

## Bacias sedimentares e produção sedimentar

- Bacias sedimentares: áreas da superfície terrestre que sofrem ou sofreram subsidência continuada.
- Subsidência – resposta a uma mudança de estado na crosta ou na litosfera.
- Principal agente das mudanças de estado: Tectônica Global.
- A aula de hoje descreve os principais mecanismos de subsidência e sua relação com os principais ambientes tectônicos.

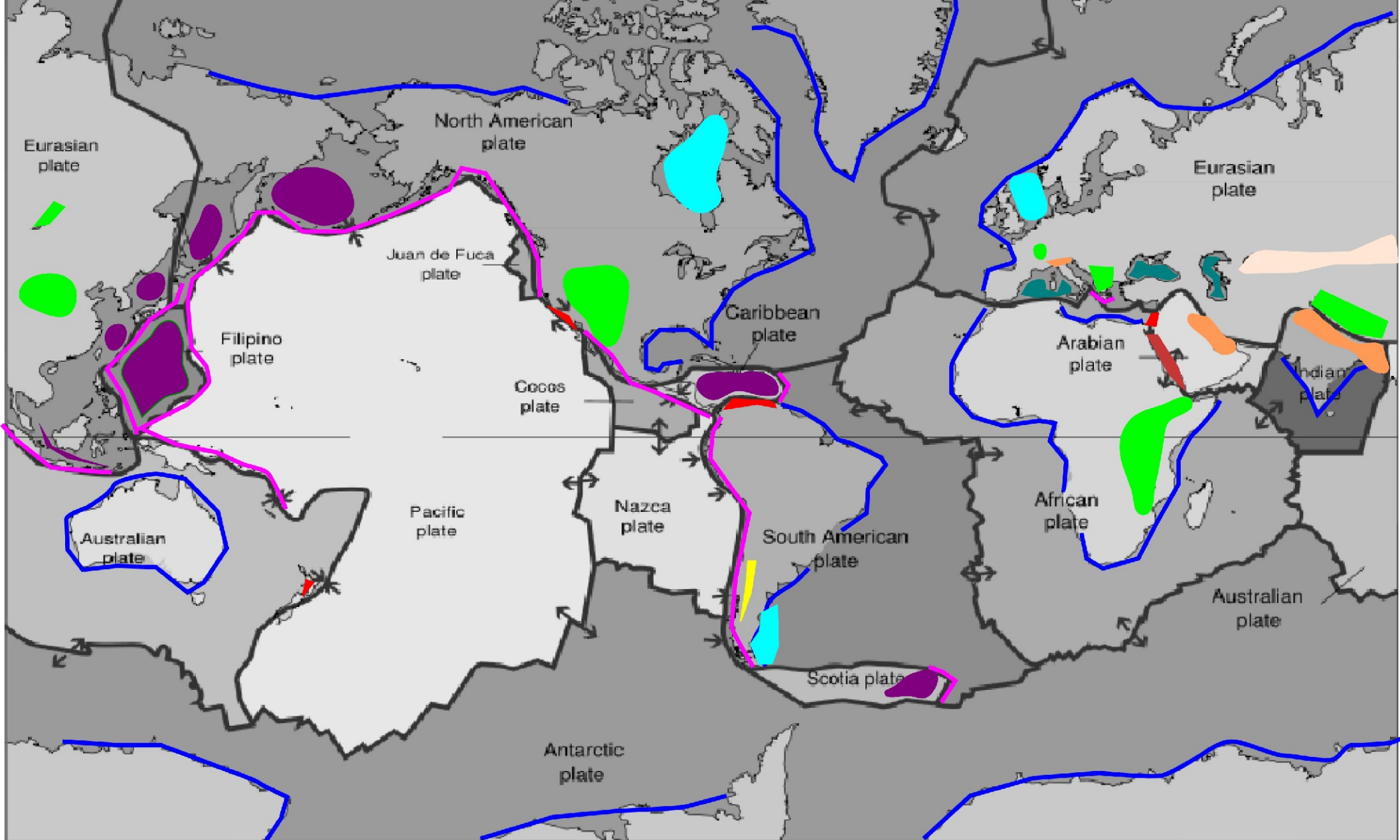
Um tipo de classificação, muito utilizado, agrupa as bacias sedimentares de acordo com seu contexto na Tectônica da Placas.

Em uma divisão maior, as bacias podem ser classificadas em:

- Bacias relacionadas a limites convergentes de placas
- Bacias relacionadas a limites divergentes de placas
- Bacias relacionadas a limites transformes de placas
- Bacias intra-placa

Em cada um desses contextos ocorre uma série de tipos de bacias.

Os principais tipos serão apresentados na aula de hoje, seguindo a classificação de Ingersoll & Busby (1995), modificada.

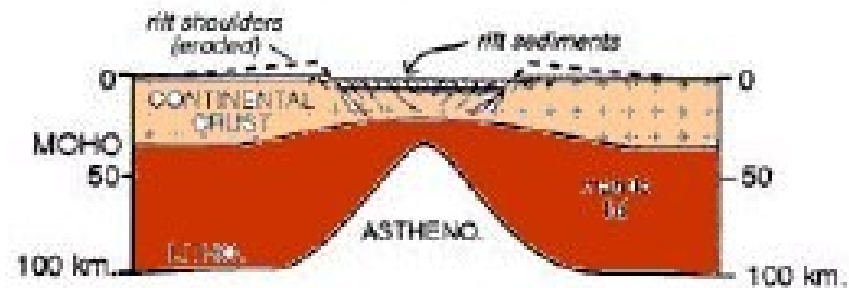


- Margens Passivas
- Sinéclises Intracratônicas
- Bacias Oceânicas Remanescentes
- Bacias de Ante Arco
- Bacias de Backarc
- Bacias de Antepaís em Retroarco
- Províncias Distensionais
- Bacias Proto-Oceânicas
- Bacias Transcorrentes
- Bacias Periféircas de Antepaís
- Bacias Flexurais Intraplaca

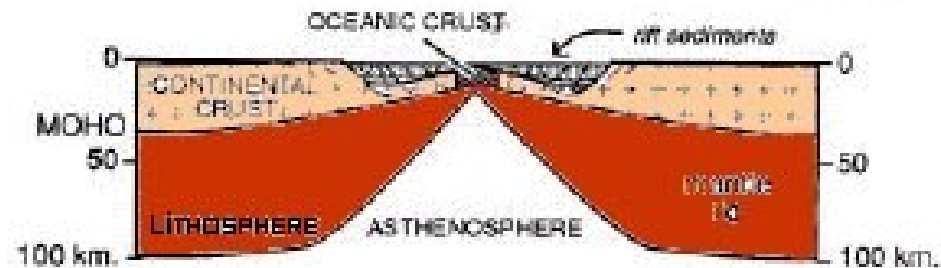
## 1. Bacias de contextos divergentes:

- Rifts intra-continentais: subsidência mecânica
- Bacias proto-oceânicas: subsidência mecânica + subsidência termal

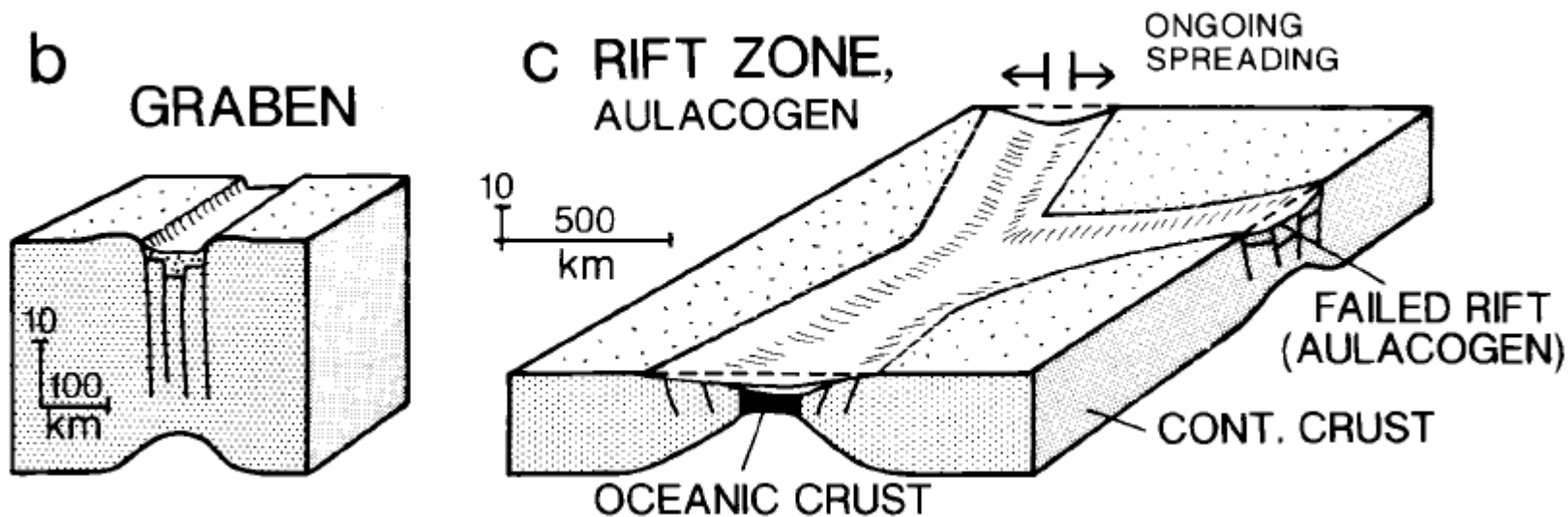
RIFT  
BASIN  
( $\beta = 1.6$ )



NASCENT  
OCEAN  
BASIN  
( $\beta = 2.2$ )



## Bacias de limites divergentes



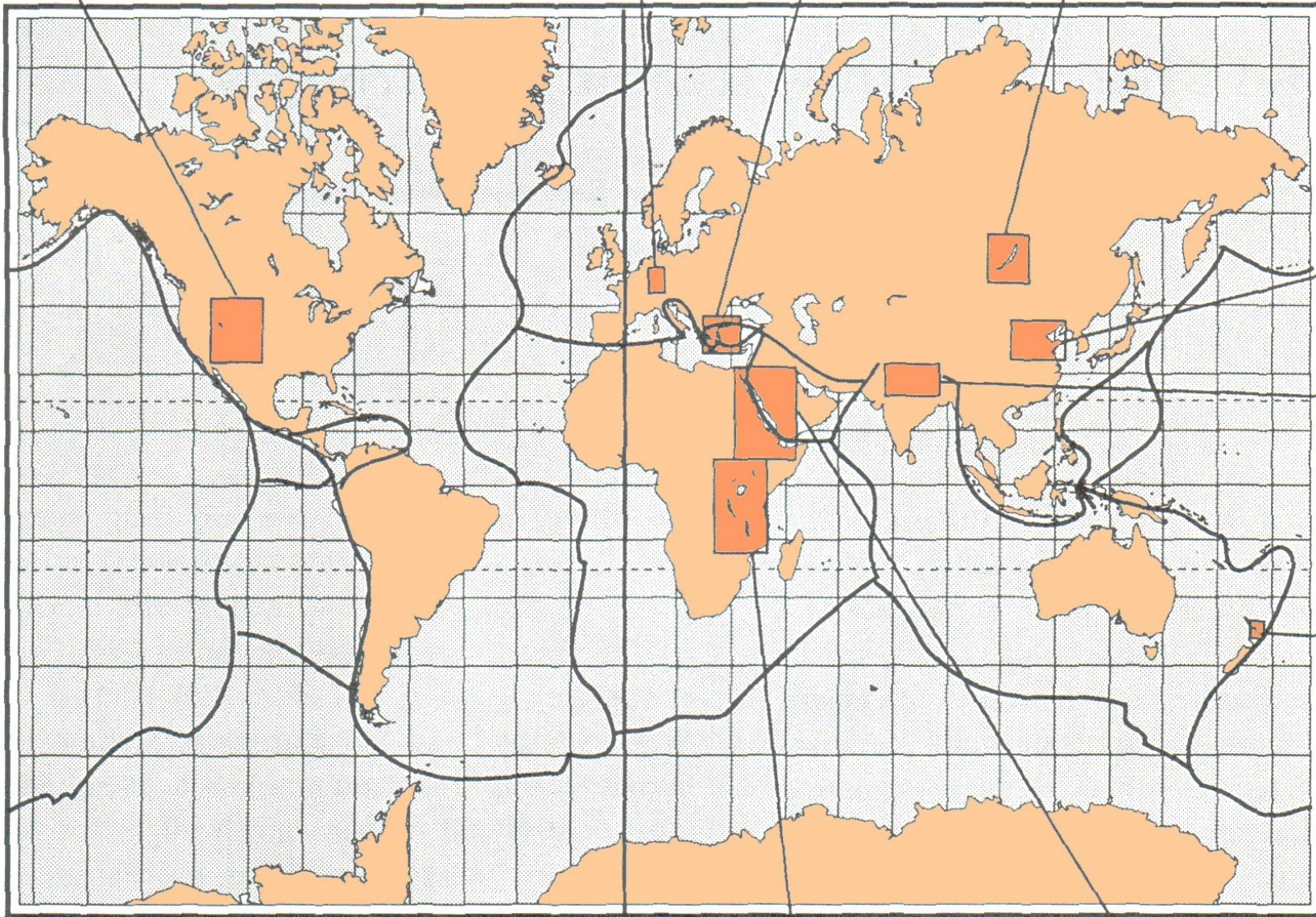
Einsele, G. 1992. Sedimentary Basins, Evolution Facies and Sediment Budget. 2 ed, Springer, 792 p.

