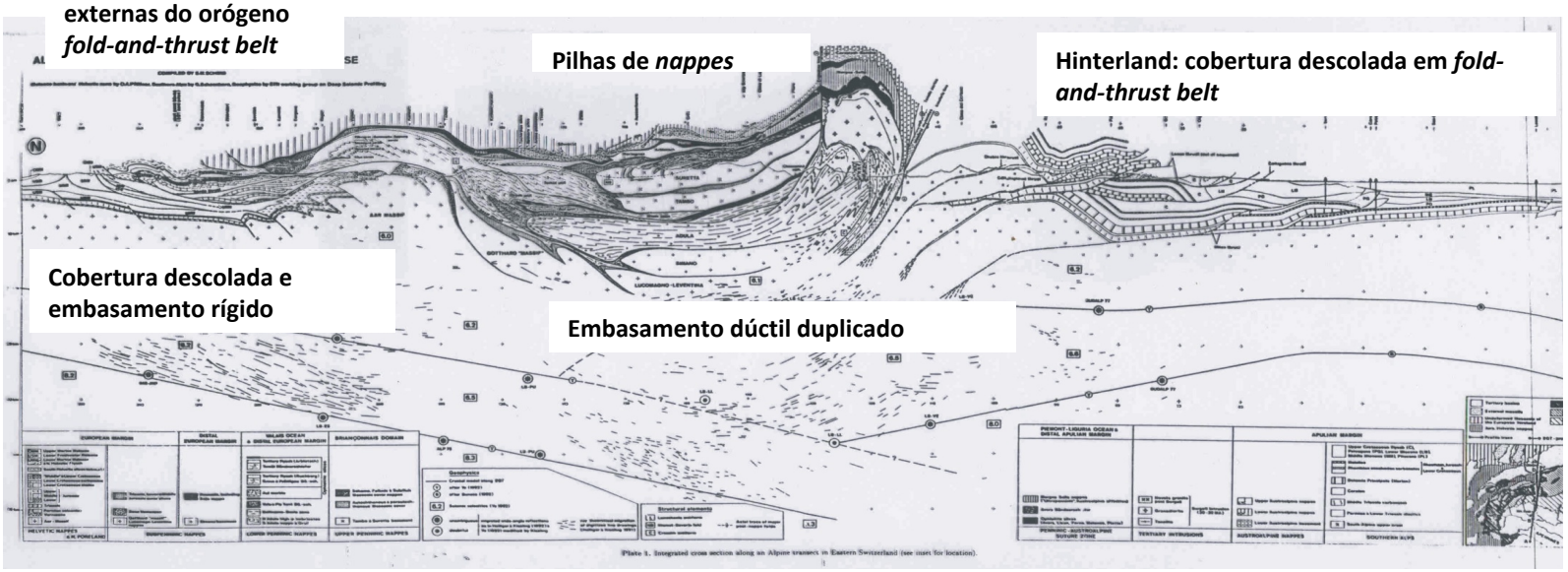
sem patamar frontal

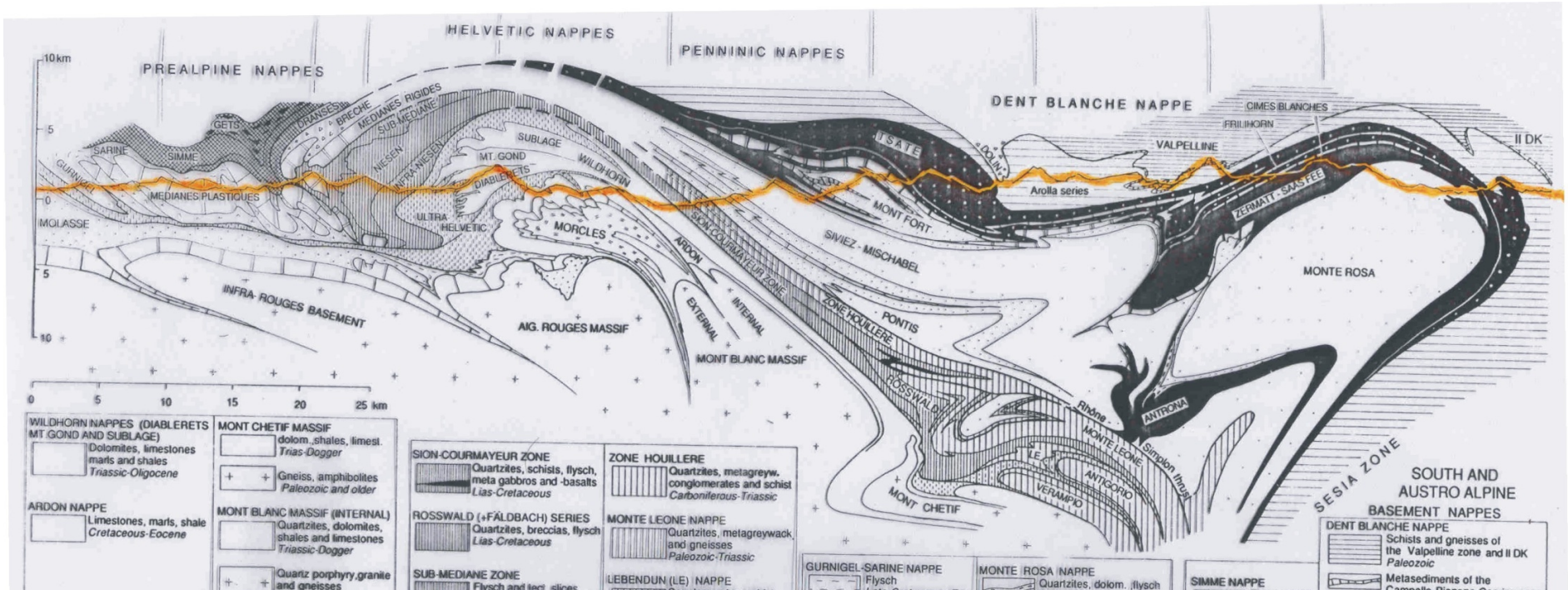
A frente de uma nappe de cavalgamento isolada pela erosão é denominada de **Klippe (klippen)** A **janela estrutural** (***fenster***) é o substrato da nappe exposto por erosão



Falhas em regimes de compressão

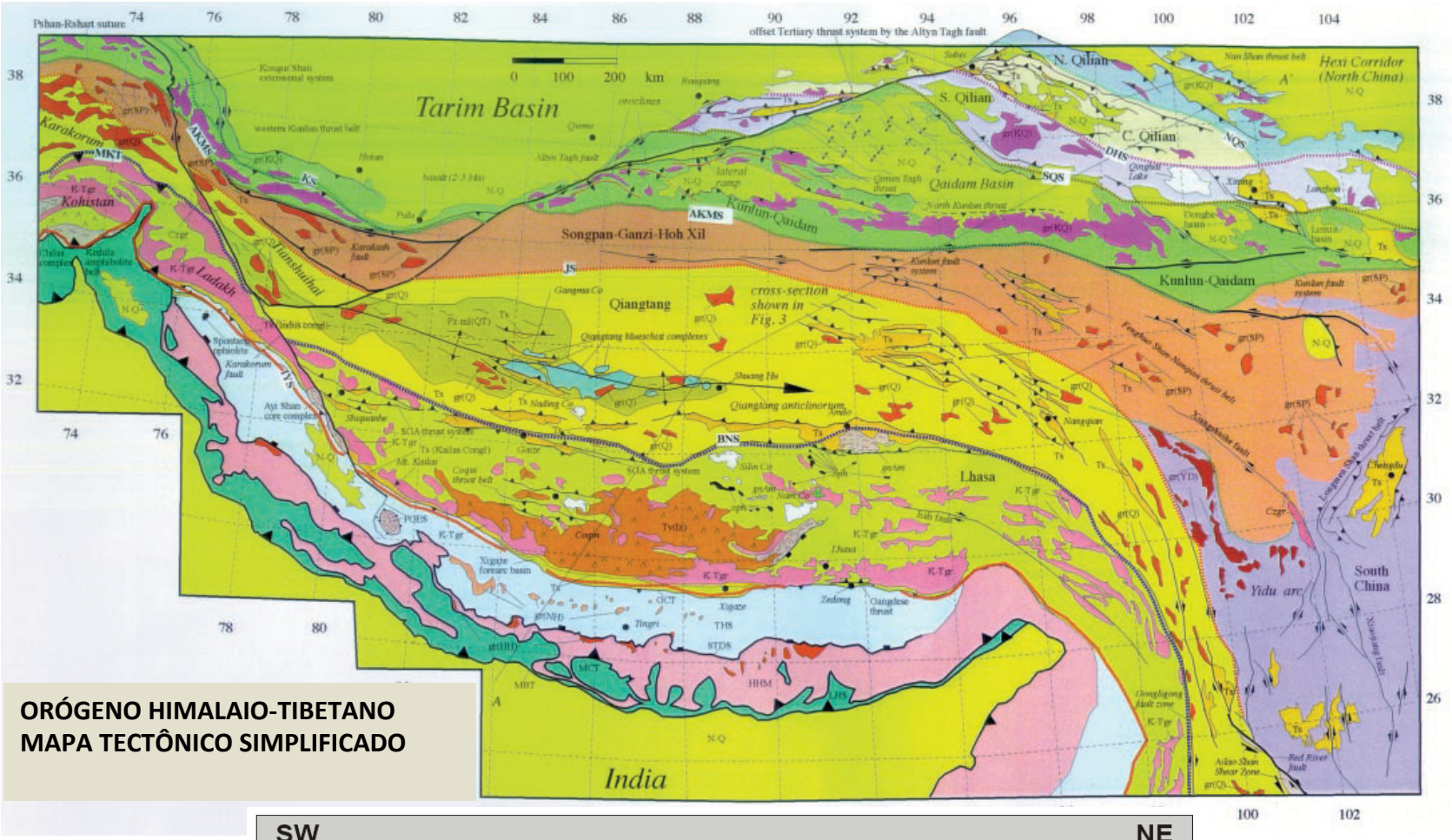
Sistema de Nappes Alpinas



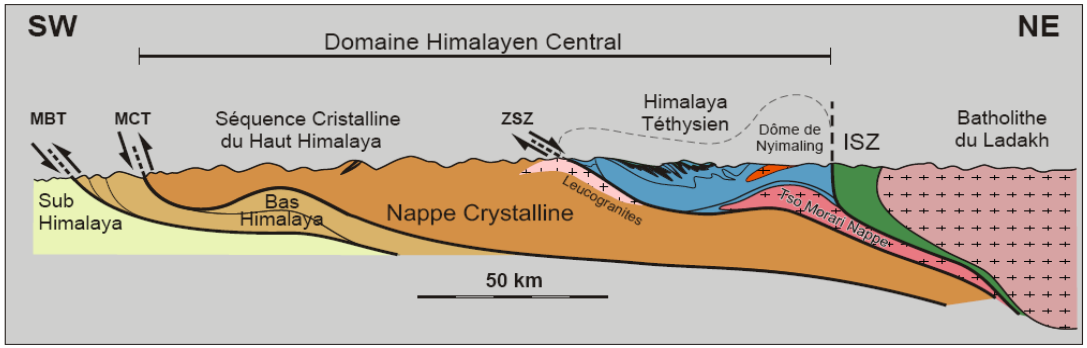


Falhas em regimes de compressão

Orógeno de Colisão Himalaiano e Sistema de Nappes



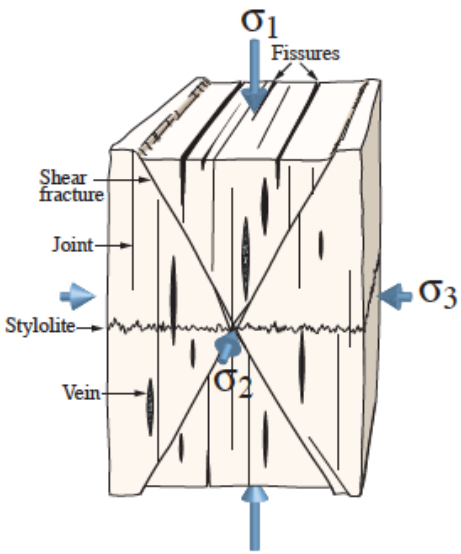
ORÓGENO HIMALAIO-TIBETANO
MAPA TECTÔNICO SIMPLIFICADO



Yin & Harrison / *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 28 (2000) 211-280