Basin & Range Province,  
Rio Grande

Rhine Graben

Aegean

Lake Baikal



Shaanxi,  
Bohai

Tibetan  
Plateau

North Island,  
New Zealand

East African Rifts  
(Kenyan, Ethiopian,  
Western branches)

Gulf of Suez,  
Red Sea,  
Afar

## Bacias intra-placa:

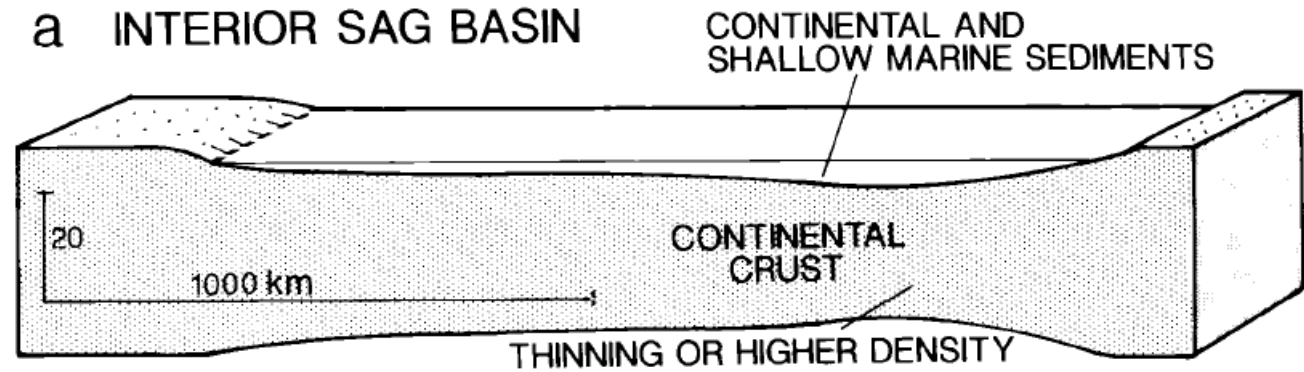
- Margens Passivas: subsidência termal
- Bacias Intracratônicas: mecanismo incerto (termal, flexural, topografia dinâmica)
- Bacias Oceânicas ativas: subsidência termal
- Bacias Oceânicas inativas: subsidência termal
- Rifts Intra-placa: subsidência mecânica

# Bacias Intraplaca

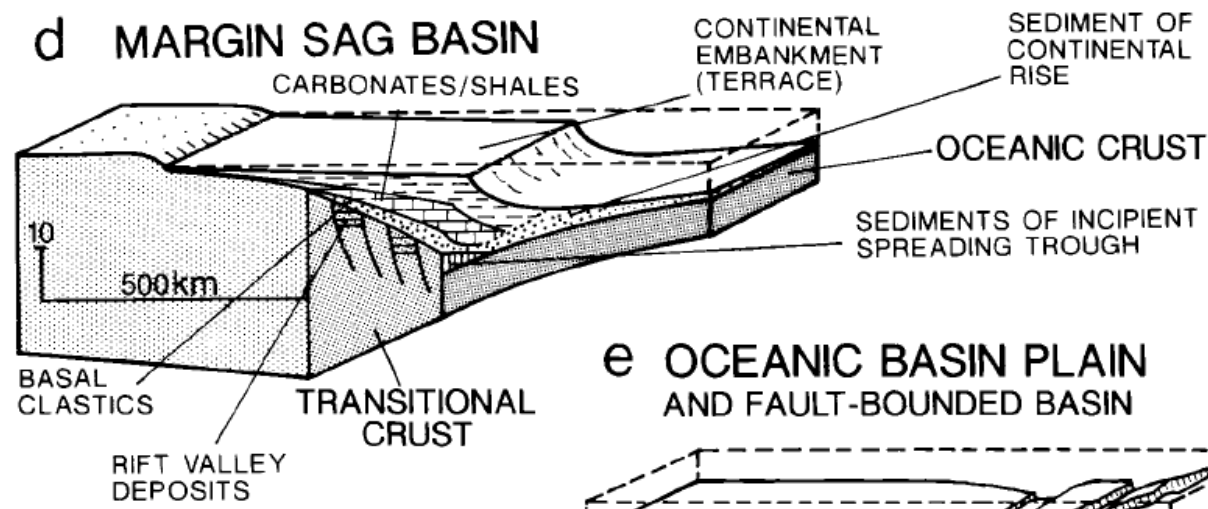
Estratigrafia  
 GSA0307

Bacias Sedimentares - Classificação, Bacias Distensionais, Bacias de Subsidência Térmica

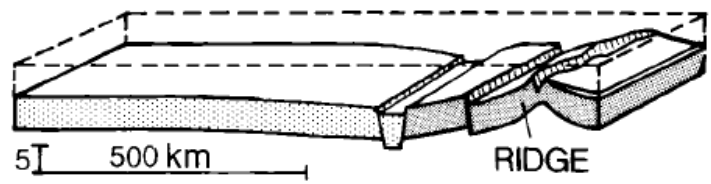
**a INTERIOR SAG BASIN**



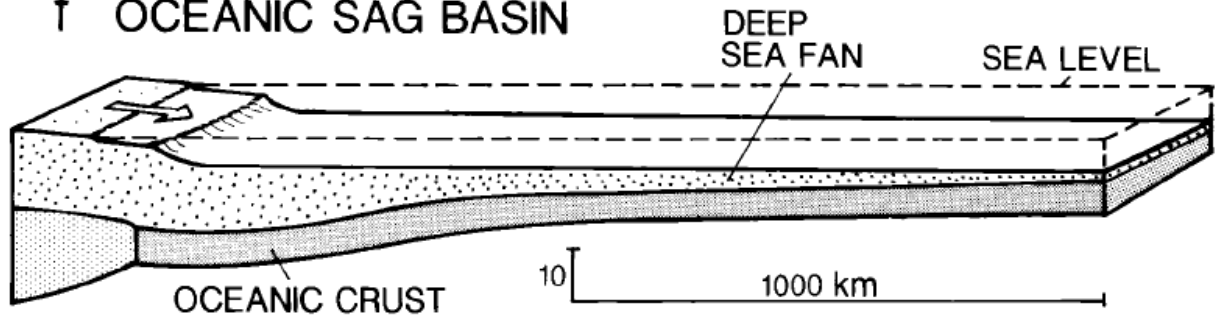
**d MARGIN SAG BASIN**



**e OCEANIC BASIN PLAIN AND FAULT-BOUNDED BASIN**

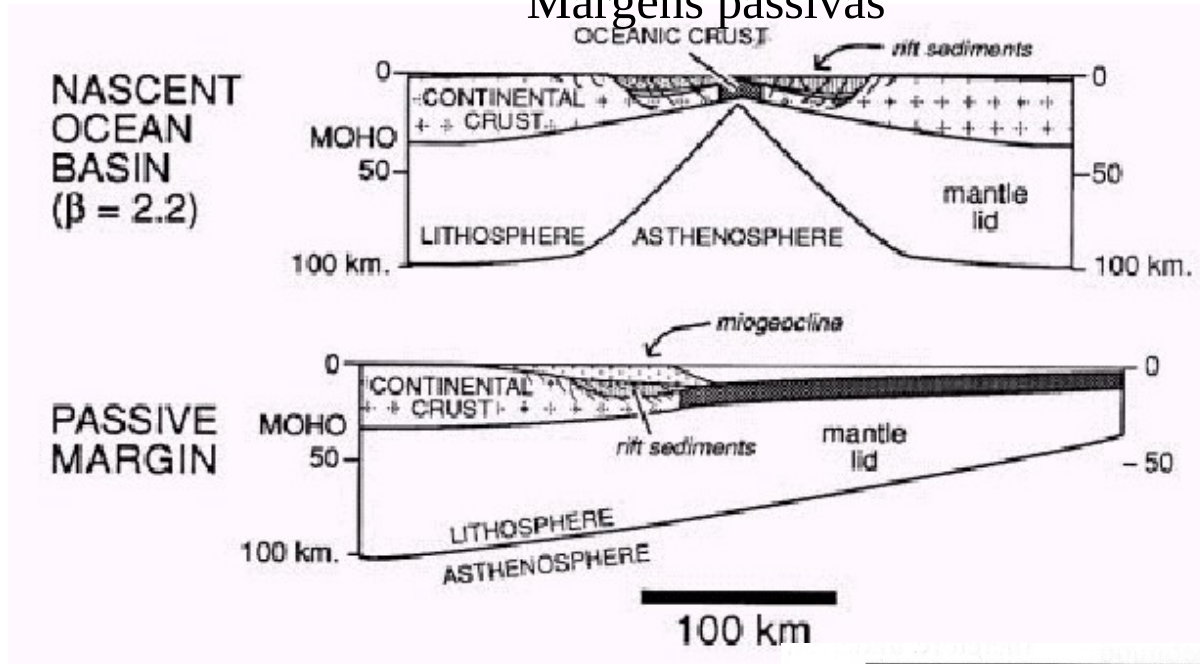


**f OCEANIC SAG BASIN**

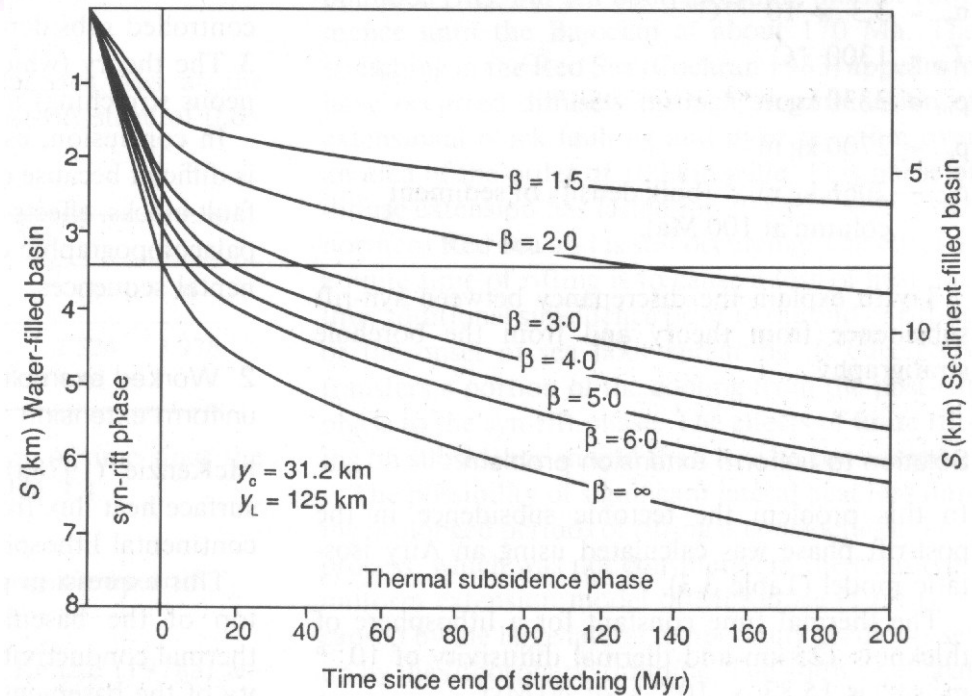




Margens passivas



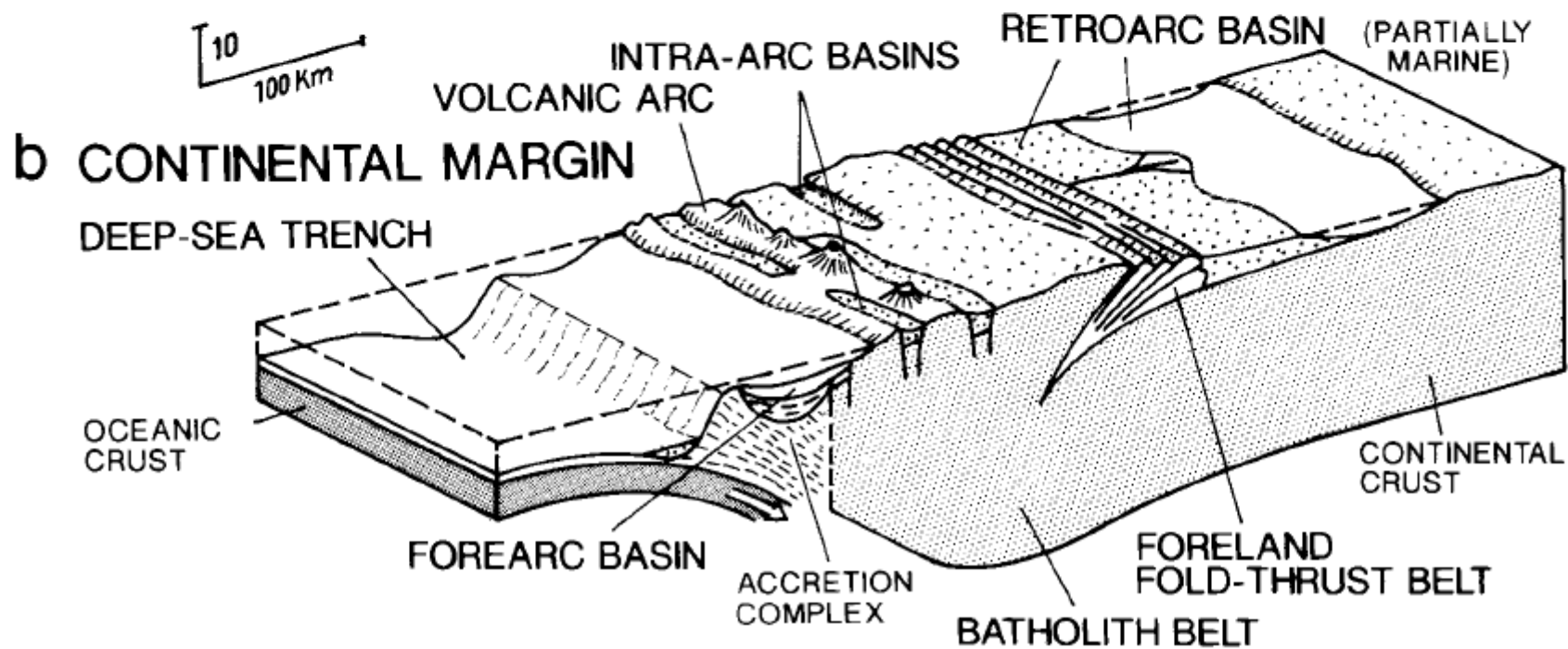
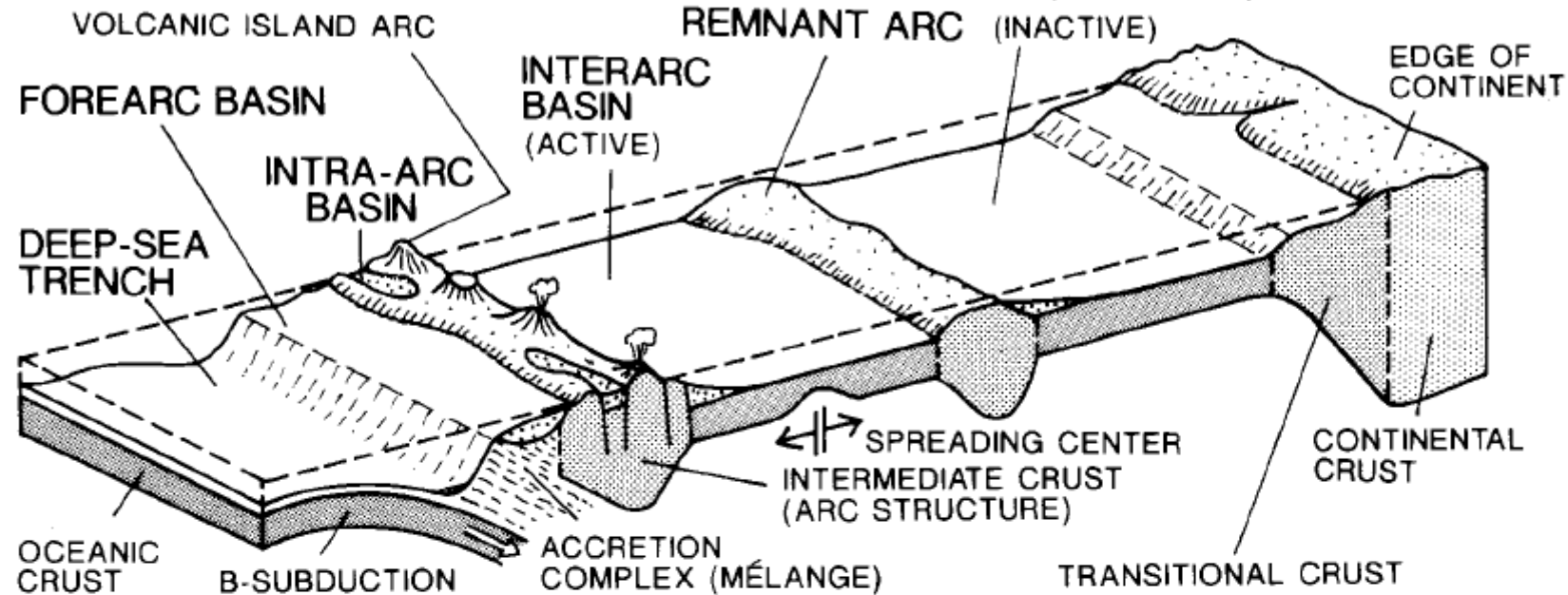
Porções mais distais da plataforma apresentam menor espessura de crosta após a distensão = maior fator beta = maior taxa de subsidência termal.



**Bacias de contextos convergentes:**

- Trincheiras de subducção: subsidência termal + flexural
- Bacias de flanco de trincheira: subsidência mecânica + termal
- Bacias de ante-arco: mecanismo incerto (subsidência flexural + ?)
- Bacias de *backarc*: subsidência mecânica
- Bacias de intra-arco: subsidência mecânica
- Bacias de antepaís de retroarco: subsidência flexural
- Bacias periféricas de antepaís: subsidência flexural
- Bacias de colapso de orógeno: subsidência mecânica

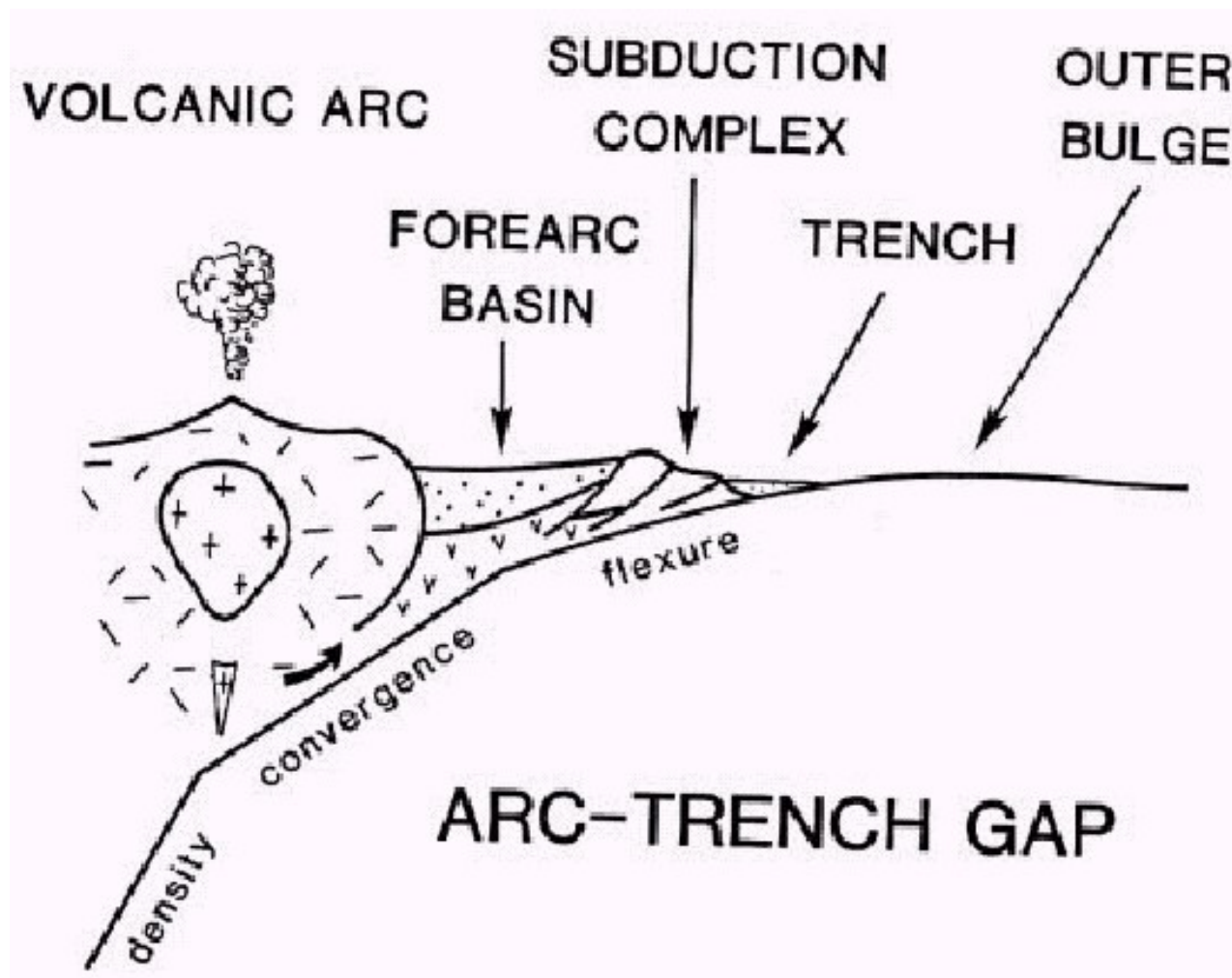
# a SUBDUCTION-RELATED BASINS, INTRA-OCEANIC



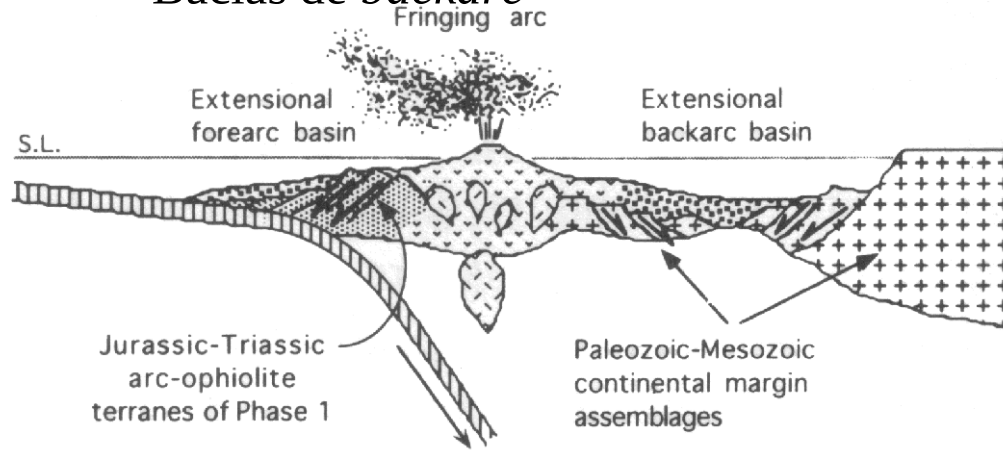
Estratigrafia  
GSA0307

Bacias Sedimentares - Classificação, Bacias  
Distensionais, Bacias de Subsidência Térmica

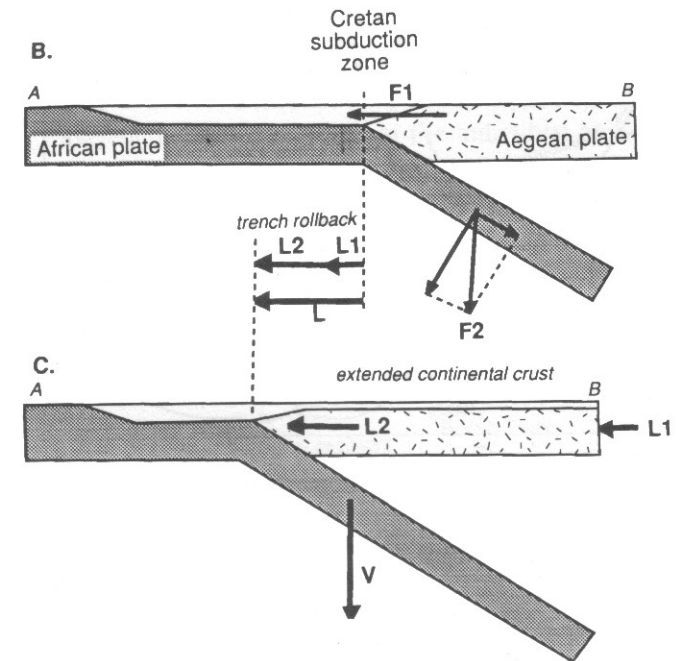
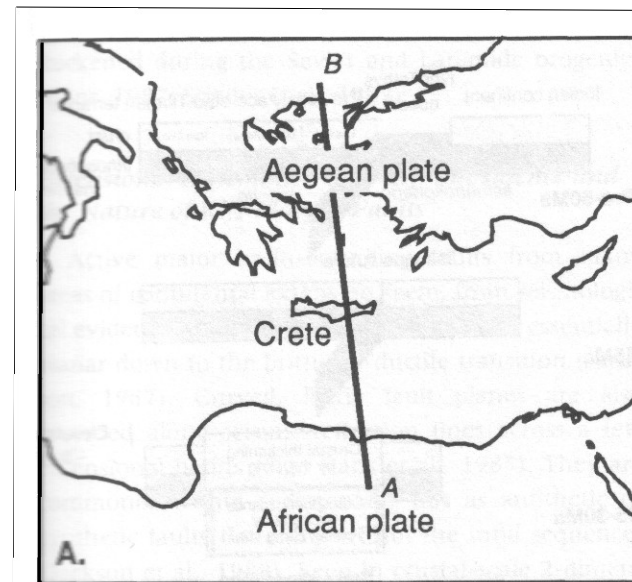
### Bacias de ante-arco



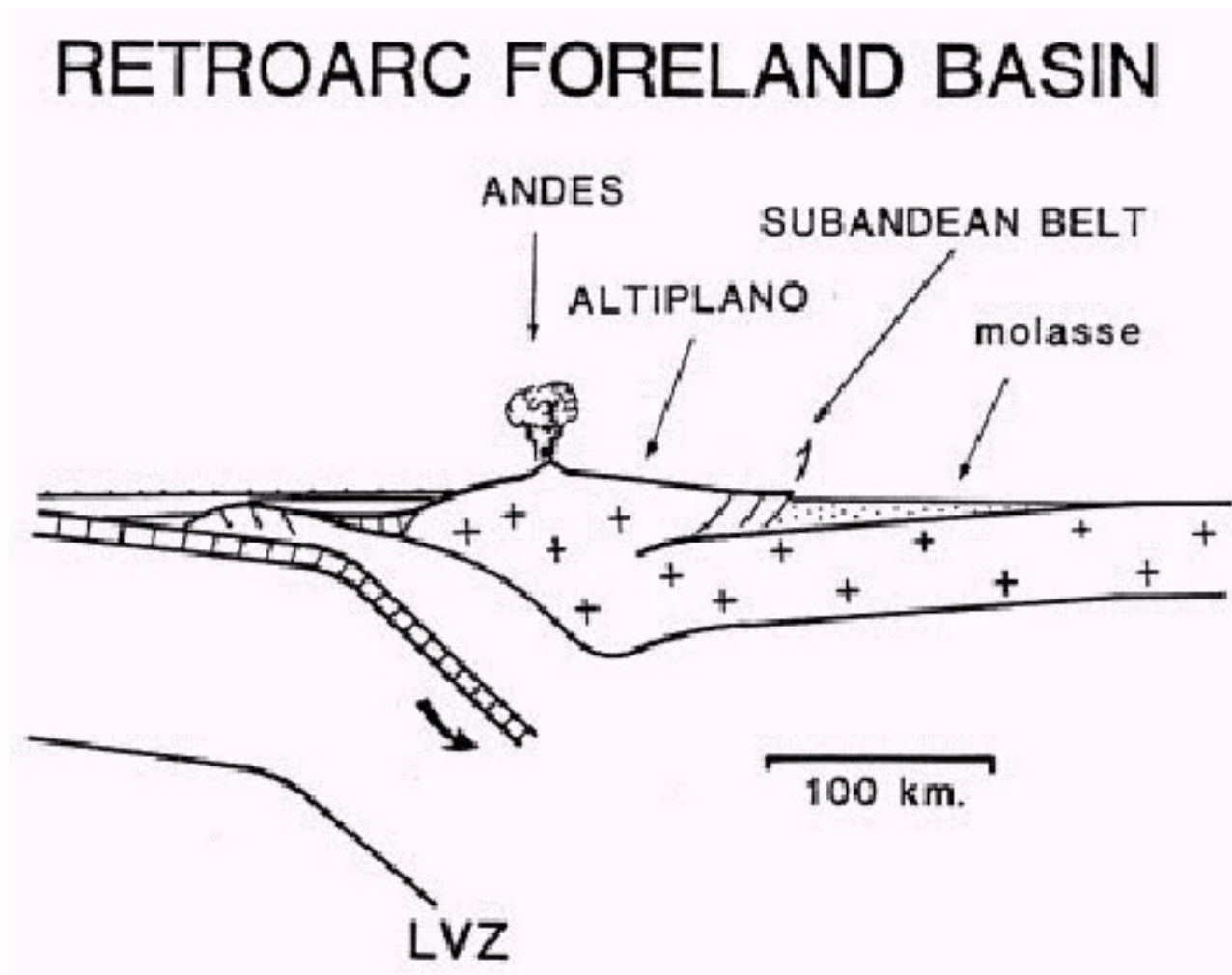
### Bacias de *backarc*



Distensão passiva: colapso da margem continental e *rollback* da subducção.

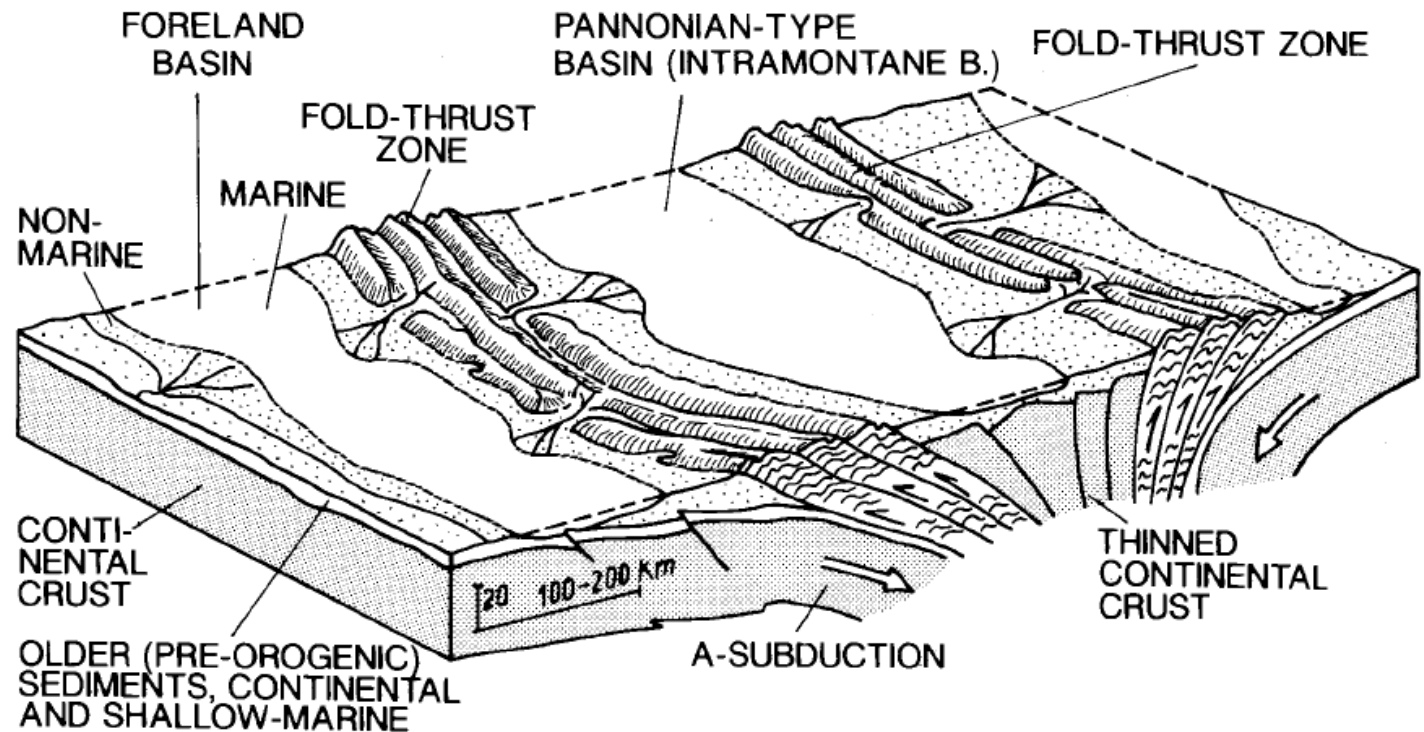
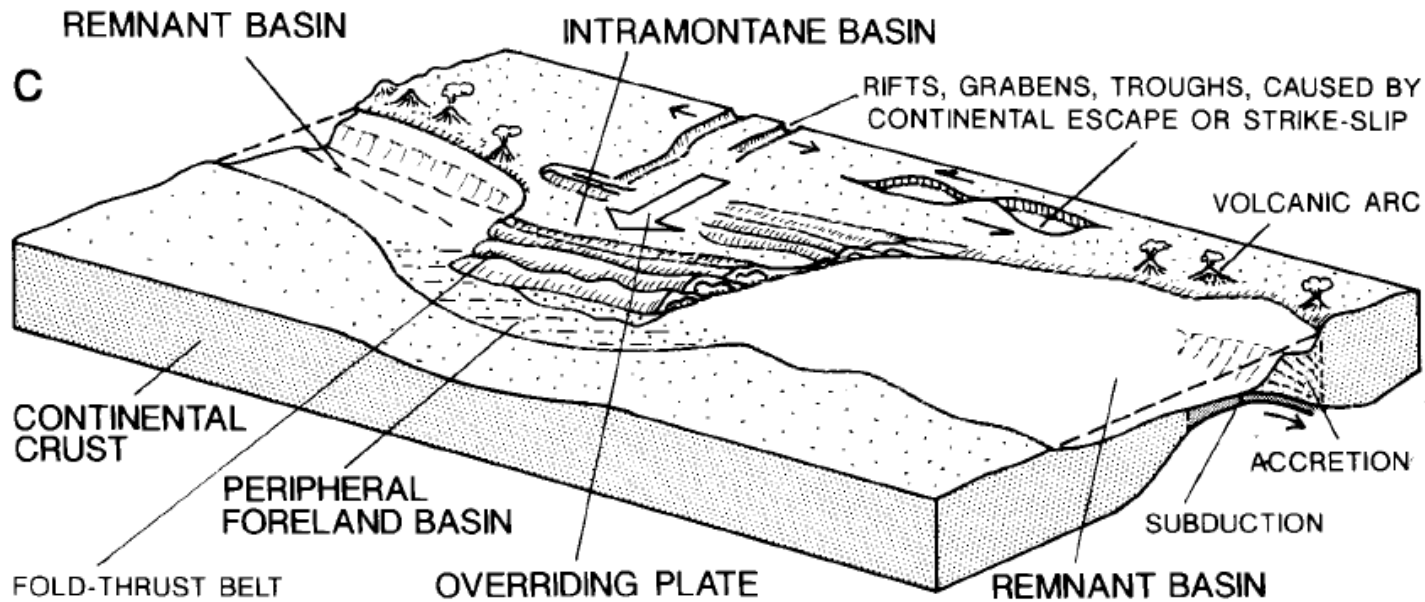