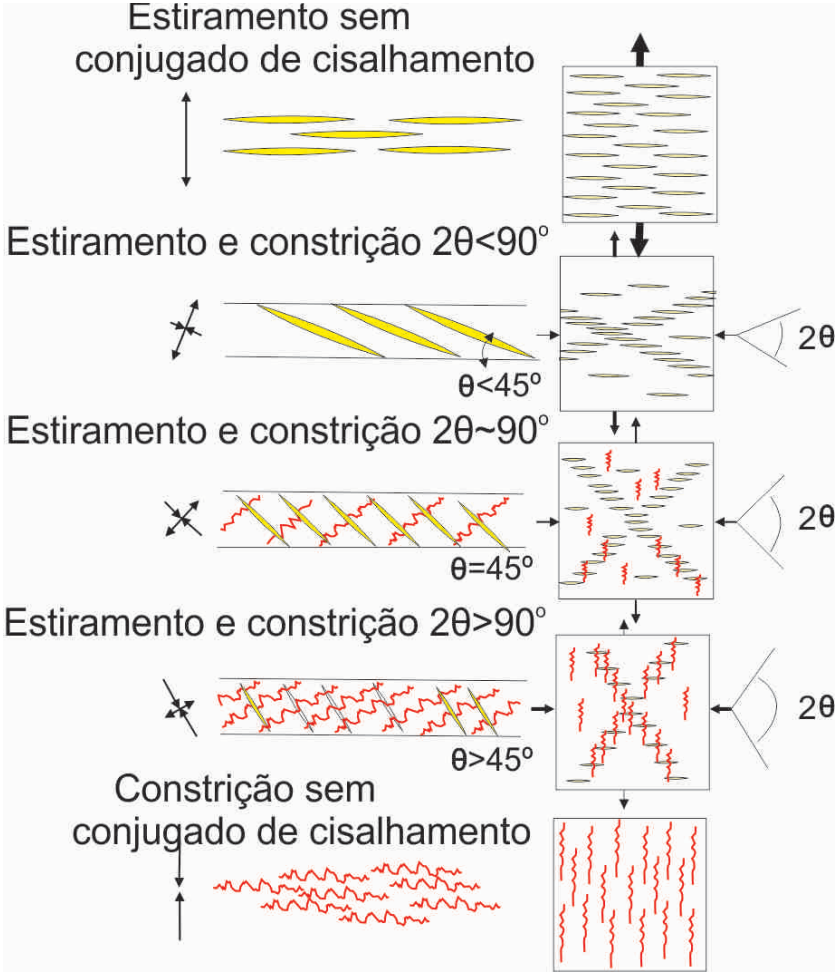
Falhas – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

FENDAS DE TRAÇÃO E VEIOS ESCALONADOS (EN ÉCHELON)



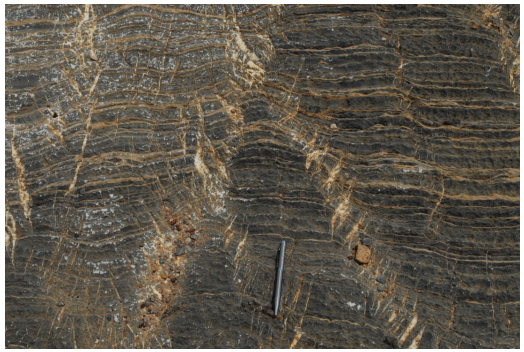
(Fossen, 2010)

Distribuição, geometria e transição, na crosta superior, das fendas de tração (veios *en-échelon*) e dos planos de dissolução por pressão (estilolitos).



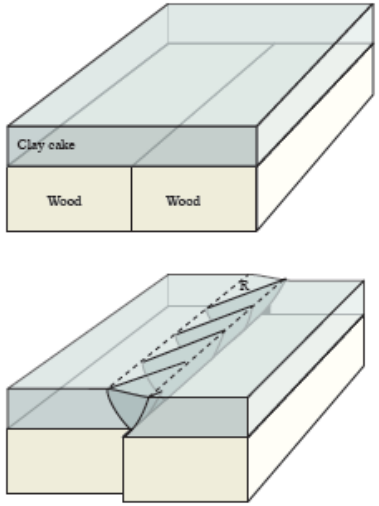
(Ramsay, in Moutain Building Processes, Academic Press, Cap. 1-9,111-127, 1982)

Fraturas, deslocamentos e planos de dissolução relacionados ao campo de esforços em crosta superior.



Falhas – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

CINEMÁTICA RIEDEL



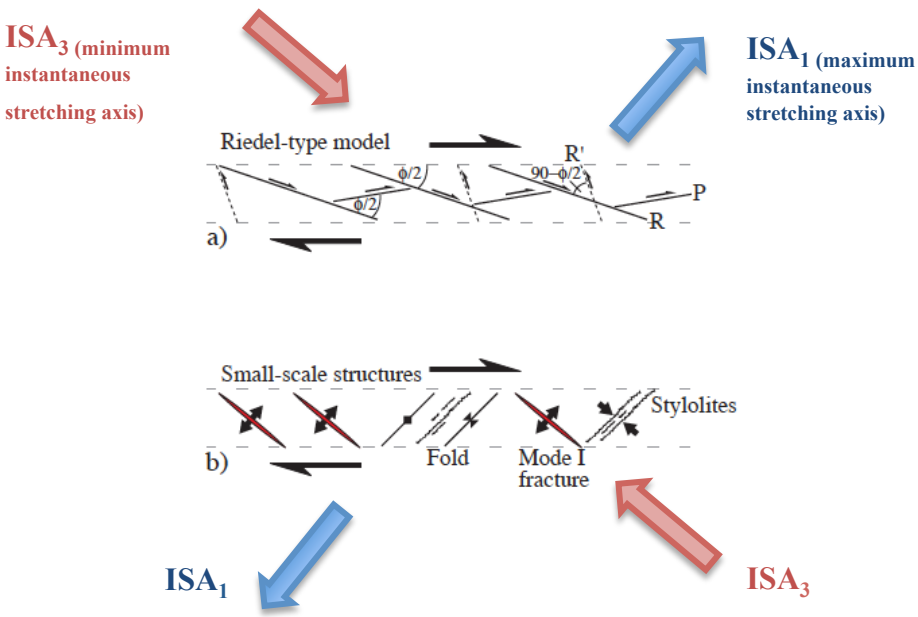
Experimento de Riedel, início do século 20

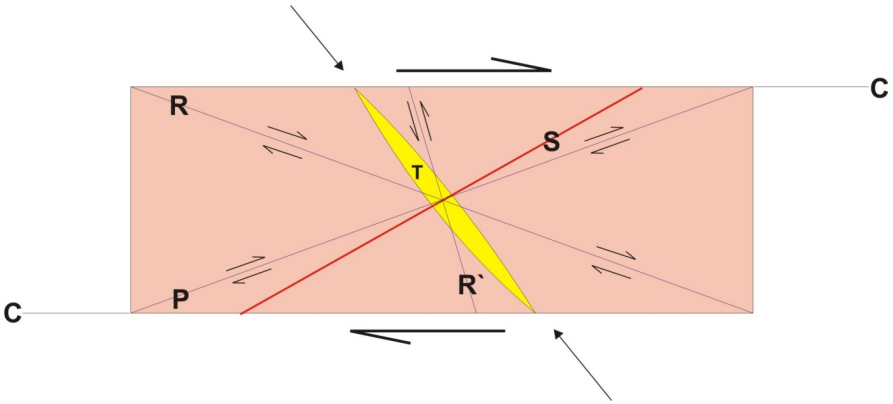
Experimentos em argila por deslizamento lateral de blocos de madeira (destral no exemplo) mostram o desenvolvimento de uma zona de deformação definida por um conjunto de fraturas de cisalhamento (***Riedel shear fractures*** - **R**), orientadas em um baixo ângulo com as paredes da zona deformada (cisalhamento). Com o acúmulo do deslocamento desenvolve-se um outro conjunto de fraturas de cisalhamento (**P**), também de baixo ângulo com as paredes da zona de cisalhamento.

As fraturas de cisalhamento R e P são **sintéticas** ao movimento da zona de cisalhamento (deslocam-se no mesmo sentido).

Um terceiro conjunto de fraturas de cisalhamento, menos desenvolvido que as fraturas-R, forma um alto ângulo com as paredes da zona de cisalhamento e possui um deslocamento antitético (sentido contrário à zona de cisalhamento). São as **fraturas de cisalhamento-R' (anti-Riedel).**

Além das fraturas **R, R' e P**, um conjunto de **fraturas de tração**, no geral preenchidas por fases minerais fibrosas, **fraturas-T**, pode se desenvolver perpendicular ao eixo de elongação instantânea máxima da deformação-**ISA_1**, ou seja são fraturas abertas e paralelas ao eixo de elongação instantânea mínima-**ISA_3** (direção de maior encurtamento)

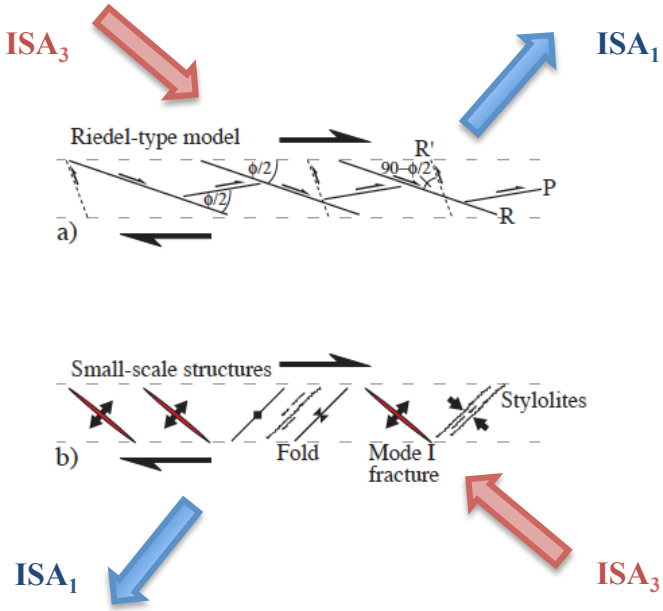




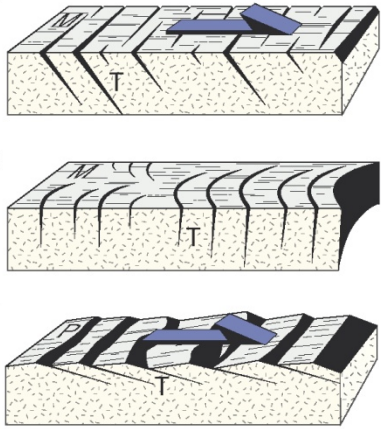
Falhas – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

CINEMÁTICA RIEDEL

Principais critérios cinemáticos controlados pela ativação de fraturas de cisalhamento e fraturas-T do esquema de Riedel

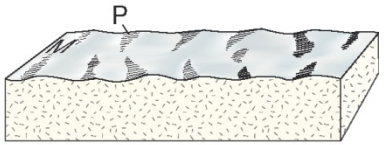


CRITÉRIO T - sentido de deslocamento controlado pela orientação da fenda de tração em relação ao plano de movimento

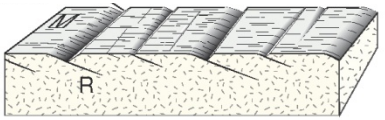


Linha de intersecção curva (forma crescente) – deslocamento no sentido da concavidade

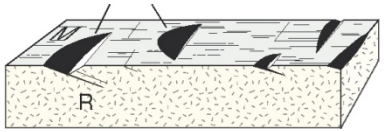
CRITÉRIO FRATURAS DE CISALHAMENTO - sentido de transporte controlado pelo deslocamento das microfraturas de Riedel e pela rugosidade no plano de movimento M.



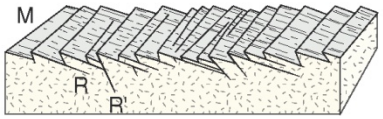
P em M - microfalhas de cavalgamento e rugosidade positiva – **liso no sentido contrário ao movimento.**



R em M - microfalhas normais e rugosidade negativa – **liso no sentido do movimento.**



R em M – linha de intersecção curva em lua crescente – **deslocamento no sentido da concavidade.**



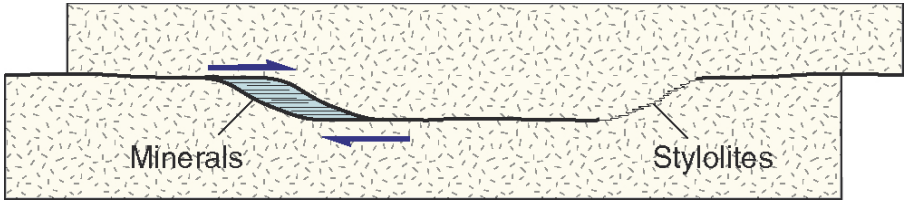
R' em M - microfalhas inversas e rugosidade positiva – **liso no sentido contrário ao movimento.**

Petit, J. Structural Geology, v. 9, 597-608, 1987

Falhas – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

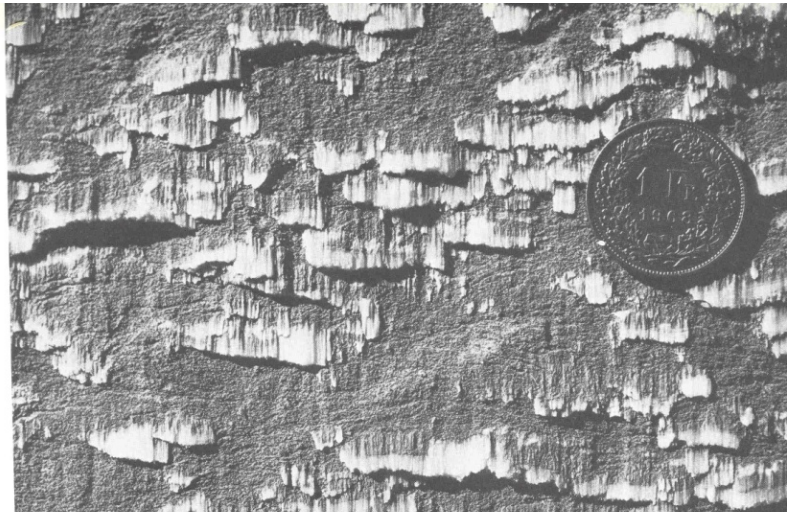
RECRISTALIZAÇÕES FIBROSAS E CINEMÁTICA

Irregularidades ao longo do plano de falha podem criar degraus de relaxamento que favorecem o crescimento de fases minerais solúveis ou degraus de encurtamento que favorecem estruturas de dissolução por pressão.