## Bacias de antepaís de retroarco



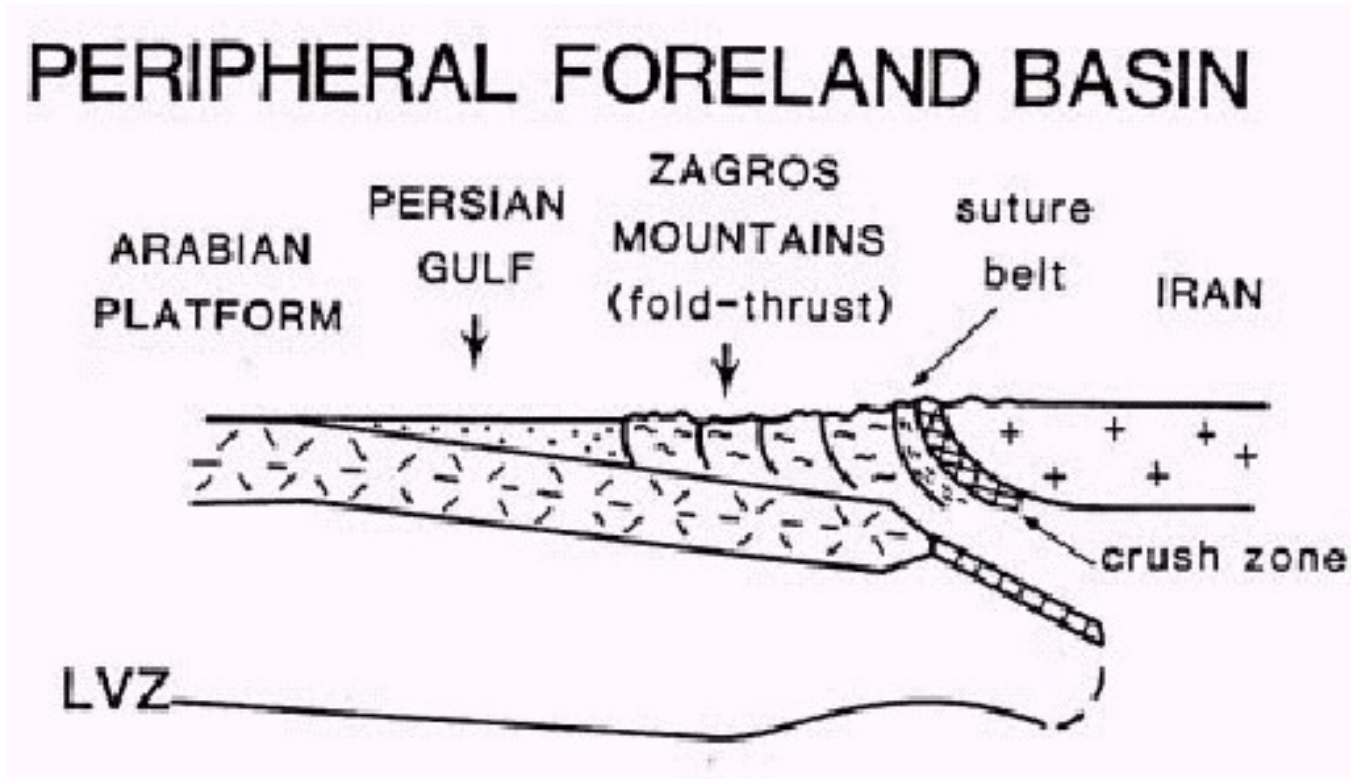
# COLLISION-RELATED BASINS

Estratigrafia  
GSA0307



Bacias Sedimentares - Classificação, Bacias Distensionais, Bacias de Subsidência Térmica

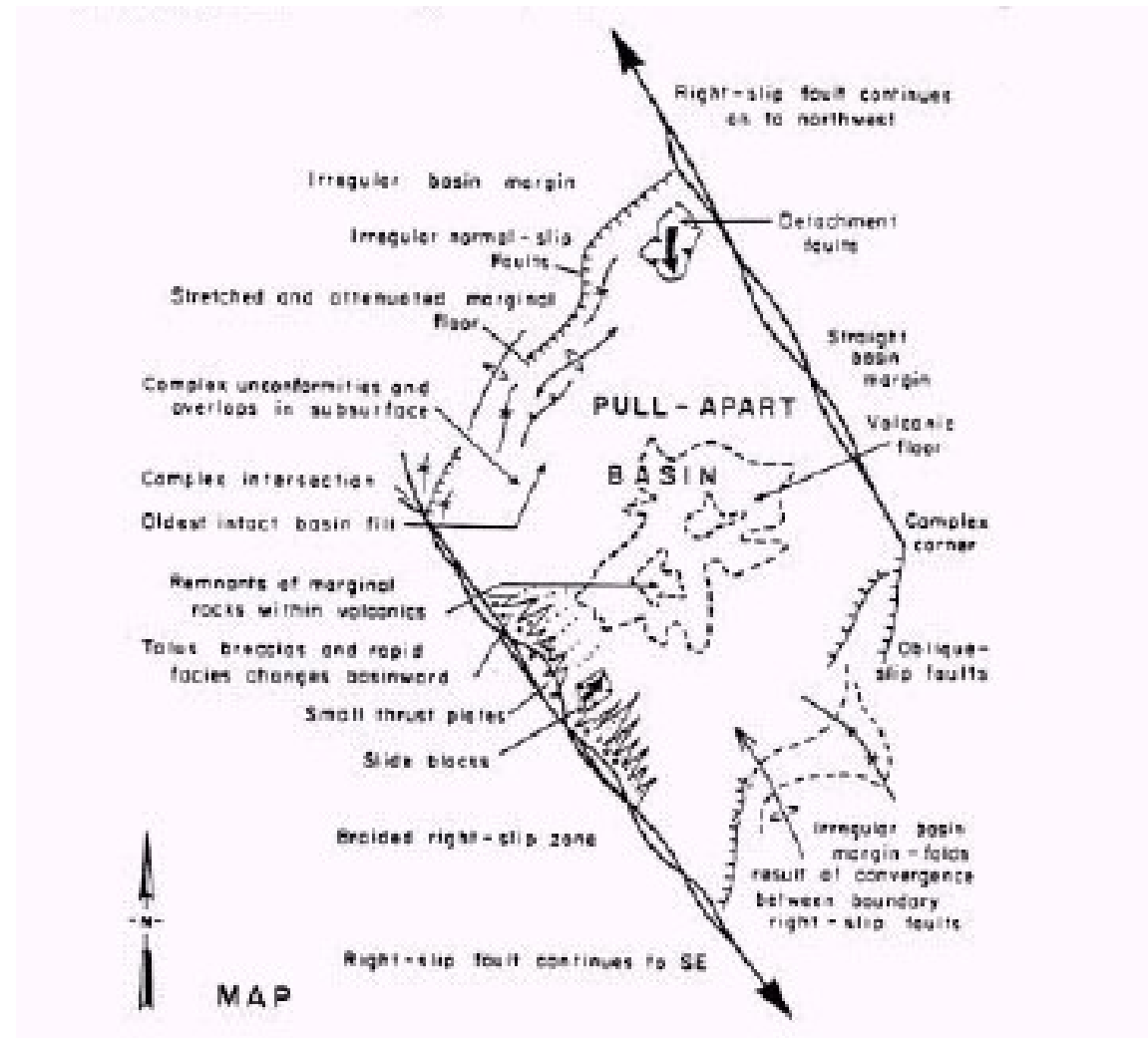
### Bacias periféricas de ante-país



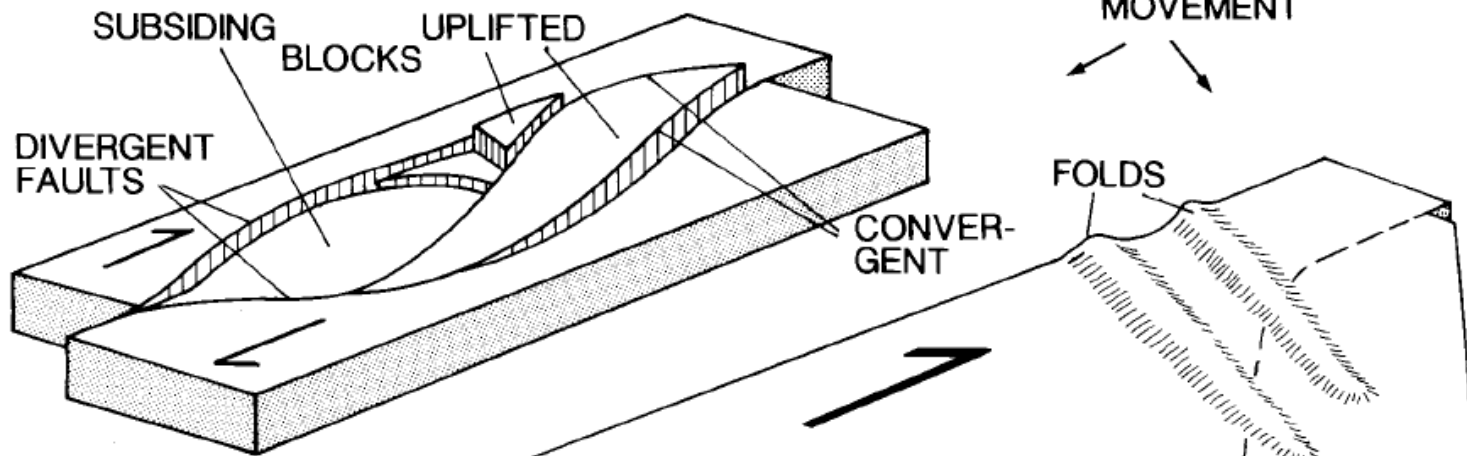


**Bacias de contexto transforme:**

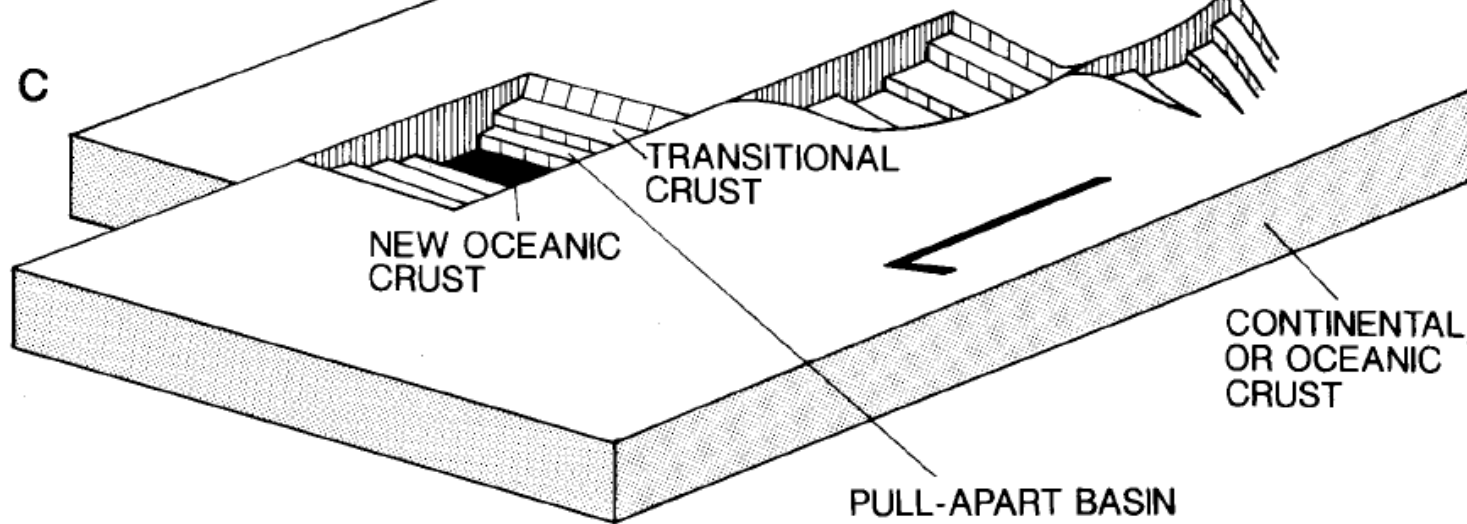
- Bacias transtrativas
- Bacias transpressivas
- Bacias transrotacionais



### b STRIKE SLIP/WRENCH BASINS



### c

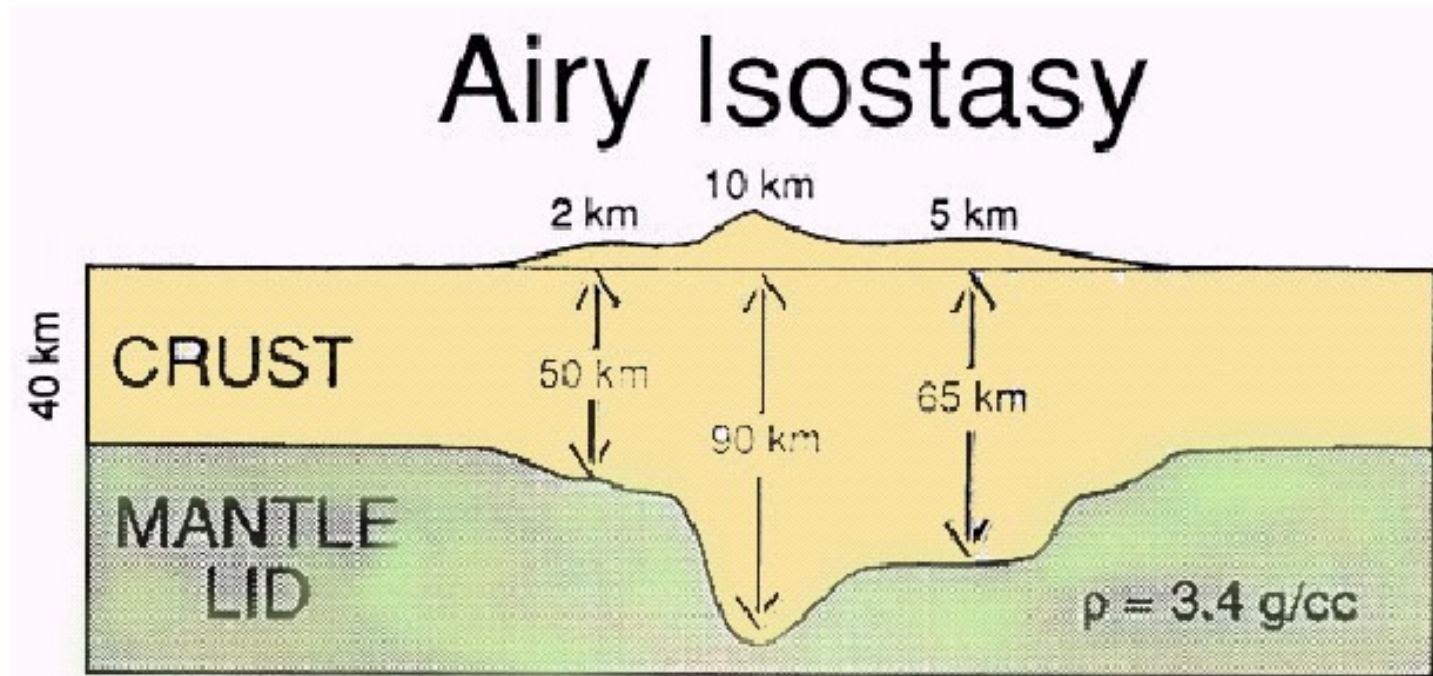


# Mecanismos de Subsidência: Mecânico e Térmico

## Resposta da crosta a mudanças de estado: Isostasia

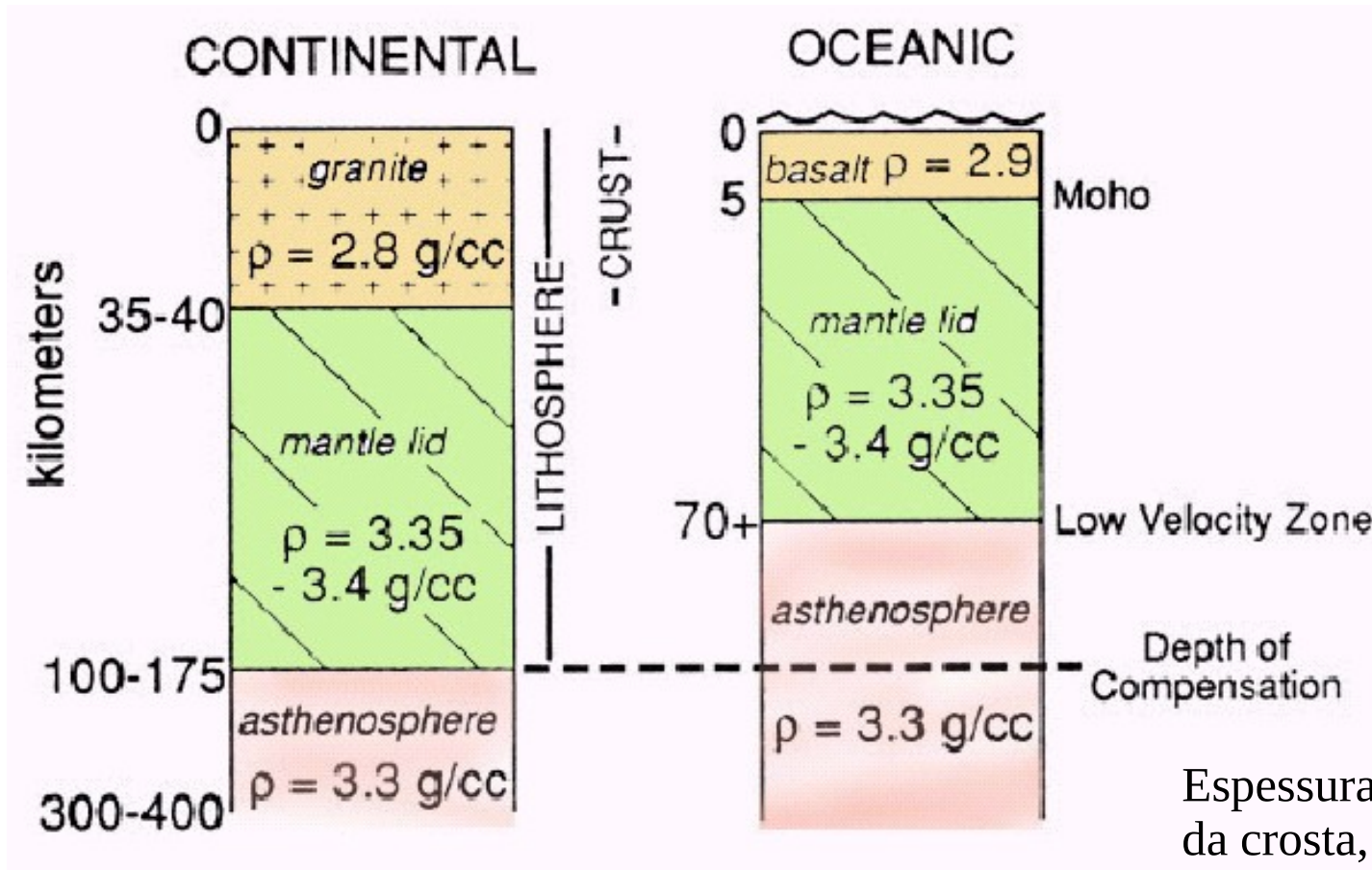
- Compensação isostática

1. Tipo Pratt (variação de densidade)
2. Tipo Airy (variação de espessura)



Na base das duas colunas as forças igualam-se:

$$H_1 * \rho_c * g = H_2 * \rho_c * g + (H_1 - H_2) * \rho_m * g$$



Espessuras e densidades da crosta, manto astenosférico e manto litosférico.

Relevo relativo entre dois blocos continentais adjacentes:

Relevo relativo entre dois blocos continentais adjacentes:

Se Z é preenchido por água (densidade=1.0 g/cm<sup>3</sup>):

Massa da coluna 1 = Massa da coluna 2

$$30 \cdot 2,8 + 90 \cdot 3,4 = Z \cdot 1,0 + 15 \cdot 2,8 + 45 \cdot 3,4 + (60 - Z) \cdot 3,3$$

$$390 = Z + 42 + 153 + 198 - 3,3Z$$

$$3,3Z - Z = 393 - 390$$

$$2,3Z = 3$$

$$Z = 1,3 \text{ km}$$

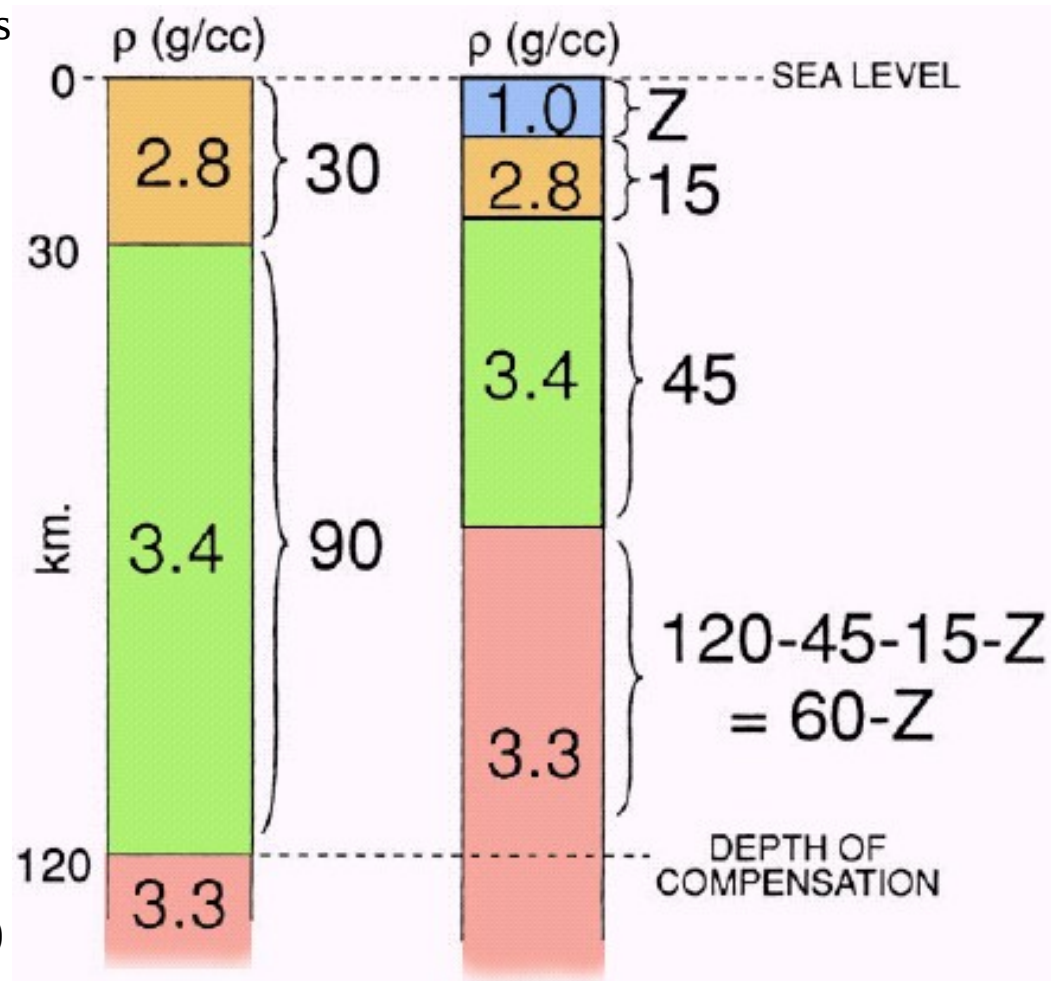
Se Z é preenchido por ar (densidade ~0 g/cm<sup>3</sup>)

$$3,3Z = 3$$

$$Z = 0,9 \text{ km}$$

Se Z é preenchido por sedimento (densid.=2,3 g/cm<sup>3</sup>)

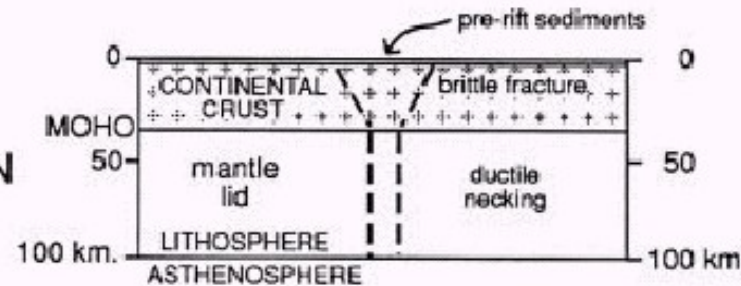
$$Z = 3 \text{ km}$$



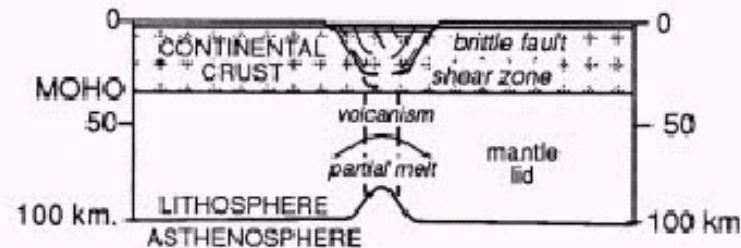
Bacias Sedimentares - Classificação, Bacias Distensionais, Bacias de Subsistência Térmica

Se uma porção da crosta passar da condição da coluna 1 para a da coluna 2, ocorre subsidência.

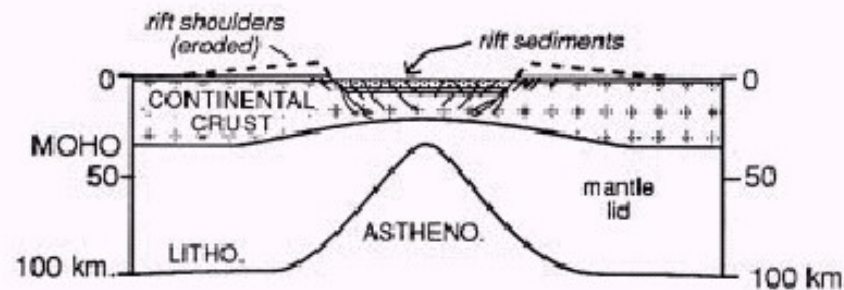
PRE-RIFT CONFIGURATION



GRABEN FORMATION  
( $\beta = 1.1$ )

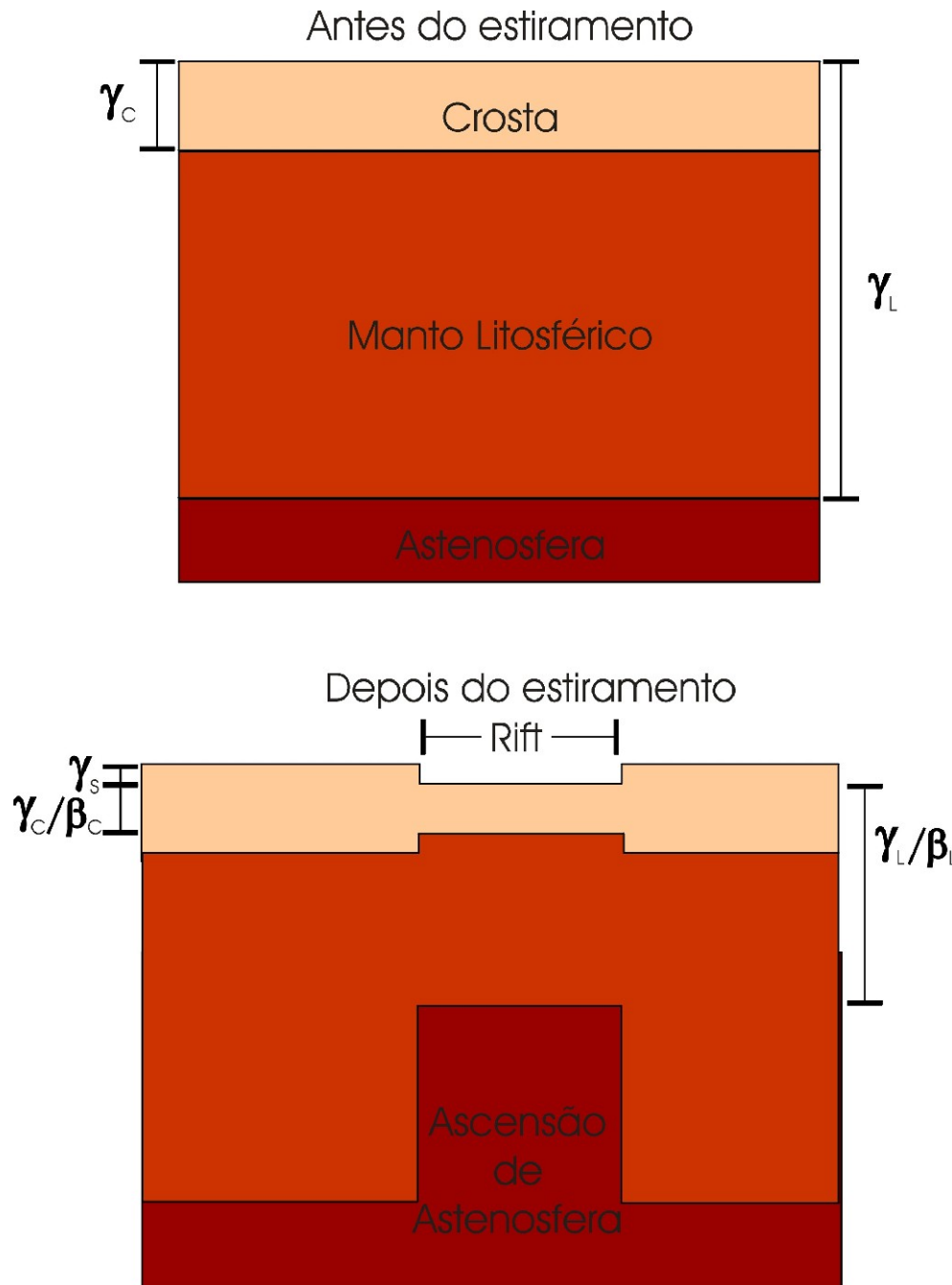


RIFT BASIN  
( $\beta = 1.6$ )



Esse tipo de subsidência por afinamento crustal ou litosférico é denominado **subsidência mecânica**.