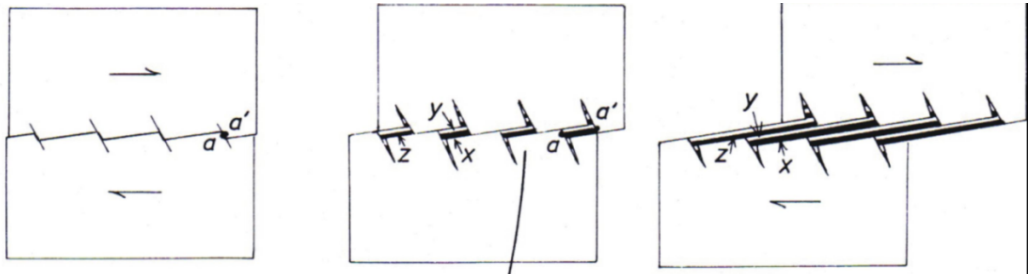


As descontinuidades escalonadas, ou encurvamentos em degraus sintéticos no plano de cisalhamento favorecem o desenvolvimento de s*lickensides* com fibras minerais como quartzo, calcita.

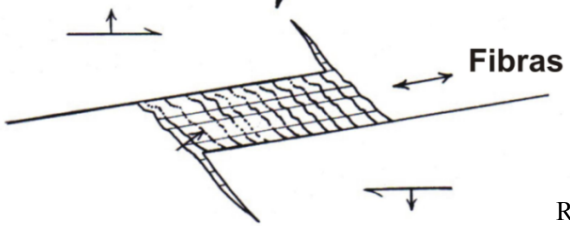
Degraus antitéticos favorecem o desenvolvimento de estilolitos por dissolução por pressão.



Plano de falha com *slickensides* por degraus de calcita fibrosa (topo para baixo).



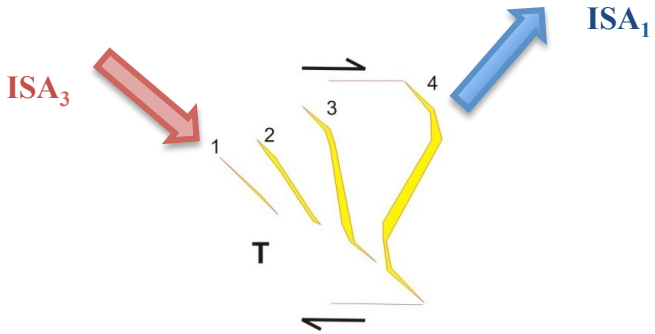
Esquema inicialmente controlado pelas irregularidades do plano de cisalhamento devido a deslocamentos escalonados por fraturas-T



Ramsay & Huber, 1993

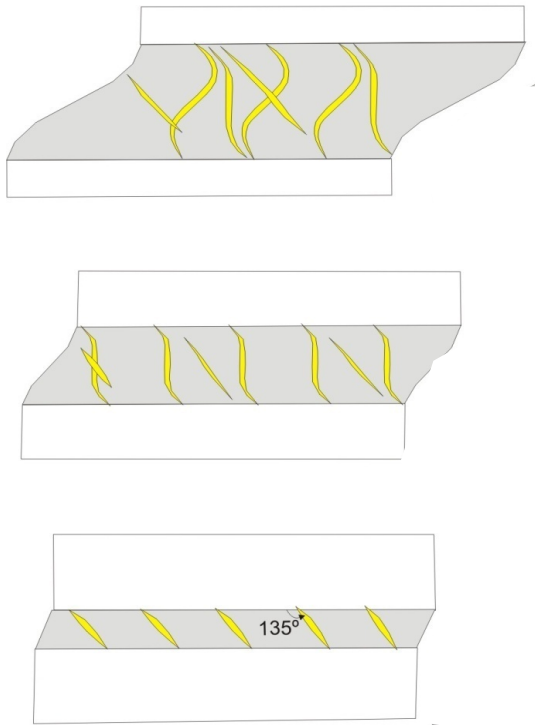
Falhas– critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

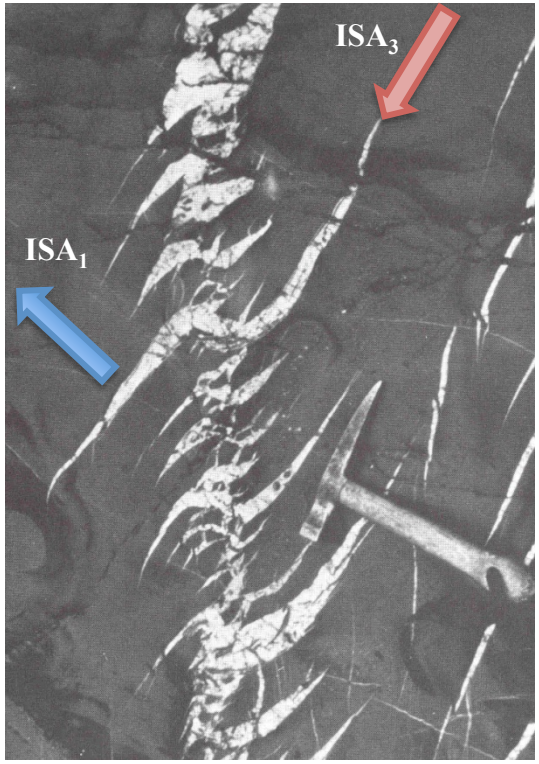
RECRISTALIZAÇÕES FIBROSAS E CINEMÁTICA-T



Fendas (ou veios) de tração escalonadas (*en-echelon veins*) Forma sigmoidal devido a progressão da deformação e espessamento da zona de cisalhamento.

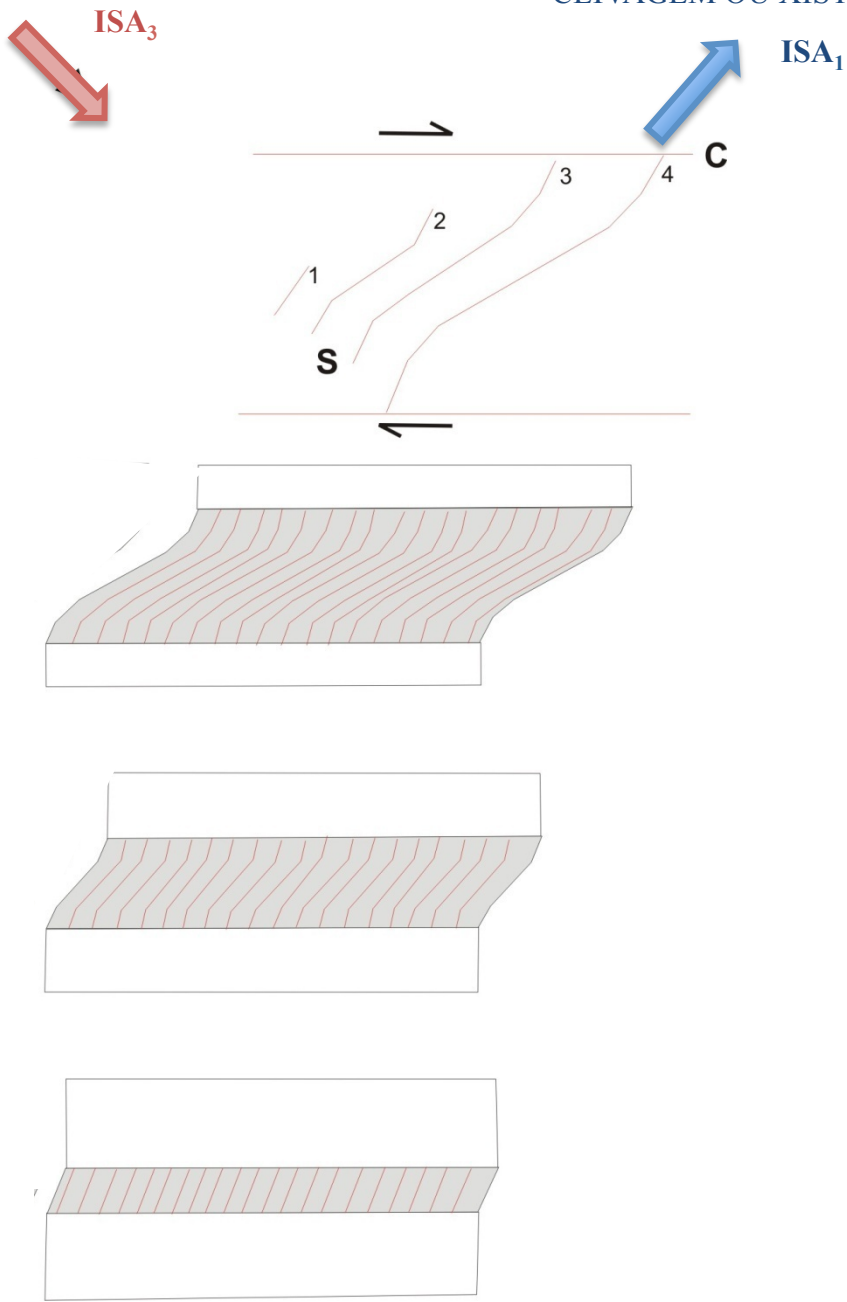
ROTAÇÃO HORÁRIA DA FENDA





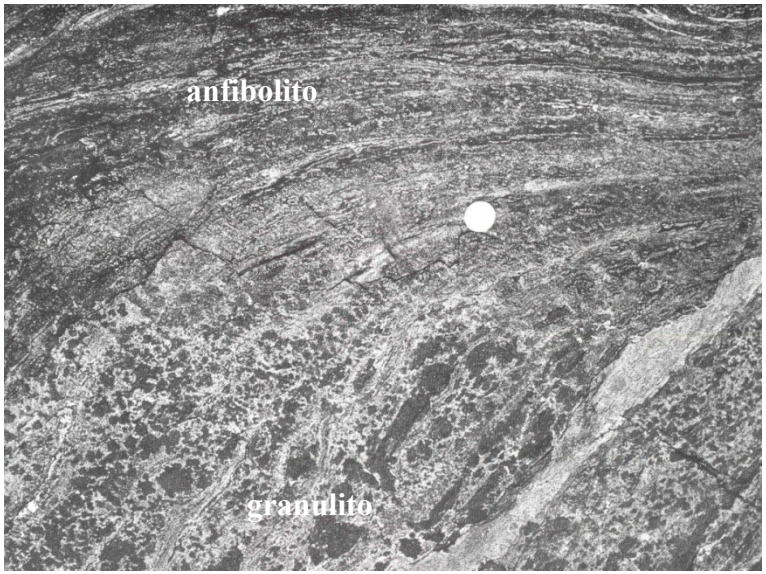
Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

CLIVAGEM OU XISTOSIDADE – CINEMÁTICA-S



MILONITOS-S COM TRANSPORTE HORÁRIO

Zona de cisalhamento retrometamórfica.