A subsidência mecânica ocorre em regiões sujeitas a tectônica distensiva.



A espessura inicial da crosta ou litosfera sobre a espessura após a distensão determina o fator  $\beta$ .

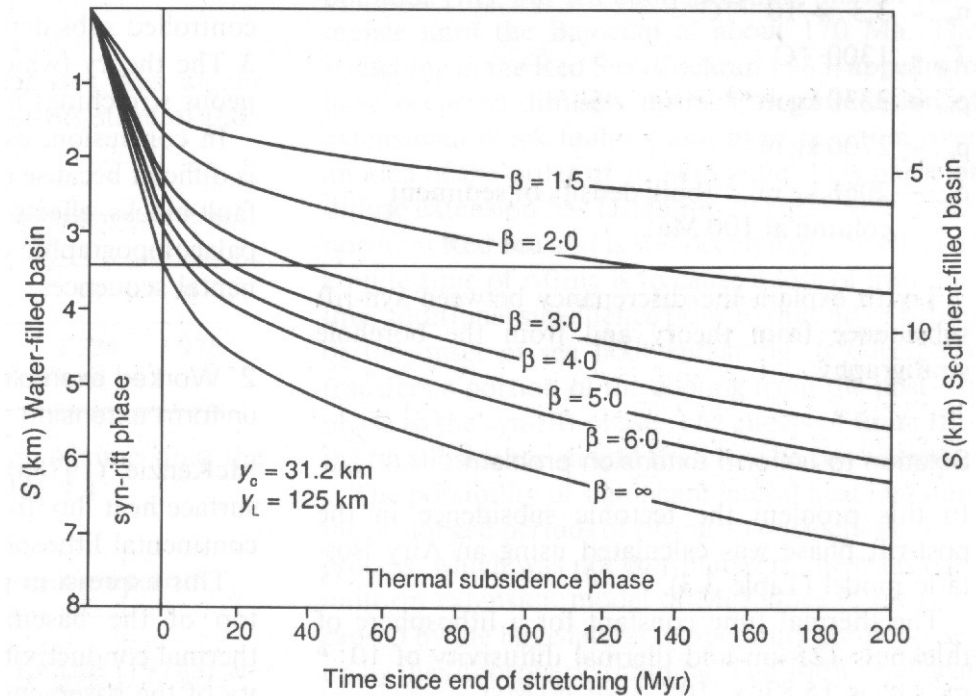
Como distensão da litosfera implica em ascensão de astenosfera, o gradiente térmico aumenta.

O aquecimento da litosfera pode ser rápido se houver adição de magma, e com isso a densidade diminui e a subsidência é reduzida.



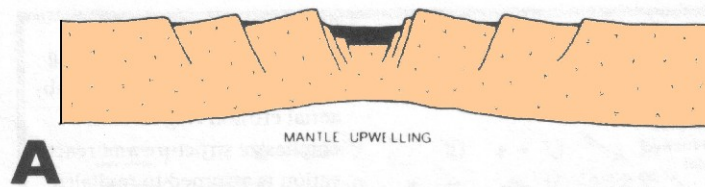
Quando a distensão termina, a litosfera esfria lentamente e ganha volume com a transformação de astenosfera quente em litosfera mais fria.

Esse resfriamento é acompanhado por aumento de densidade e, portanto **subsidência termal ou térmica**.

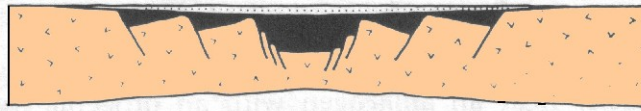


Para cada fator beta há uma curva exponencial de subsidência termal.

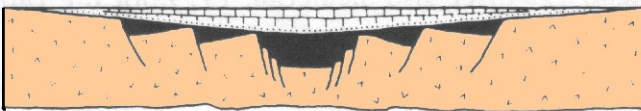
**Em um modelo unidimensional, a subsidência total é mesma calculada para a compensação isostática sem os efeitos termais, apenas a curva é modificada.**



**B**



**C**



**D**

Como a crosta inferior e a litosfera apresentam comportamento dúctil com a deformação, a área de ascensão astenosférica é maior que a de distensão crustal.

Assim, a subsidência termal afeta uma área maior que a subsidência mecânica por ela responsável.

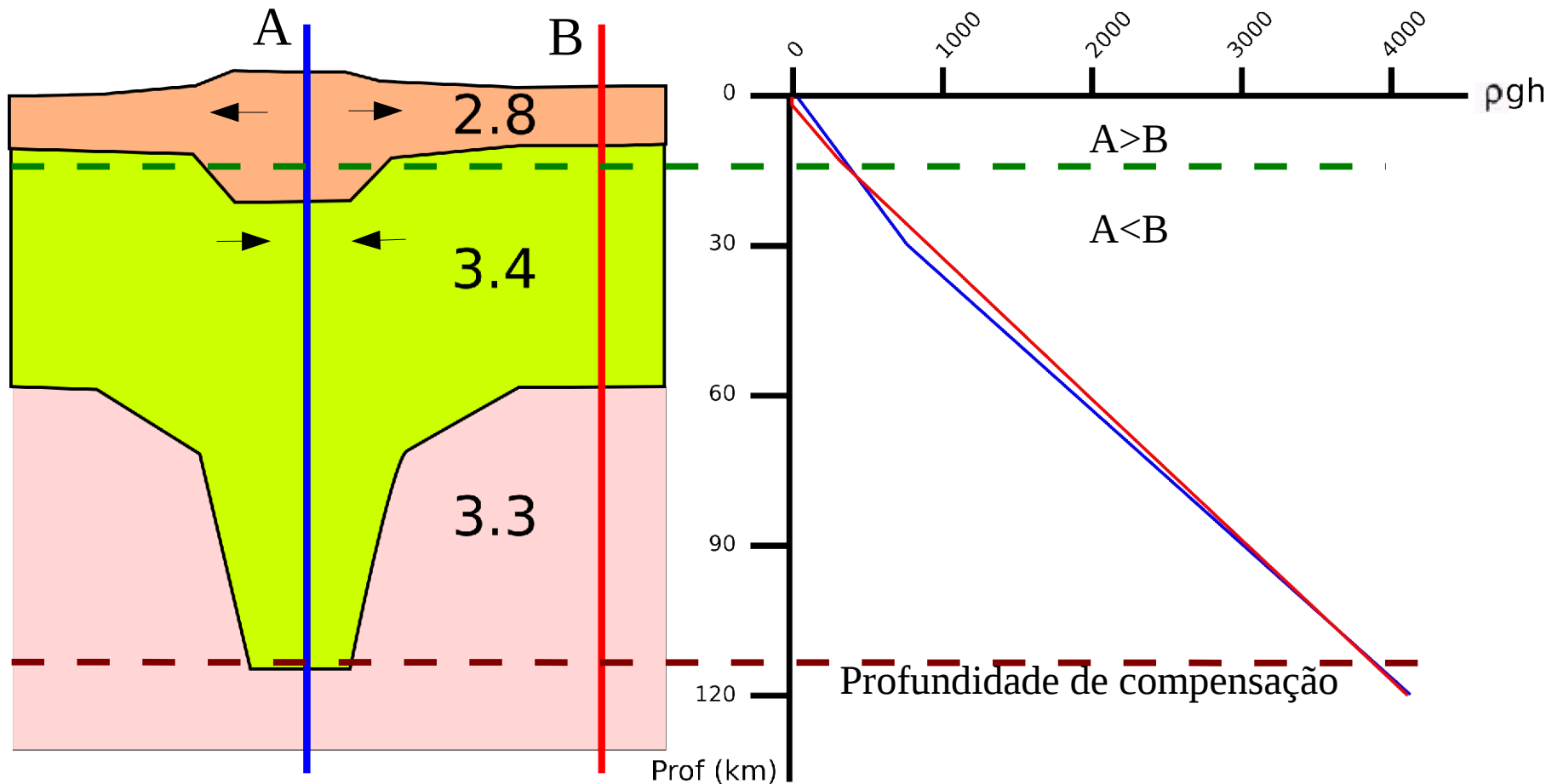
## O ovo ou a galinha?

Pelo modelo acima descrito, a distensão causa subsidência que causa ascensão de Astenosfera (aumento de gradiente geotérmico).

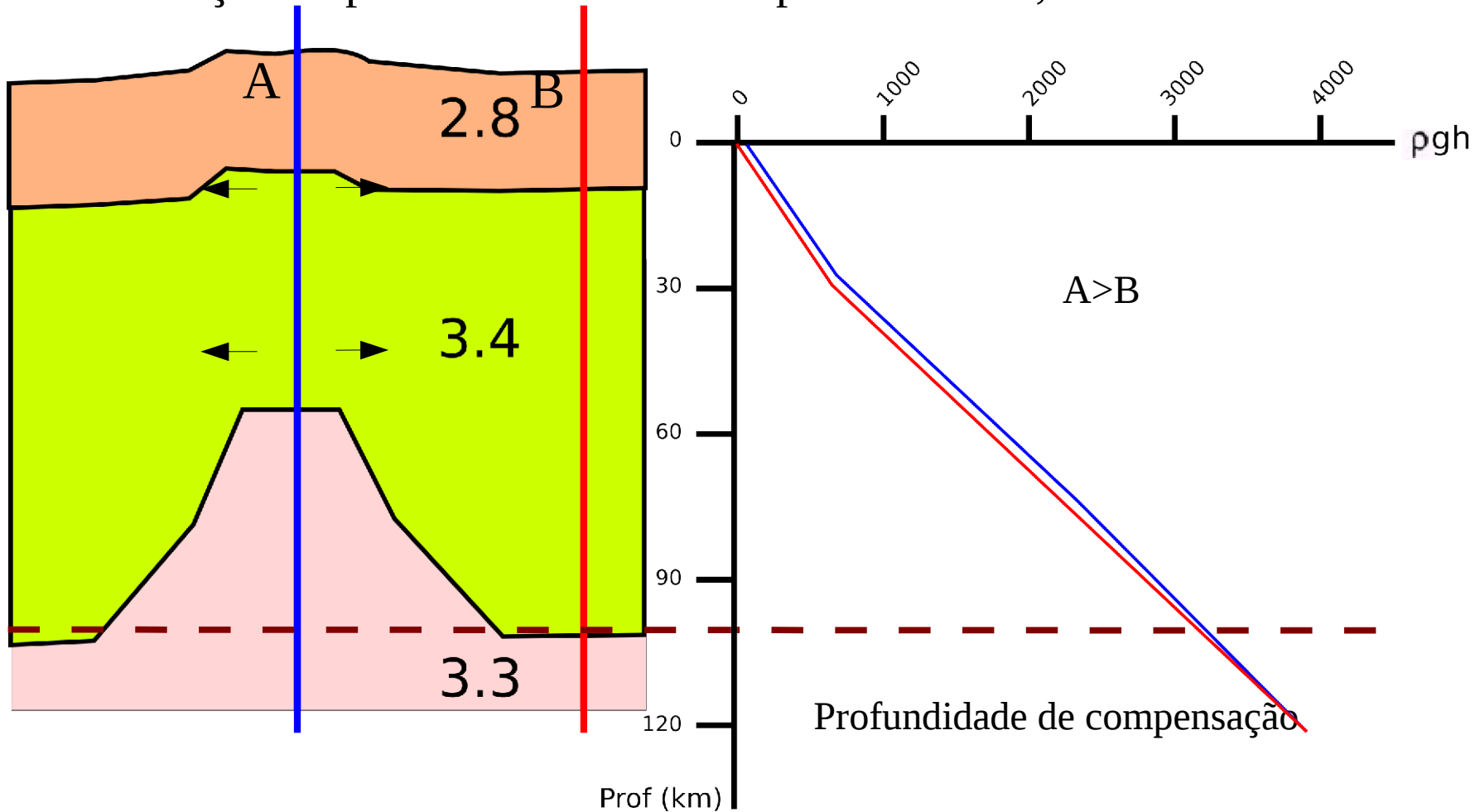
Mas qual a causa da distensão?

- 1- Tensões de borda e placa.
- 2- Colapso distensional

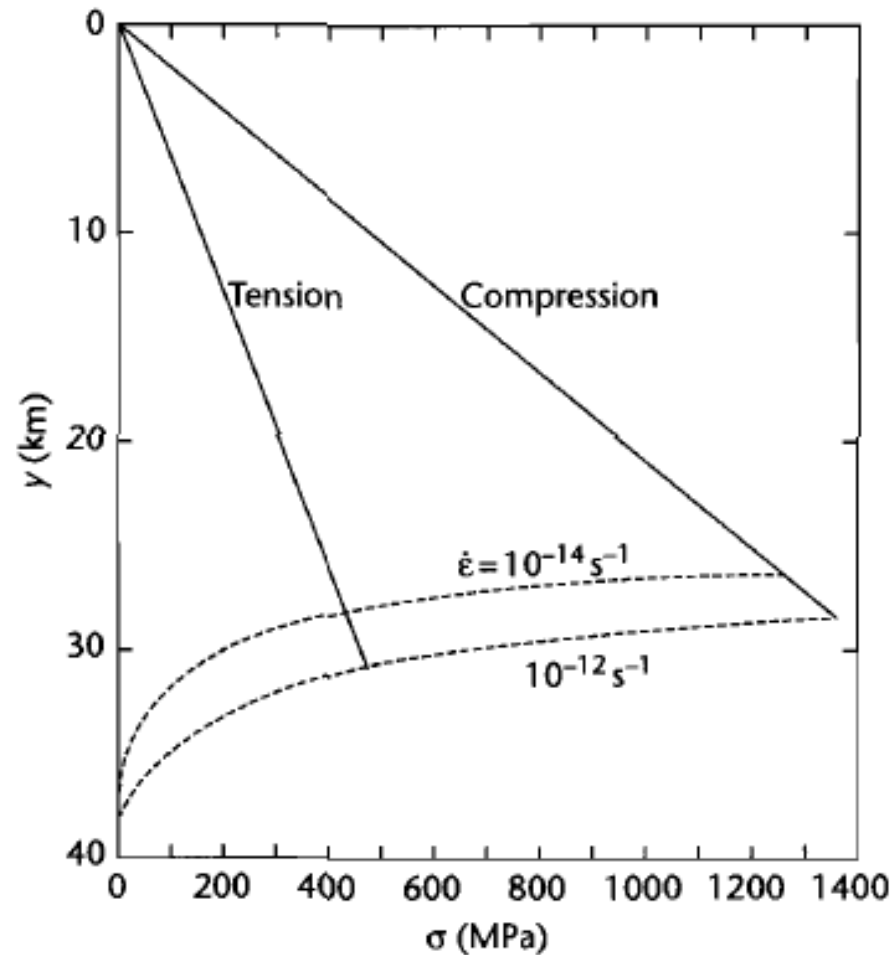
Variação da pressão litostática em profundidade



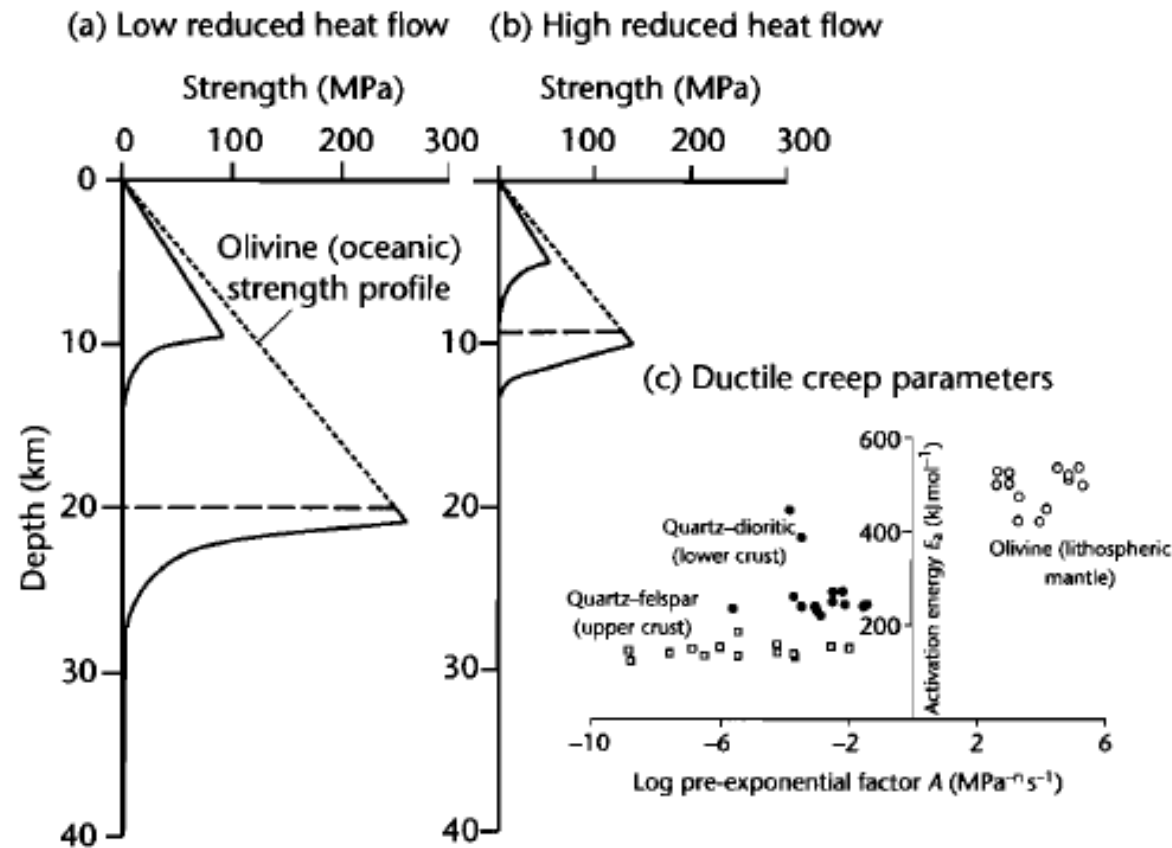
Variação da pressão litostática em profundidade,



A própria ascensão de astenosfera causa distensão litosférica e o processo se auto-alimenta



**Fig. 2.35** Strength profile for the oceanic lithosphere calculated using equation (2.92) for tension and equation (2.93) for compression. The dashed lines are the stresses associated with creep in the lithosphere at the strain rates indicated. Reproduced courtesy of Cambridge University Press.

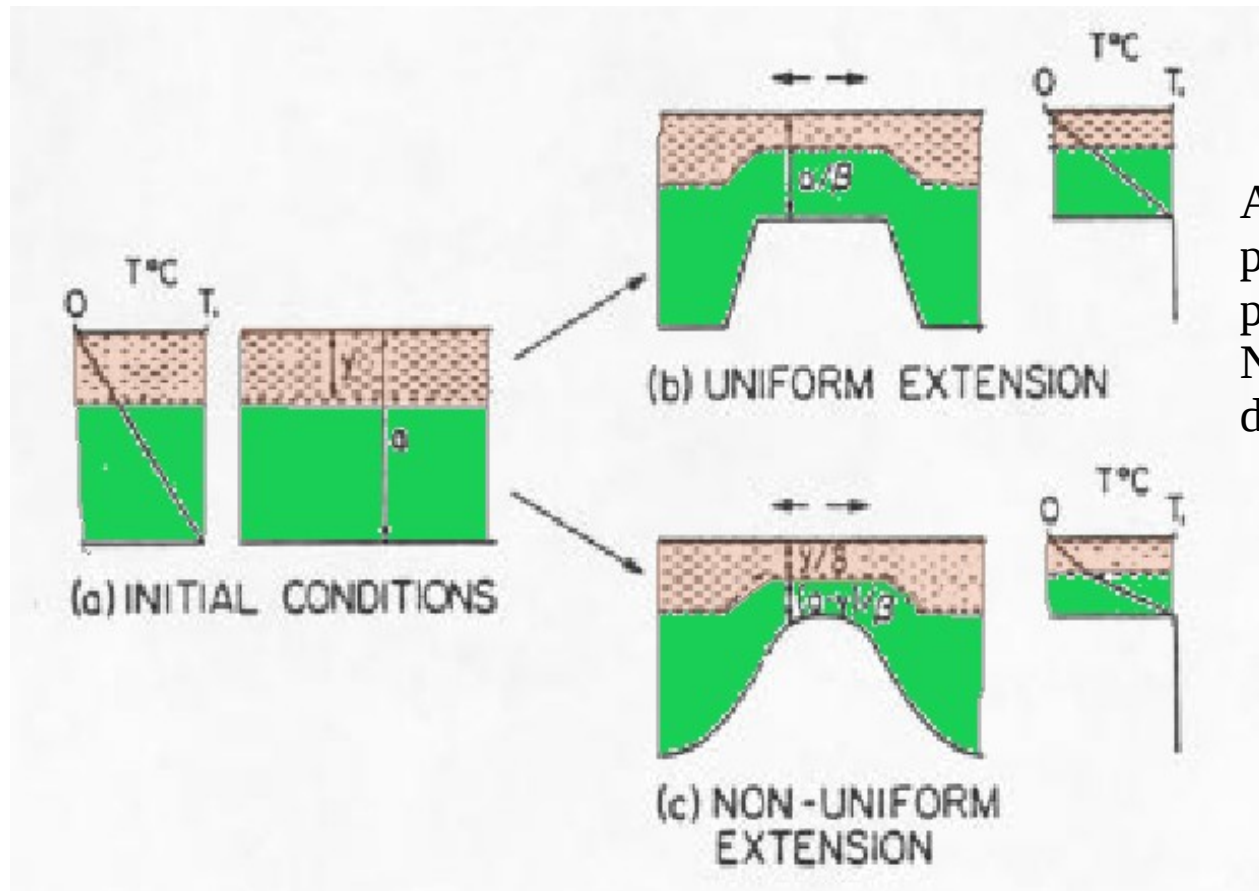


**Fig. 2.36** Strength profiles of the continental lithosphere for different geothermal gradients, using (a) a low reduced heat flow of  $25 \text{ mW m}^{-2}$  for a cold continental shield area, and (b) a higher reduced heat flow of  $59 \text{ mW m}^{-2}$  for an area undergoing extension.  $K = 2.5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $A_0 = 2.1 \text{ mW m}^{-3}$ ,  $T_0 = 15^\circ \text{C}$ , Universal Gas Constant =  $8.31451 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , strain rate is  $10^{-12} \text{ s}^{-1}$ ,  $n = 3$ . For the olivine rheology,  $A = 10^4 \text{ MPa}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ,  $E_a = 500 \text{ kJ mol}^{-1}$ ; for brittle failure under tension  $f_t = 0.6$ ,  $\rho = 3300 \text{ kg m}^{-3}$ . For the lower crustal rheology,  $A = 100 \text{ Pa}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ,  $E_a = 300 \text{ kJ mol}^{-1}$ , and for brittle failure under tension  $f_t = 0.6$  and  $\rho = 2750 \text{ kg m}^{-3}$ ; (c) shows plot of activation energy  $E_a$  versus the pre-exponential factor  $A$  for a range of rock types typical of the lithospheric mantle, lower crust, and upper crust (derived from Table 1, Fernandez and Ranalli 1997).

Pode haver diferença significativa entre a distensão crustal (C) e a distensão de manto litosférico (L).

A primeira causa subsidência e a segunda soerguimento.

Se  $L > 1,5 C$ , há soerguimento durante a distensão.



Afinamento litosférico pode ser produto de vários processos de aquecimento, Não necessariamente distensão regional.



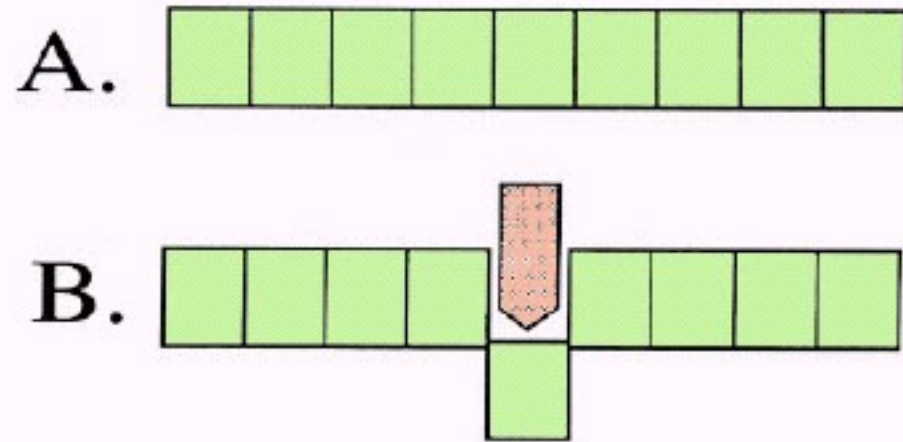
Uma sobrecarga (e.g. cavalgamento, edifício vulcânico) também causará compensação isostática.

Se a litosfera fosse formada por blocos separados com movimento vertical independente, essa compensação não causaria subsidência, pois não haveria abatimento **da superfície**.

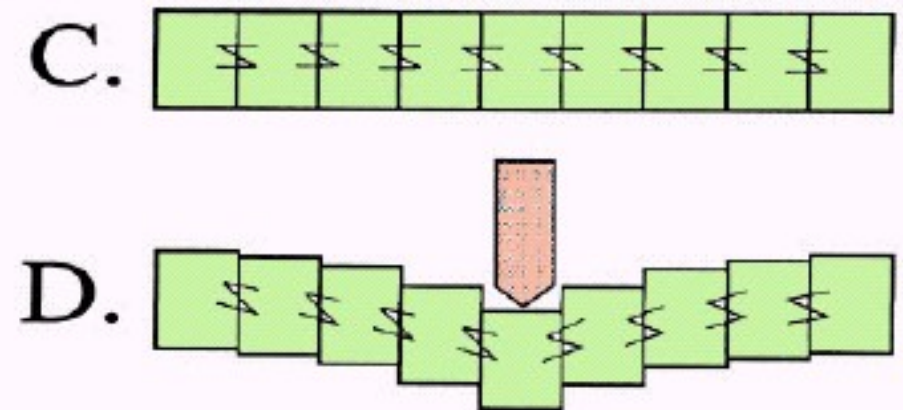
Na realidade a crosta tem uma rigidez que implica em abatimento por flexura de áreas adjacentes à sobrecarga.

Esse abatimento é denominado **subsidência flexural**.

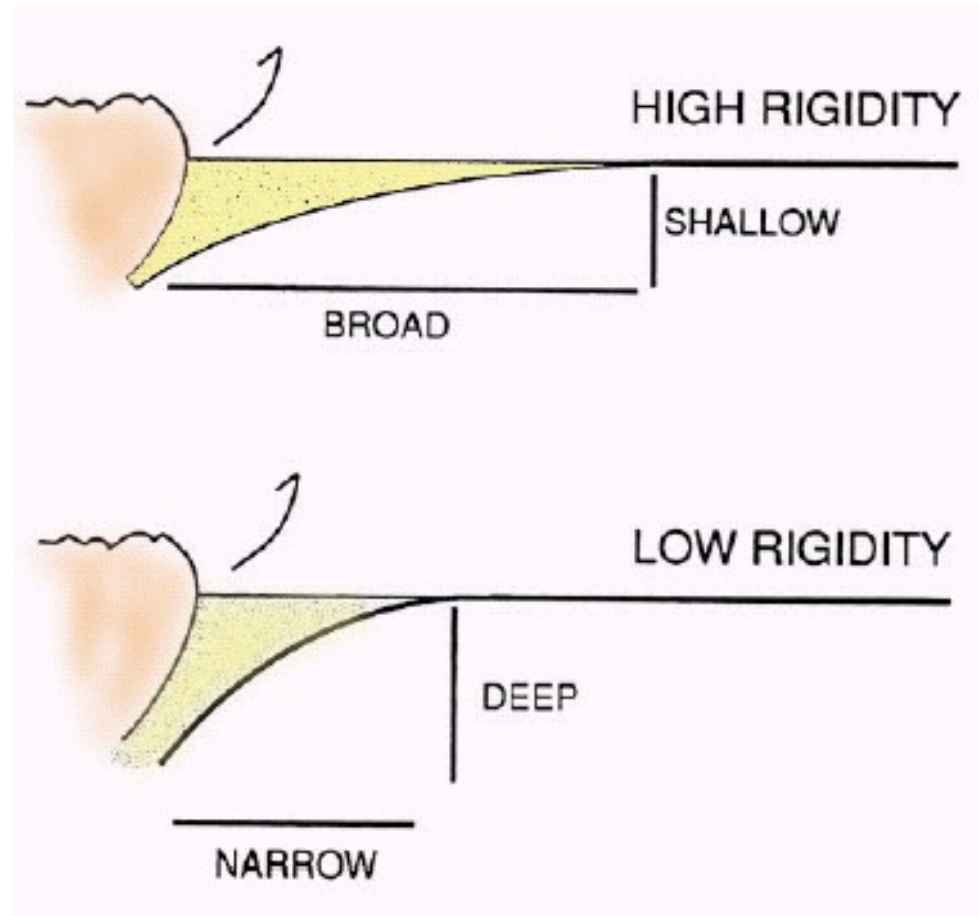
## LOCAL ISOSTASY



## FLEXURE (REGIONAL ISOSTASY)



A distância a partir da área de sobrecarga afetada pela subsidência e a profundidade dessa subsidência dependem da rigidez flexural da crosta.



# Sedimentary input: climate and tectonics

- Sedimentary yield of source areas ( $\text{kg km}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ) and area of eroding sources determine the sediment input to the system.

- Sedimentary yield is controlled by slope, erodibility and climate.