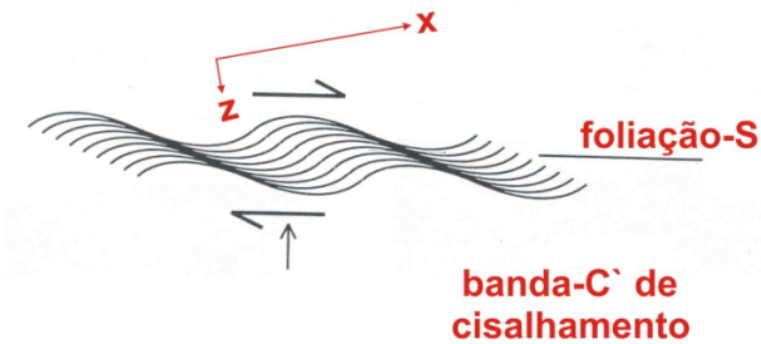


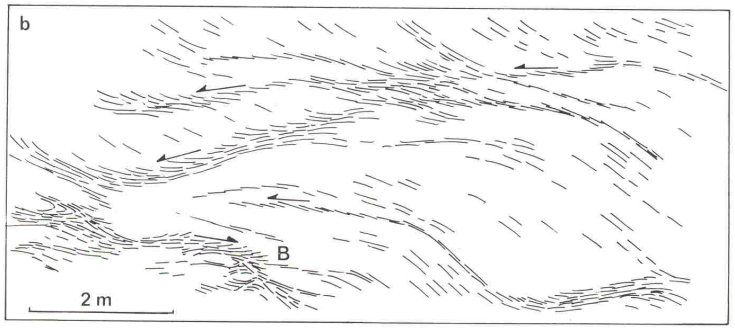
Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

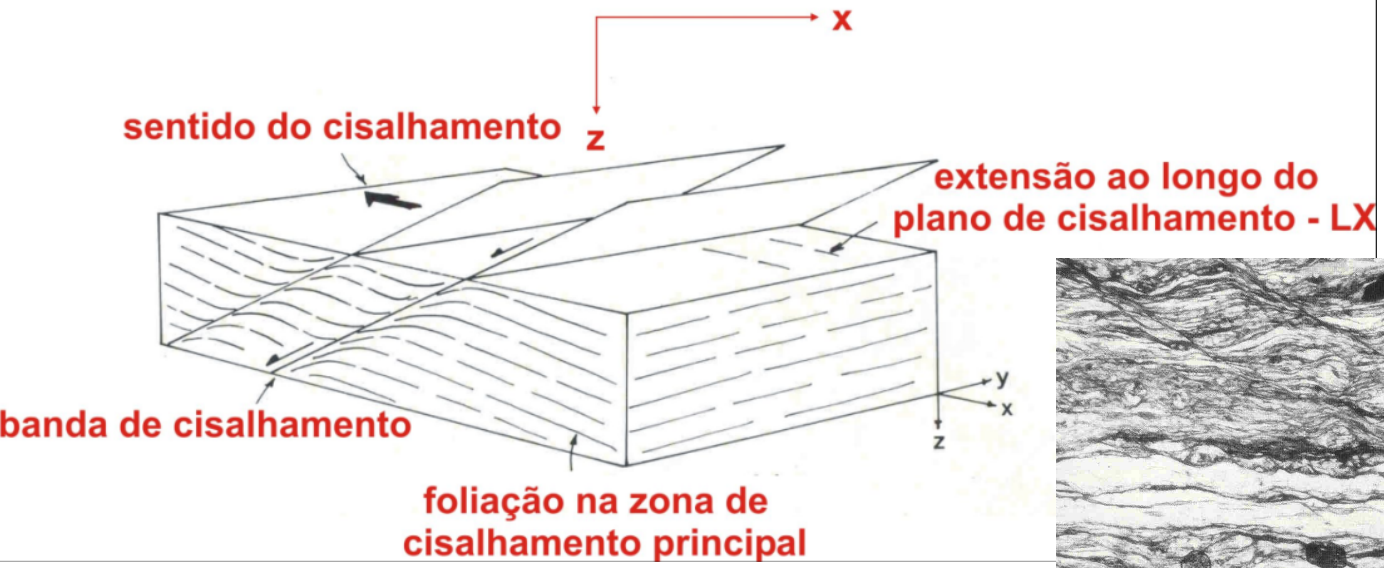
CLIVAGEM OU XISTOSIDADE – CINEMÁTICA-S

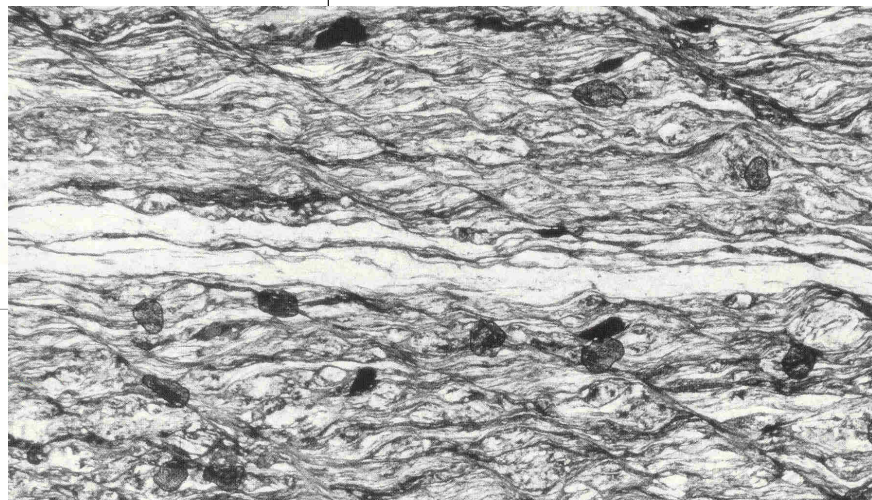
BANDAS ASSIMÉTRICAS ESCALONADAS E EXTENSIONAIS DE CISALHAMENTO (C`)

movimento na banda-c` é sintético ao sentido de cisalhamento principal









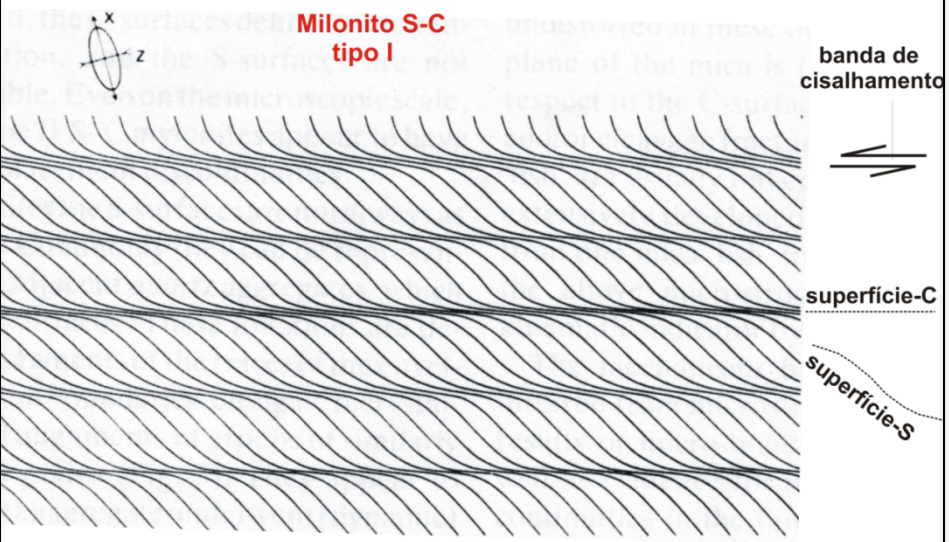
Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

S-C MILONITOS

Lister and Snoke/J. Structural Geol 6 (1984) 617-638

Milonitos S-C tipo1

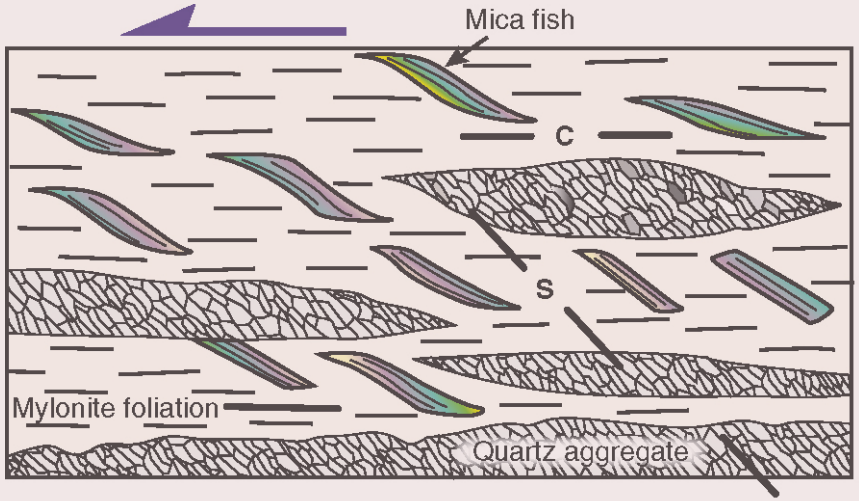
As superfícies-S são evidentes e predominantes na escala mesoscópica. Tornam-se anastomosadas nas faixas de intensa deformação, quando definem as superfícies-C.



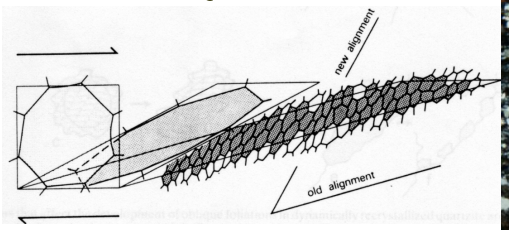
Milonito S-C do tipo 1 – faixas estreitas de deformação não-coaxial

Milonitos S-C tipo2

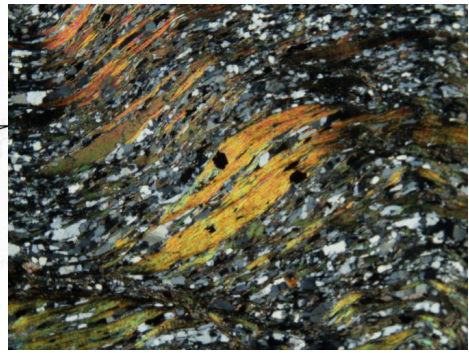
São característicos de micaxistos e quartzitos onde as superfícies-C definem a foliação dominante e as superfícies – S encontram-se subordinadas e em minerais recristalizados – peixes de mica (*mica fish*), ou em lentes de quartzo dinamicamente recristalizadas.



Seqüência de deformação e recristalização dinâmica de um grão de quartzo.



Mica fisch



Milonitos S-C do tipo 2 – intenso fluxo laminar não-coaxial e recristalização

Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

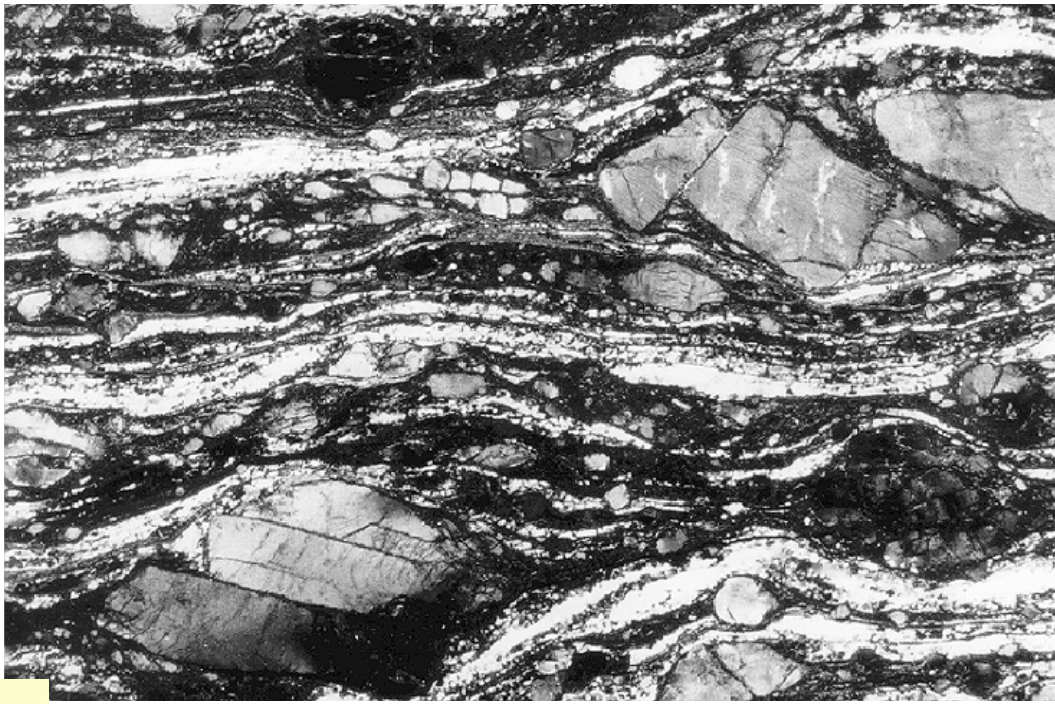
PORFIROCLASTOS FRAGMENTADOS

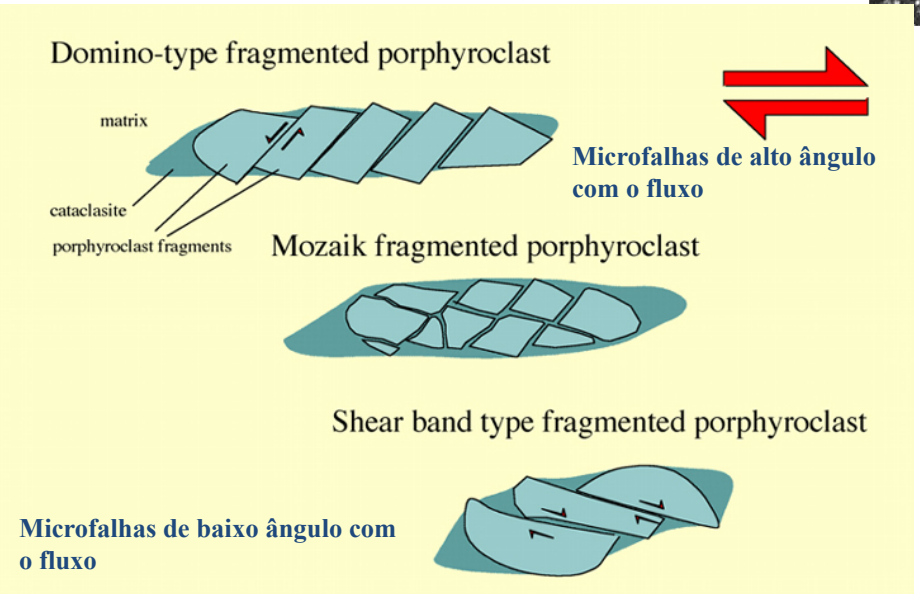
Porfiroclastos alongados e rígidos podem ser separados em agregados de fragmentos.

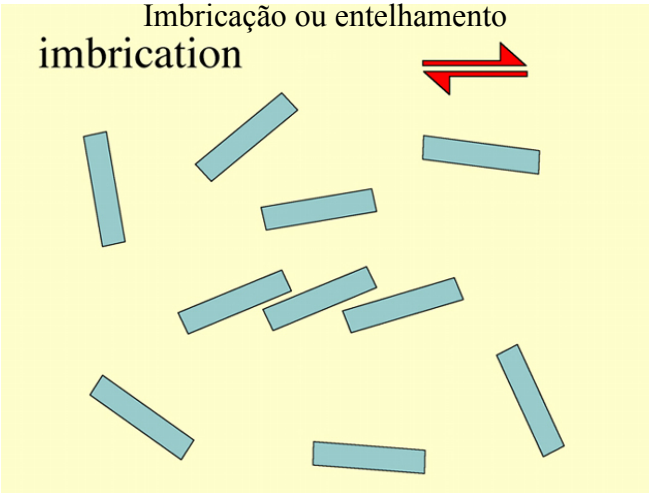
São de dois tipos: **1-porfiroclastos em dominó; 2-porfiroclastos em bandas de cisalhamento.**

Os primeiros são antitéticos enquanto que os porfiroclastos em bandas de cisalhamento são sintéticos.

Formas alongadas ou oblíquas à direção de extensão e o ângulo das fraturas em relação ao fluxo determinam o tipo de porfiroclasto fragmentado

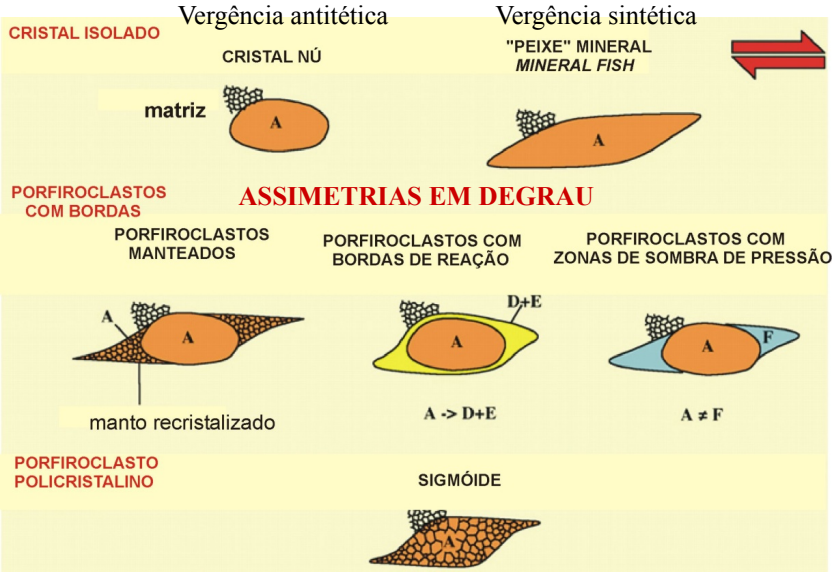






Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

PORFROCLASTOS MANTEADOS

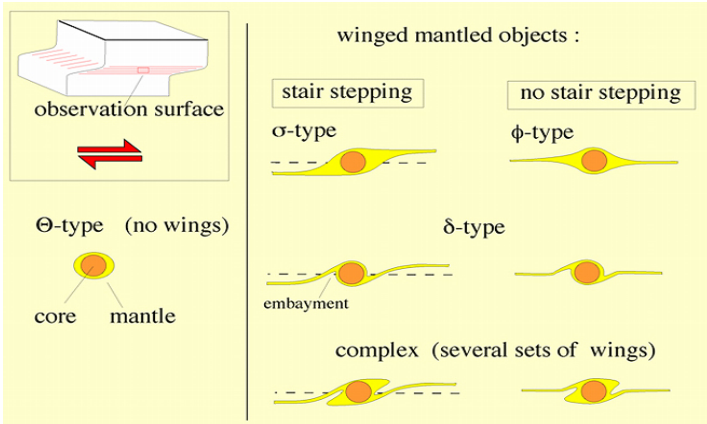


Porfiroclastos manteados

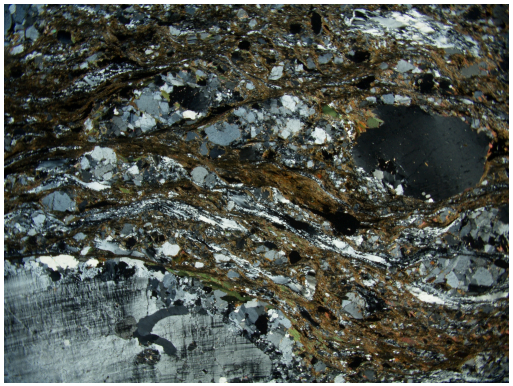
a. geometria em degrau do tipo *sigma – recristalização > deformação*

b. Geometria em cauda do tipo *delta* – deformação > recristalização

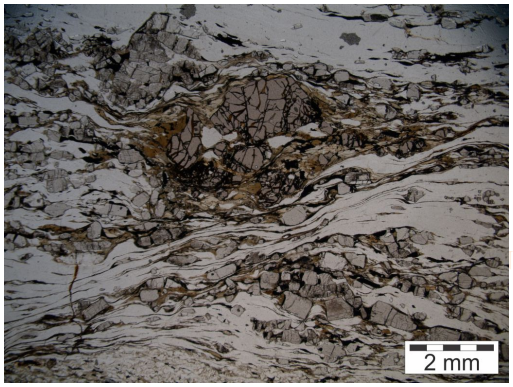
c. Geometria simétrica do tipo *phi* – sem rotação



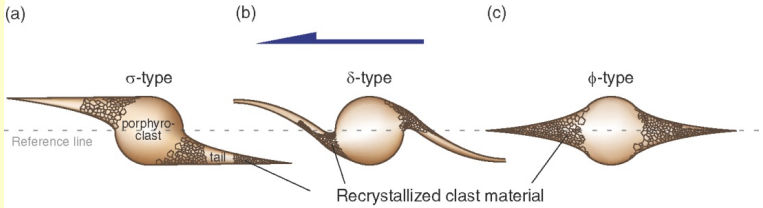
Deformação maior nas bordas do **porfiroblasto**: acúmulo das distorções e deslocamentos da rede cristalina e recristalização dinâmica. Porfiroblasto passa à **porfiroclasto** com as estruturas de **manto-e-núcleo**



Recristalização assimétrica de outra fase mineral, por reação metamórfica, nas bordas trativas **– zonas de sombra de pressão** – de cristal mais rígido



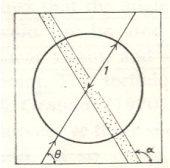
SG 5_1,25x

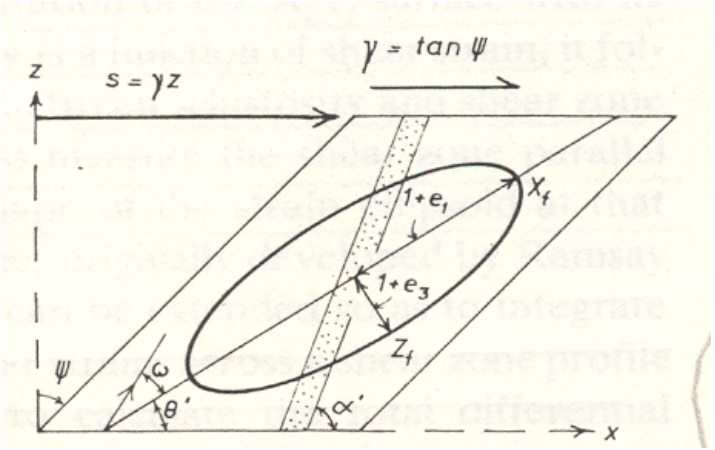


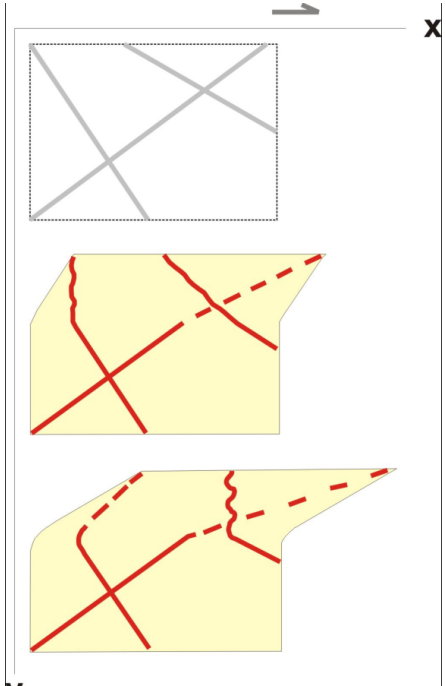
Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

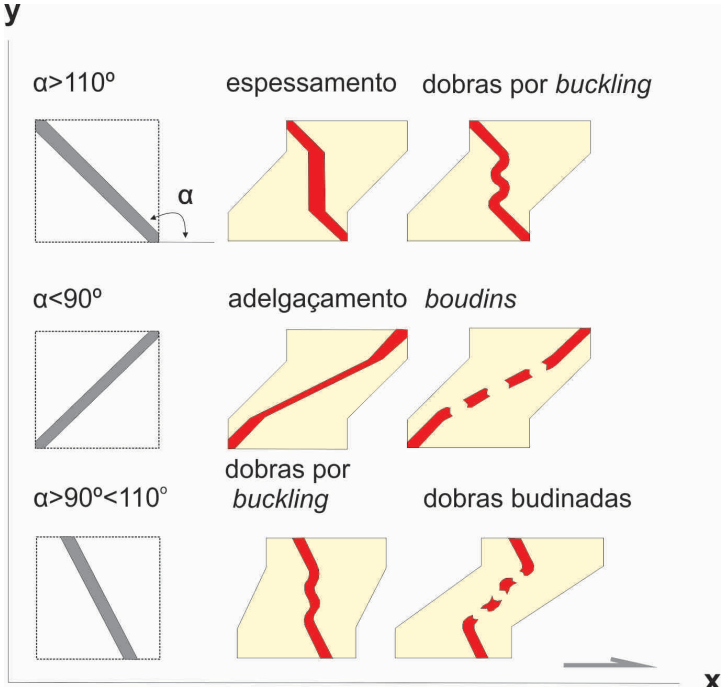
DEFORMAÇÃO NÃO-COAXIAL DE XENÓLITOS E DE DIQUES

Cisalhamento Simples: comportamento de diques competentes em zona de cisalhamento



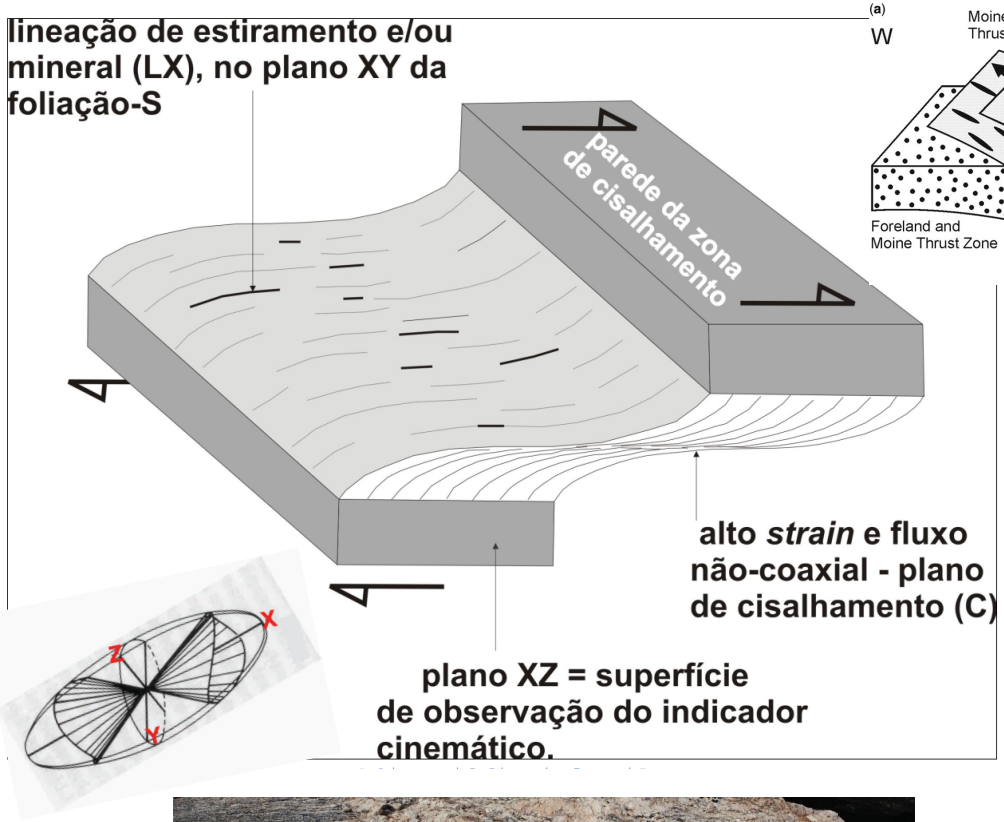


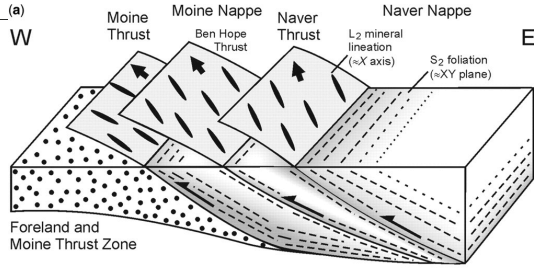


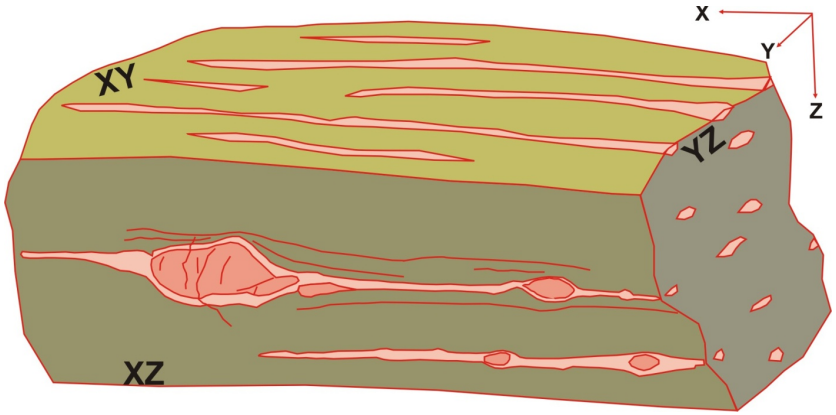


Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

ZONA DE CISALHAMENTO DÚCTIL E LINEAÇÃO

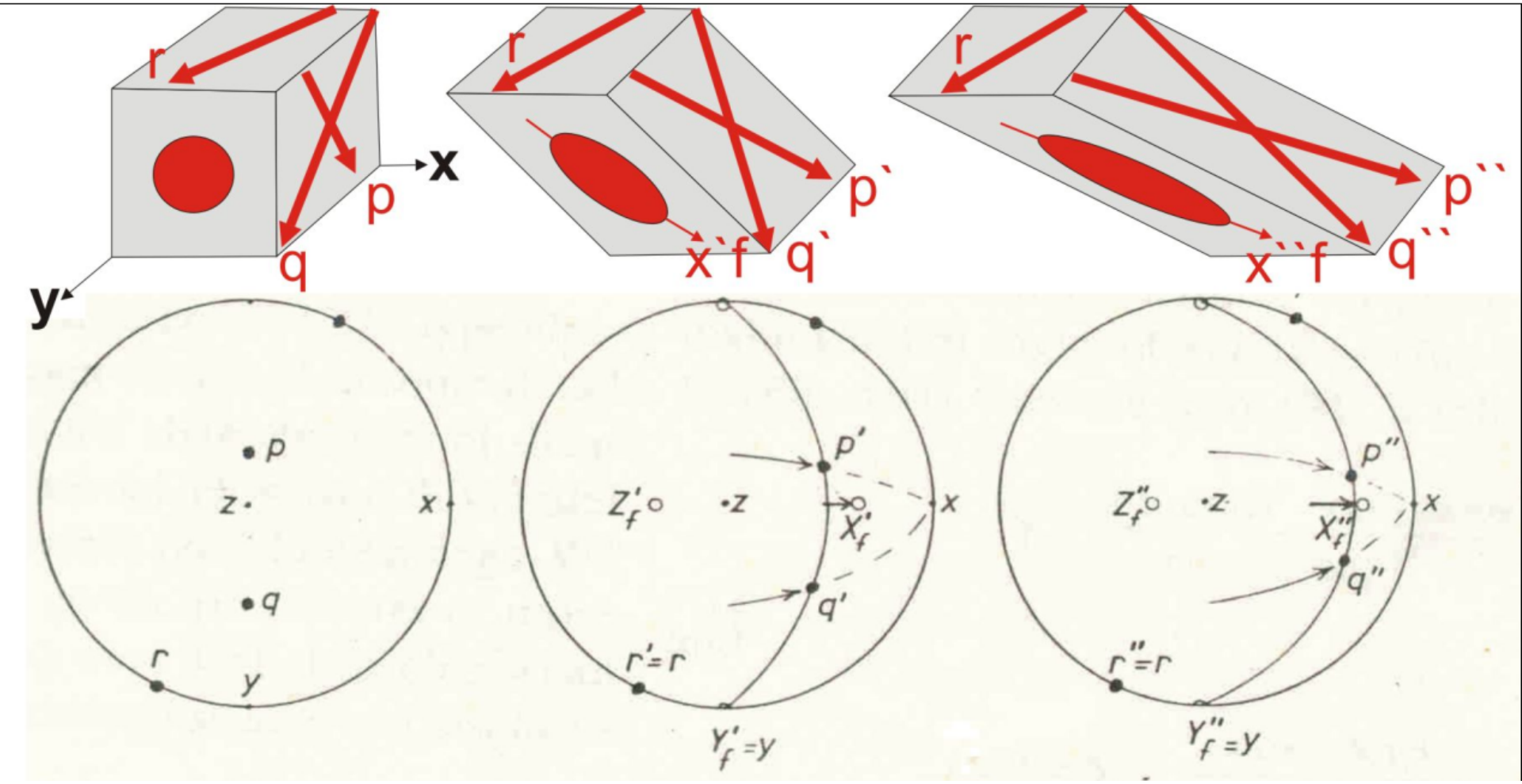






Zonas de Cisalhamento – cinemática e reorientação

DEFORMAÇÃO DE LINEAÇÕES PRÉ-EXISTENTES PELO CISALHAMENTO SIMPLES

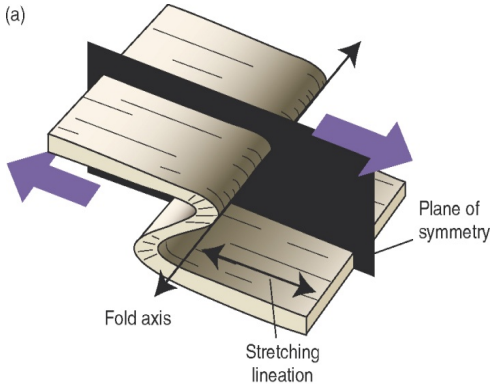


Lineações reorientam-se com o cisalhamento simples, tendendo ao eixo-X do elipsóide de deformação.

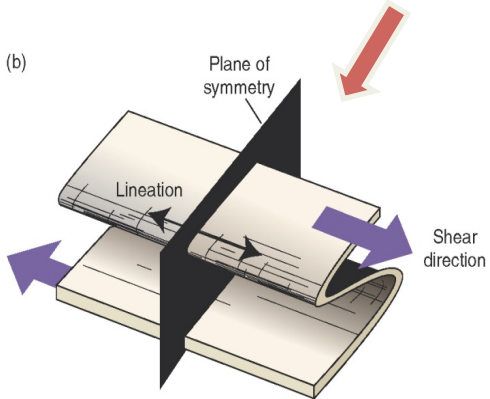
Lineações no plano de cisalhamento (C – zona de concentração da deformação e deslocamento) mantém a orientação original.

Zonas de Cisalhamento – cinemática e rotação

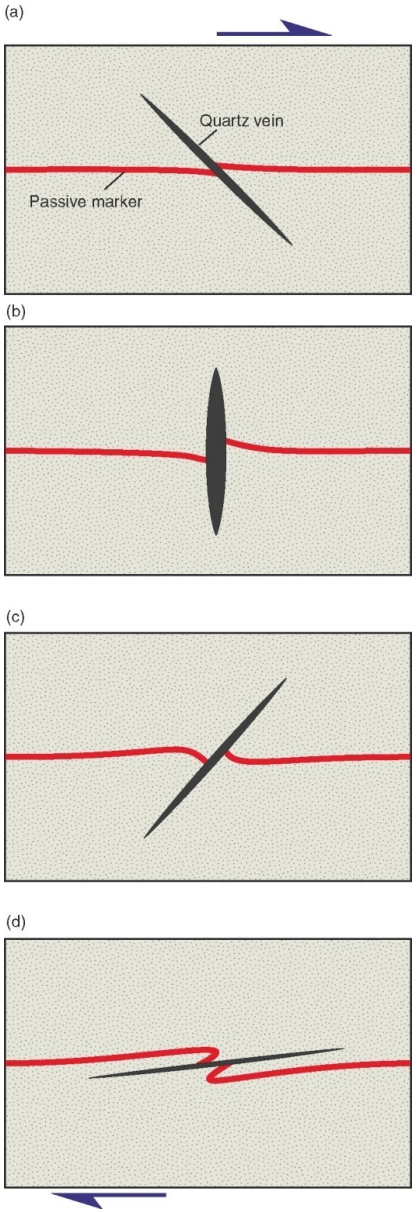
DOBRAS OBLÍQUAS E DOBRAS FLANQUEADAS



Dobras passivas com assimetria no sentido do movimento



Dobras oblíquas ou dobras-a, com eixo-B na direção do movimento



Abertura de fenda-T e marcadores de foliação com deflexão oposta ao movimento.

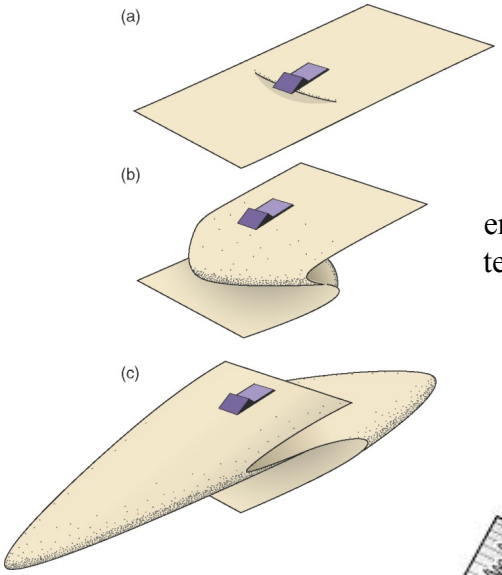
Deformação contínua – abertura da fenda e dobramento flanqueado e rejeito aparente no sentido oposto

Deformação contínua com rotação e estiramento da fenda de tração.
Dobras flanqueadas com assimetria no sentido do movimento, mas rejeito aparente no sentido oposto.

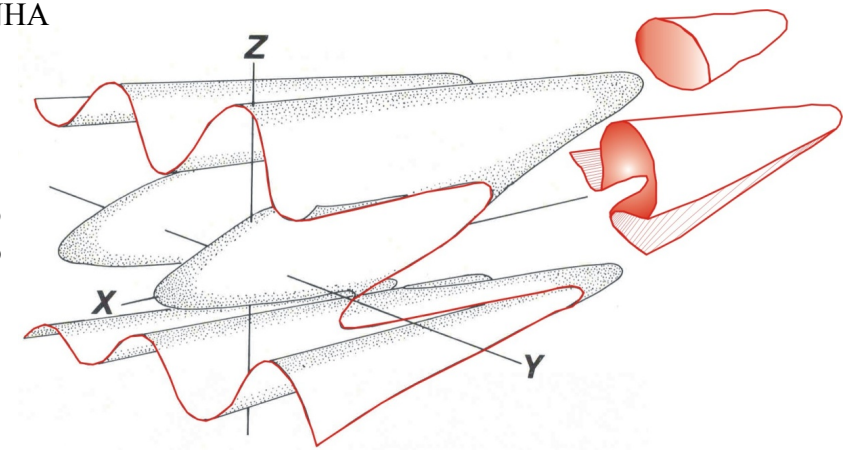
Fossem, 2011

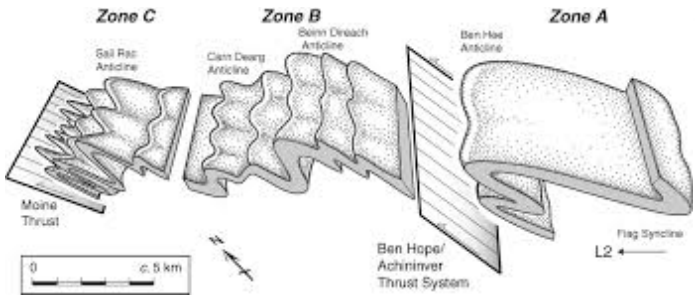
Zonas de Cisalhamento – cinemática

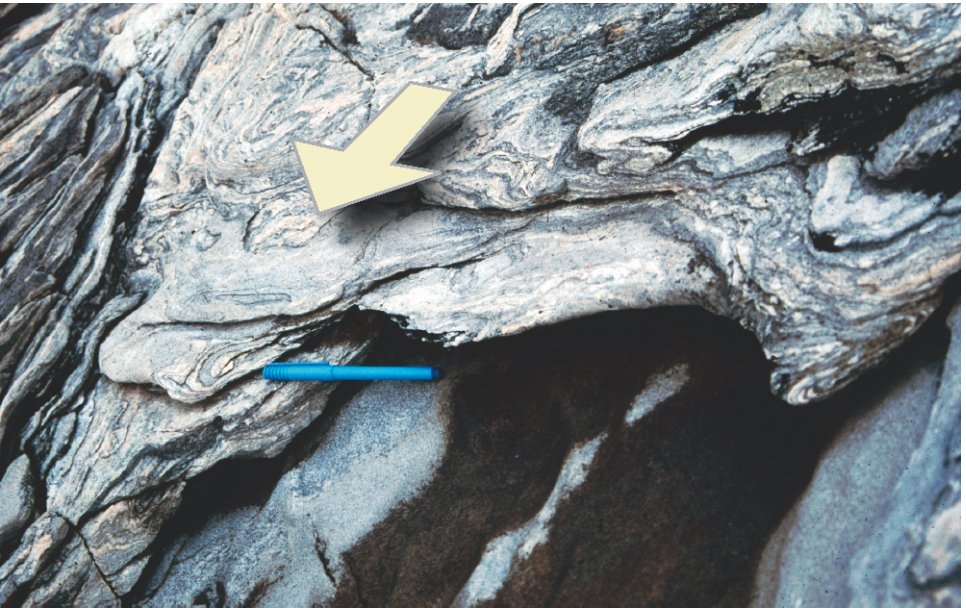
DOBRAS EM BAINHA



Dobra passiva não cilíndrica, com intenso encurvamento da linha de charneira, exibindo terminações agudas na direção do movimento



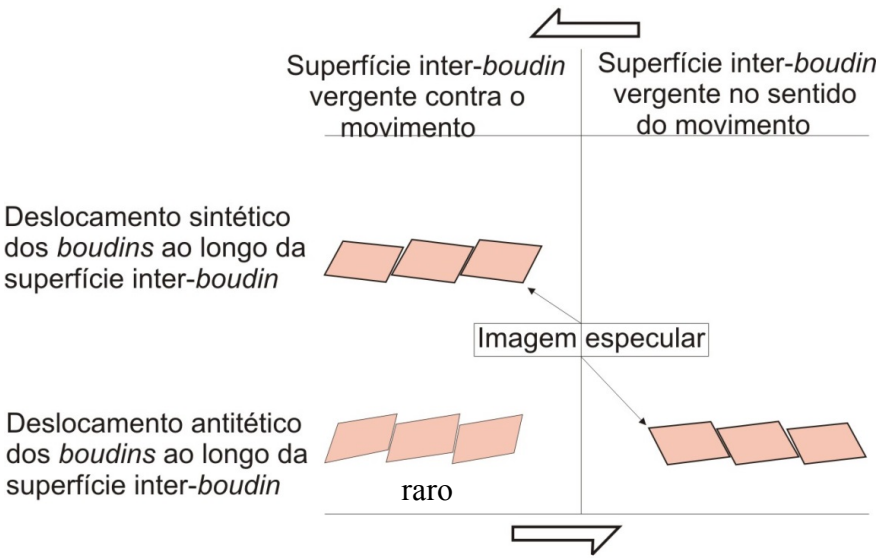




Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

BOUDINS ASSIMÉTRICOS E SENTIDO DO CISALHAMENTO

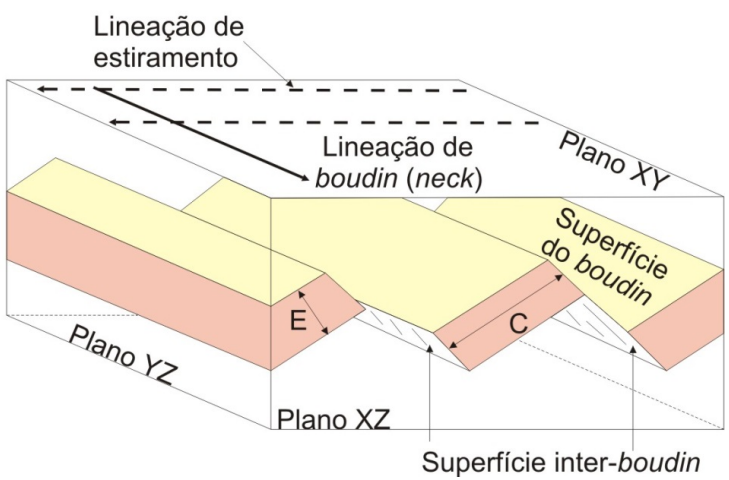
O caráter S (sintético) ou A (antitético) do deslocamento do *boudin*, ou a direção de vergência da S_{ib}(superfície inter-*boudin*), depende do estabelecimento do sentido de movimento da zona de cisalhamento



Deslocamento sintético

(S-*slip*)

boudin com deslocamento sintético possui superfície *inter-boudin* (S_{ib}) com vergência no sentido contrário ao movimento.



Deslocamento antitético

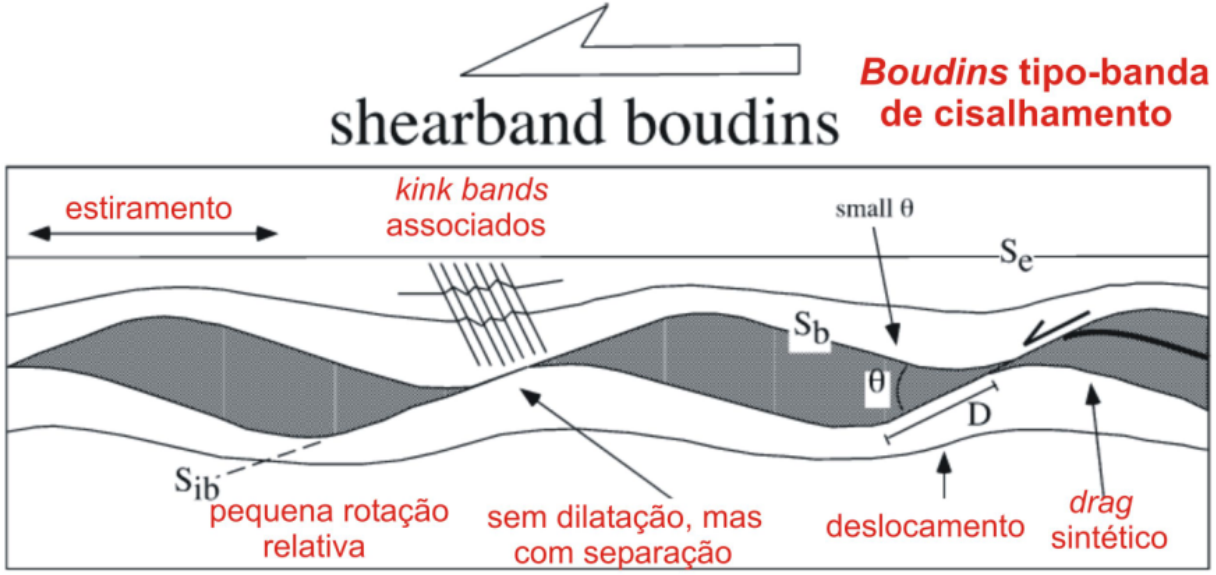
(A-*slip*)

boudin com deslocamento antitético possui S_{ib} com vergência no sentido do movimento.

Goscombe & Passchier, *J. Structural Geology*, v.25, 575-589, 2003

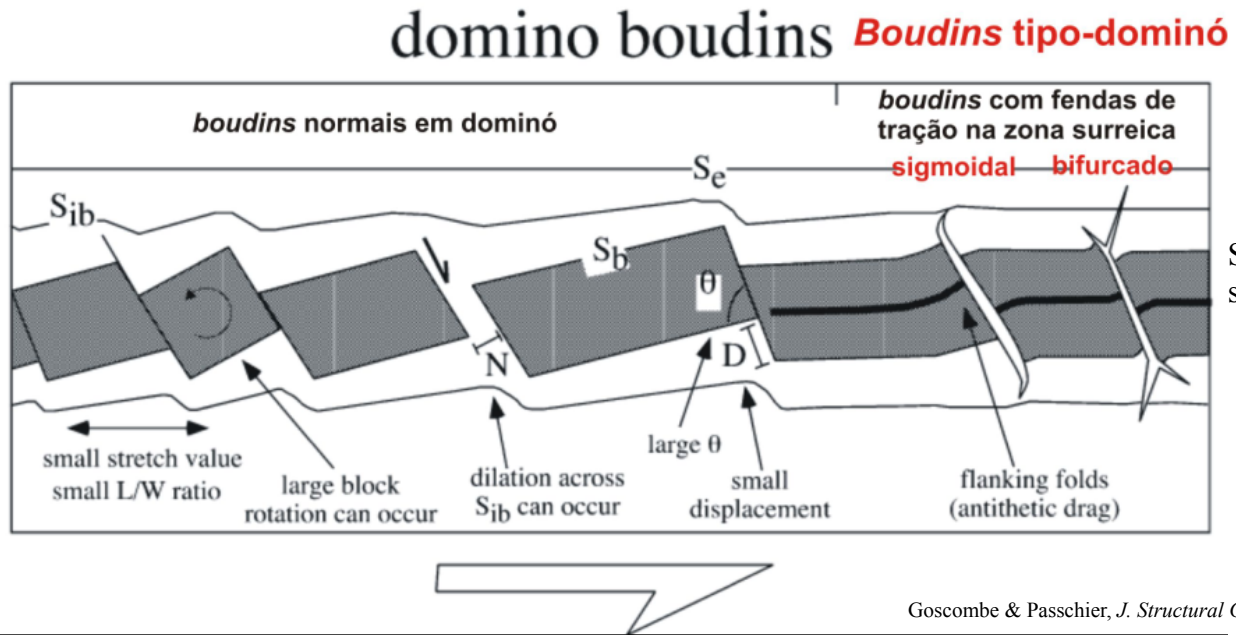
Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

BOUDINS ASSIMÉTRICOS E SENTIDO DO CISALHAMENTO



S_{ib} com vergência antitética

S_{ib} : superfície inter-*boudin* de discreto deslocamento. Não se prolonga além do *boudin* (como falhas) e termina na superfície envoltória do *boudin* (Se).

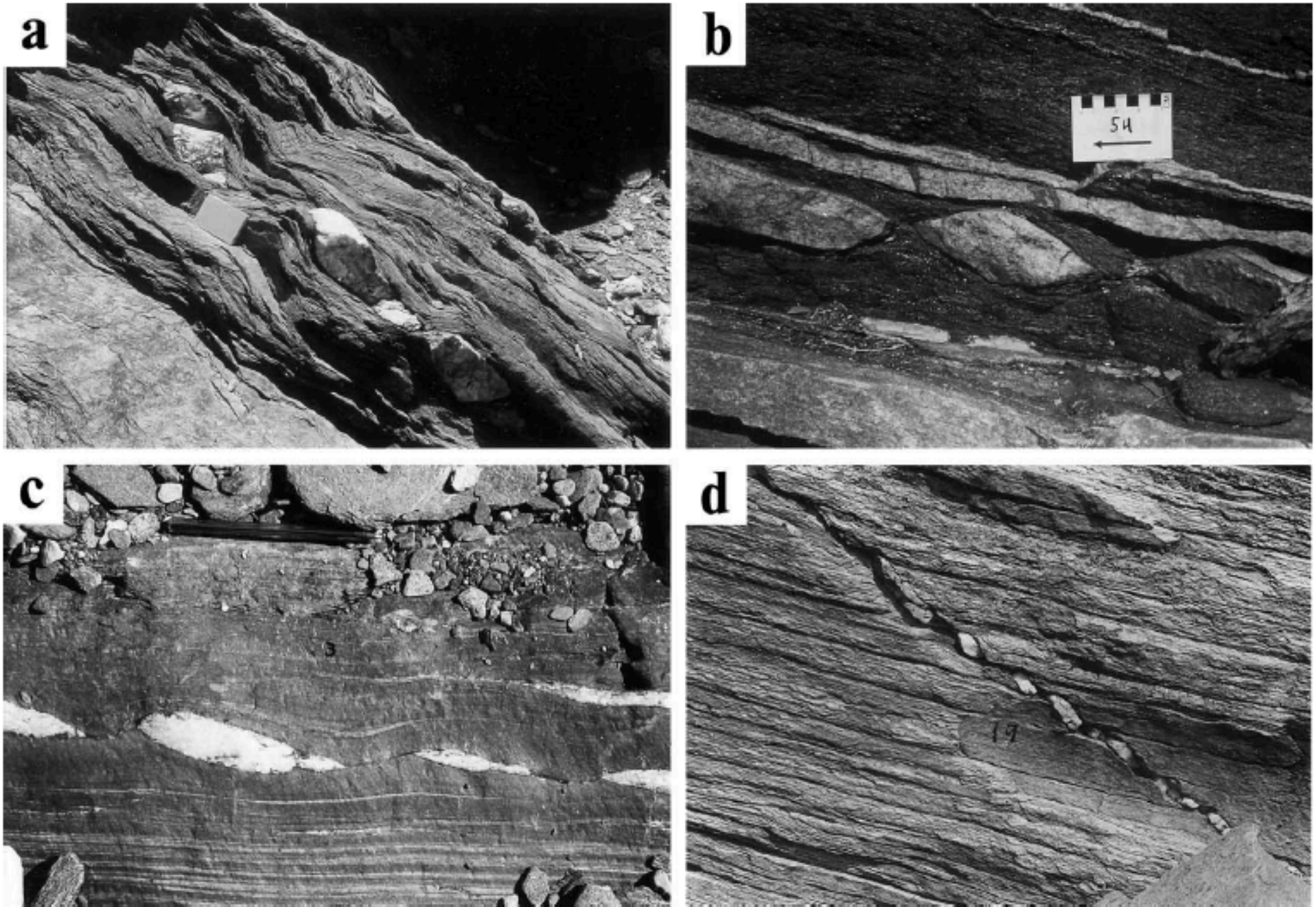


S_{ib} com vergência sintética

Goscombe & Passchier, *J. Structural Geology*, v.25, 575-589, 2003

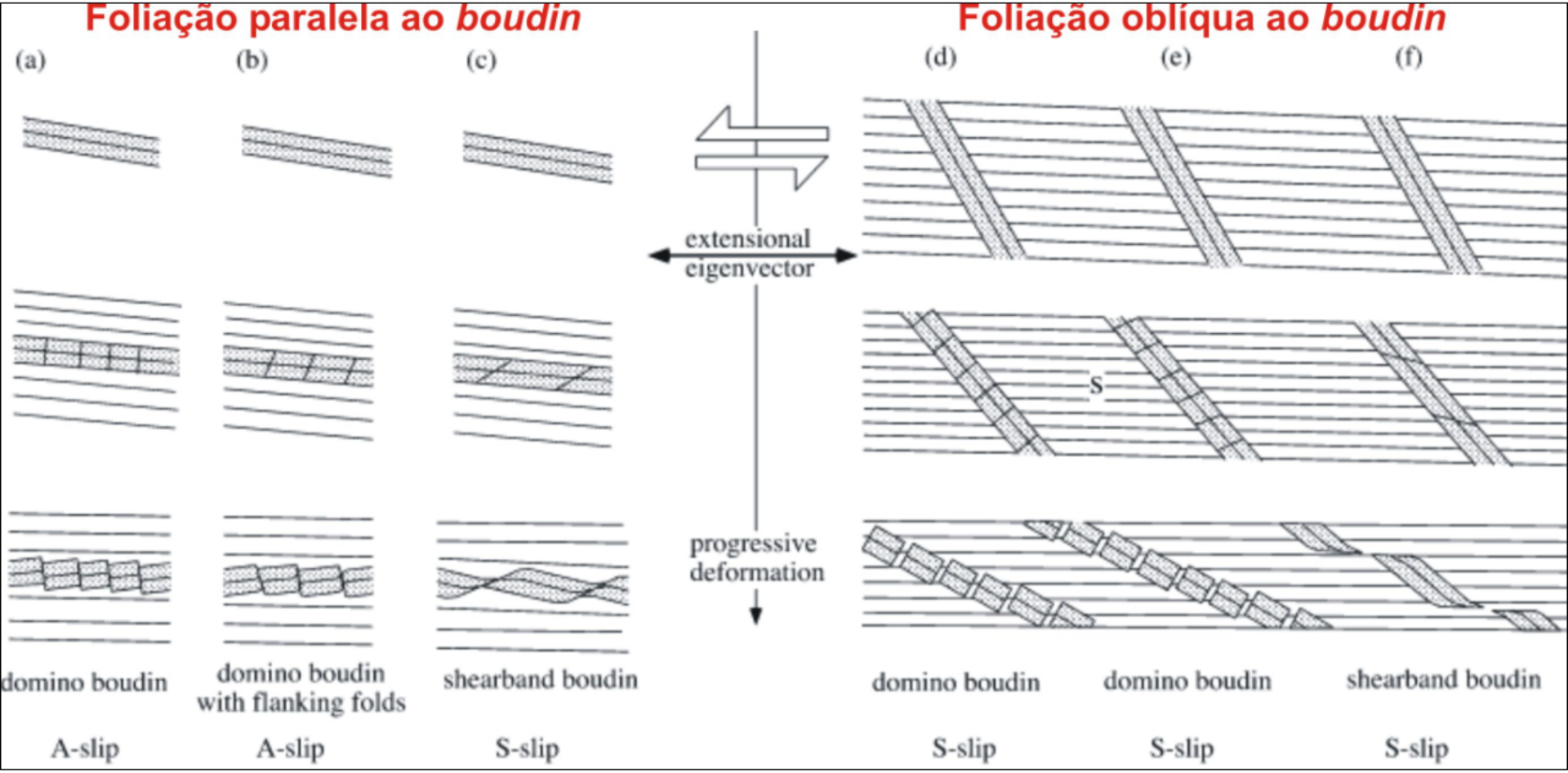
Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

BOUDINS ASSIMÉTRICOS E SENTIDO DO CISALHAMENTO



Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

BOUDINS ASSIMÉTRICOS E SENTIDO DO CISALHAMENTO



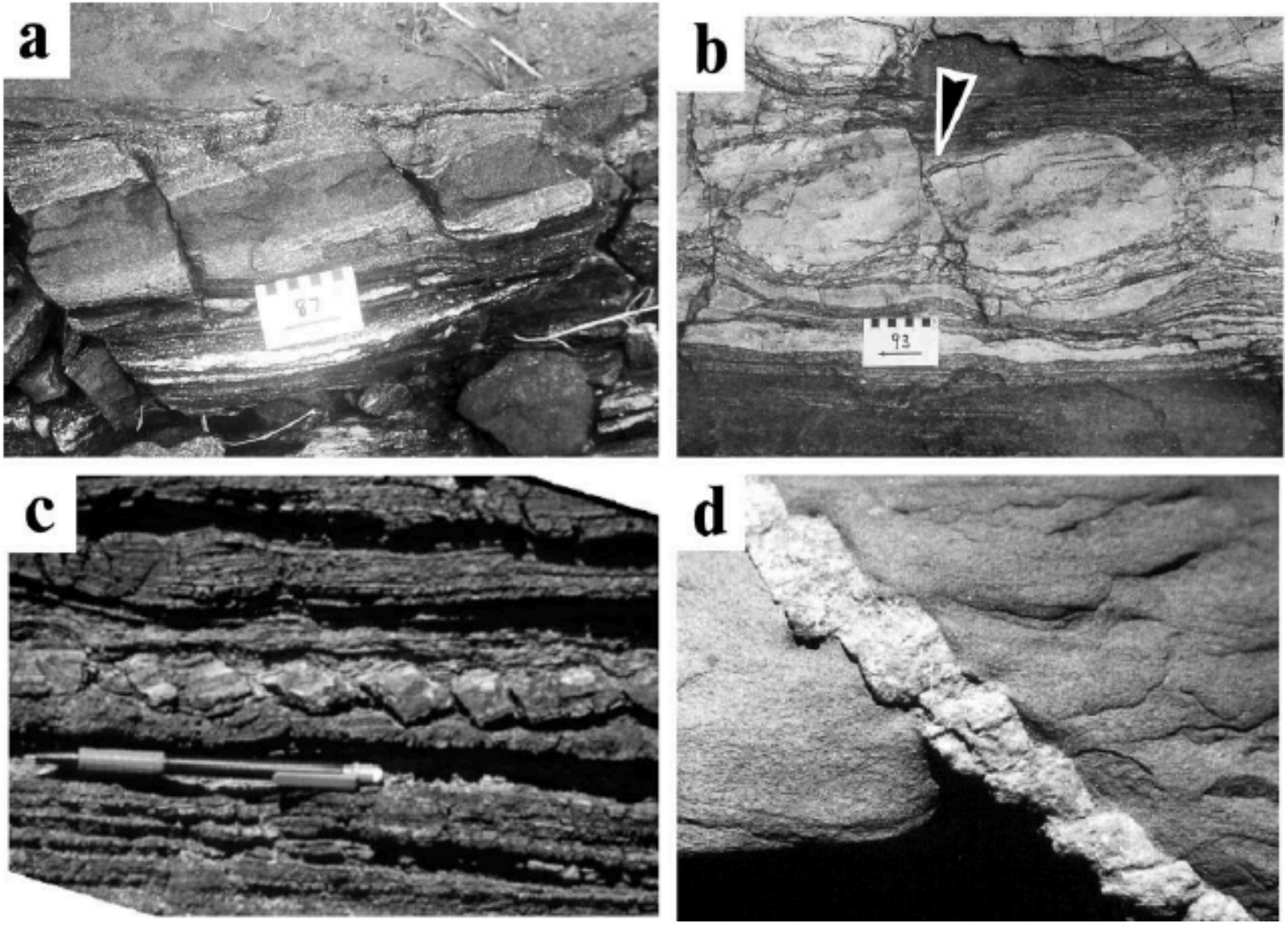
Goscombe & Passchier, *J. Structural Geology*, v.25, 575-589, 2003

Deslocamento antitético (A-*slip*) ao longo das S_{ib} dos *boudins* em dominó ocorrem quando os *boudins* encontram-se paralelos a foliação. Caso contrário os rejeitos dos dominós serão sintéticos (S-*slip*).

Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

BOUDINS ASSIMÉTRICOS E SENTIDO DO CISALHAMENTO

Boudins em dominó e cisalhamento anti-horário. A-_slip_ quando paralelos a foliação e S-_slip_ quando oblíquos a foliação

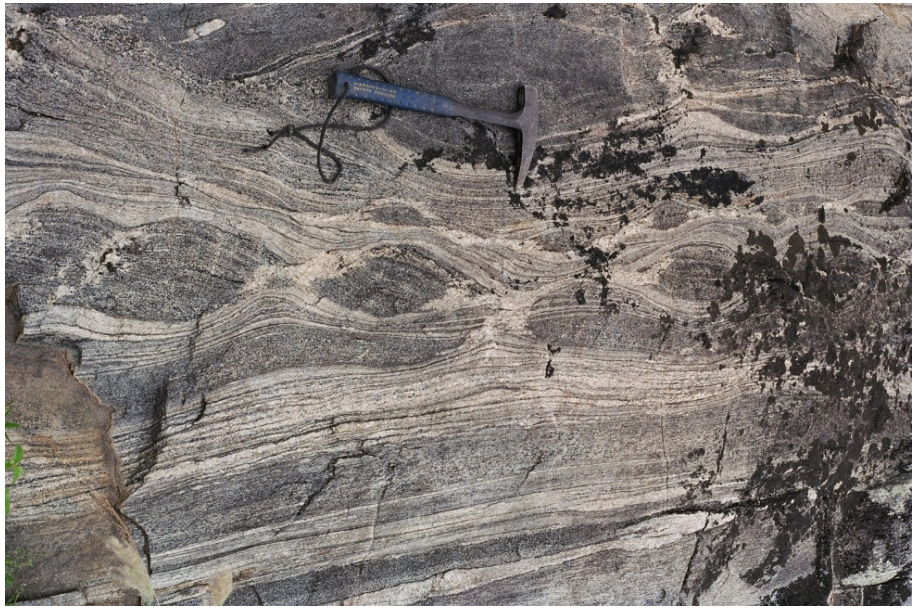


Zonas de Cisalhamento – critérios cinemáticos e paleo-campo de tensores (*paleostress*)

BOUDINS ASSIMÉTRICOS E SENTIDO DO CISALHAMENTO

Boudin no bandamento milonítico e em dominó antitético

Deslocamento-A

Boudin assimétrico de banda de cisalhamento (*shear band boudin*)

Deslocamento-S