For example: Ludwig & Probst (1996):  $SY = 0.02 \cdot (R \cdot S \cdot VP)$

SY= sediment yield ( $\text{t}/\text{km}^2/\text{year}$ )

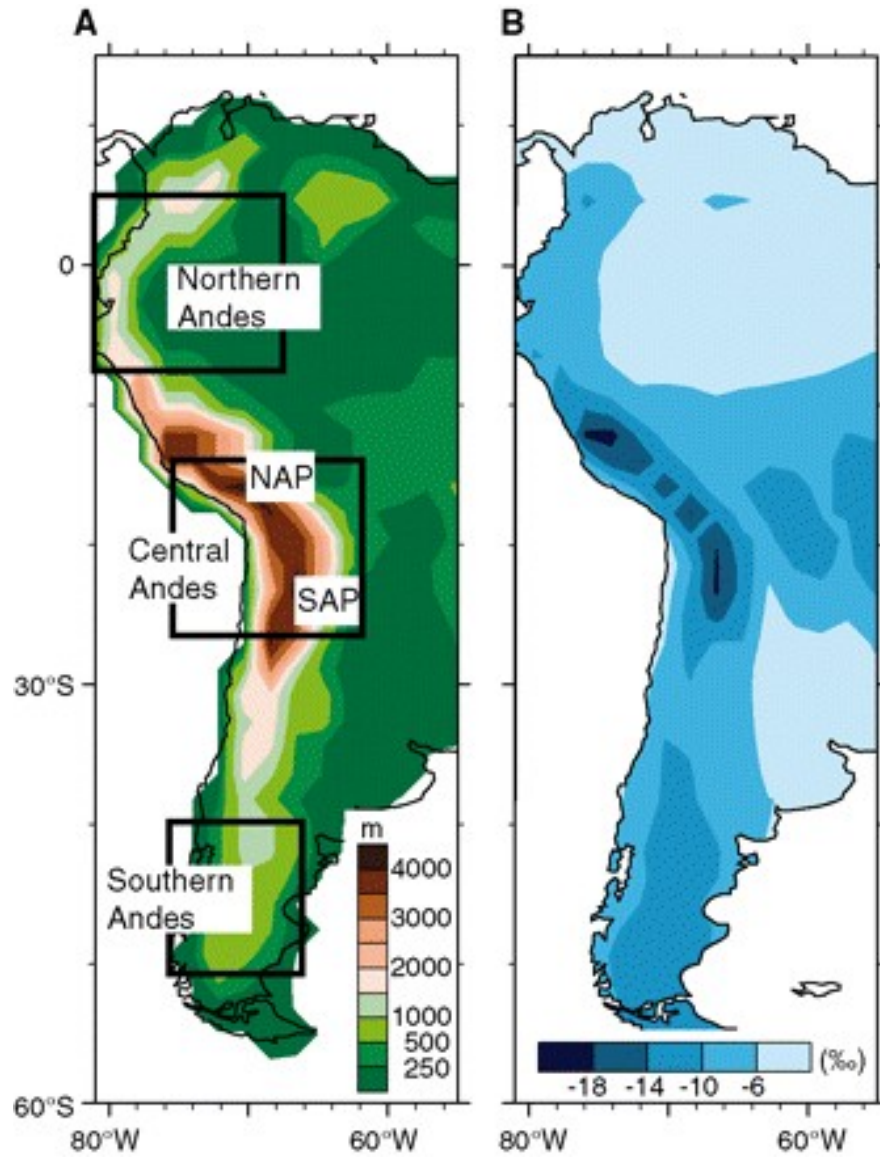
R= specific runoff ( $\text{mm}/\text{year}$ )

S=average slope at source area

VP=variability of precipitation=  $P^2$  monthes/ P year ( $\text{mm}/\text{year}$ )

- Tectonics controls slope (often in pulses of uplift)
- Uplift control precipitation (orographic rainfall)
- Climate change imposes high frequency cycles (tens of ky)

# Orographic precipitation



Poulsen et al. 2010. Science, Vol. 328 no. 5977 pp. 490-493

# Tectonic environments and sediment yield

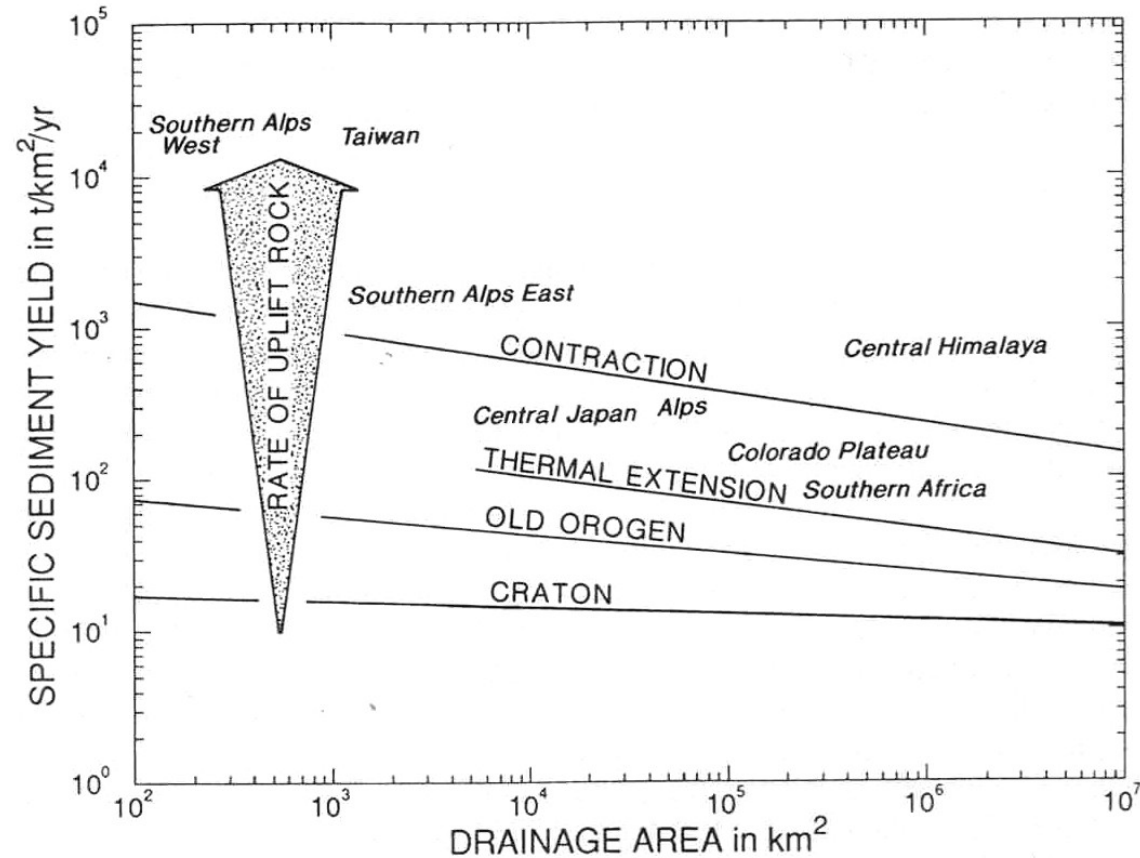
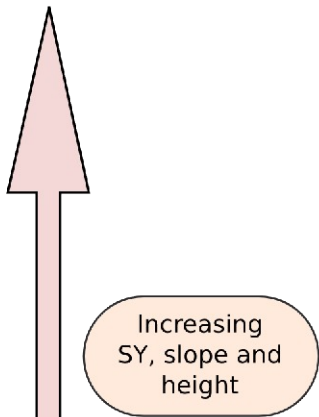
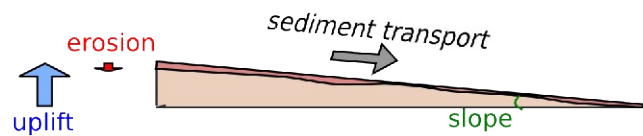
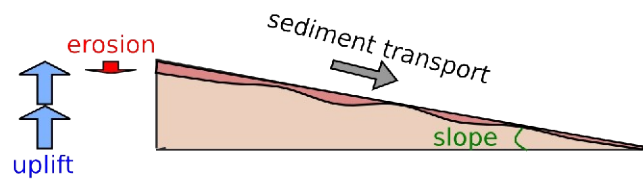
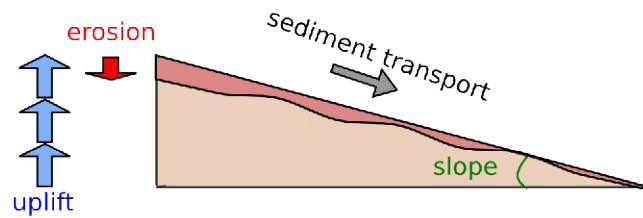
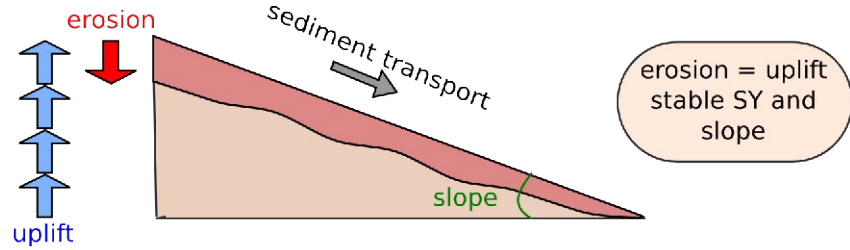
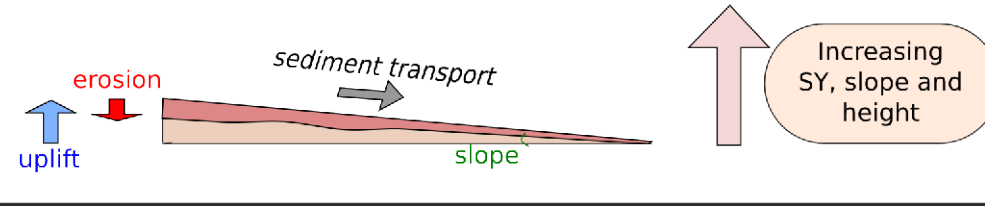
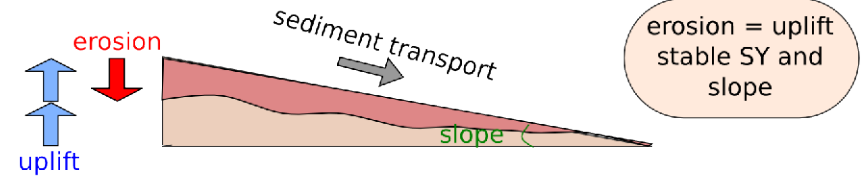


FIG. 4.—Least squares regression lines for four of the five subsets of drainage basins depicted in Figure 3. The regression line for catchments in a setting of thermal extension is tentative. The direction of increasing rate of vertical strain is indicated. Regions with relatively high rates of uplift of rock plot high with respect to the appropriate regression line, while regions with relatively lower rates of uplift of rock plot closer to, or below the regression line. Equations for the regression lines:

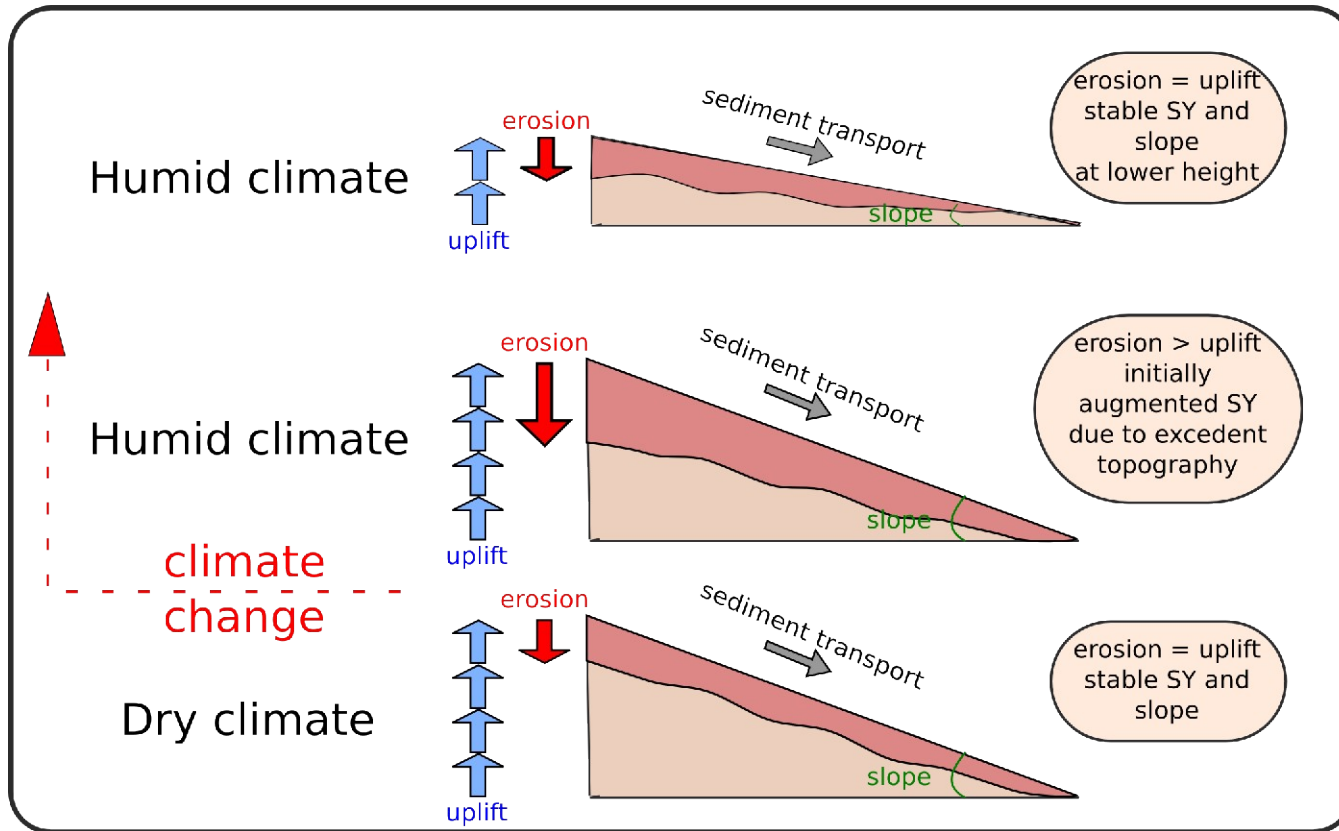
Dry climate or low erodibility



Humid climate or high erodibility

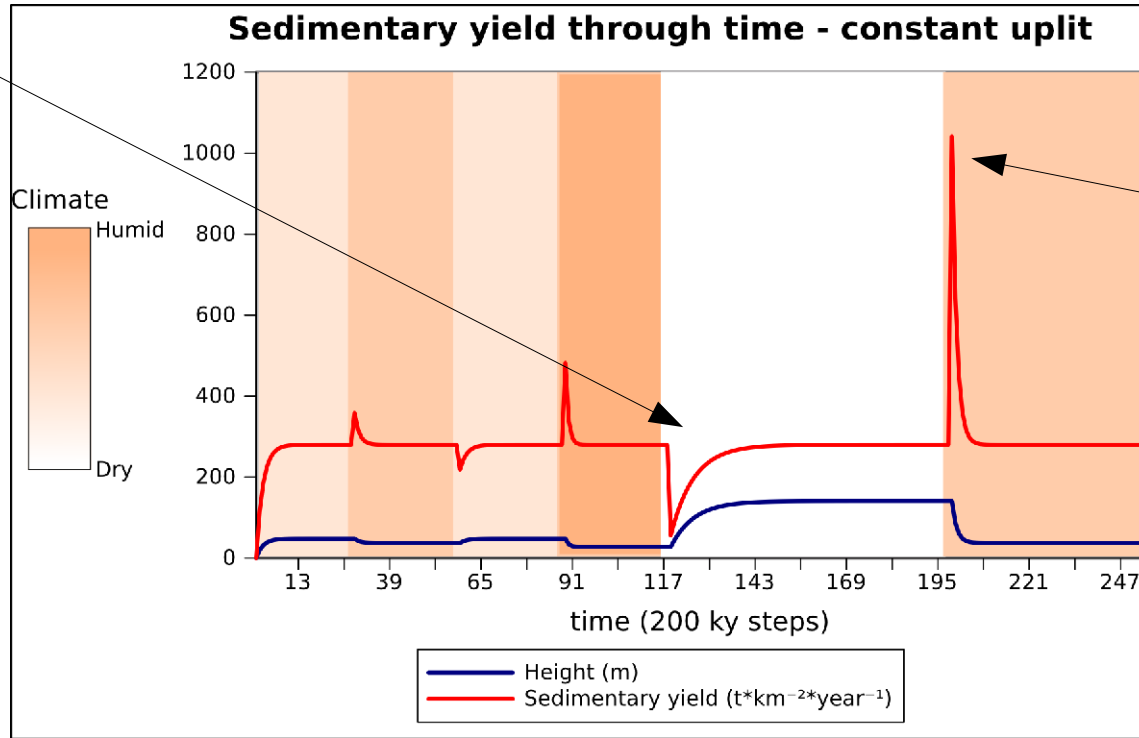


# Effect of climate change on SY



# Effects of climate change on SY

Longer recovering time during dryer period

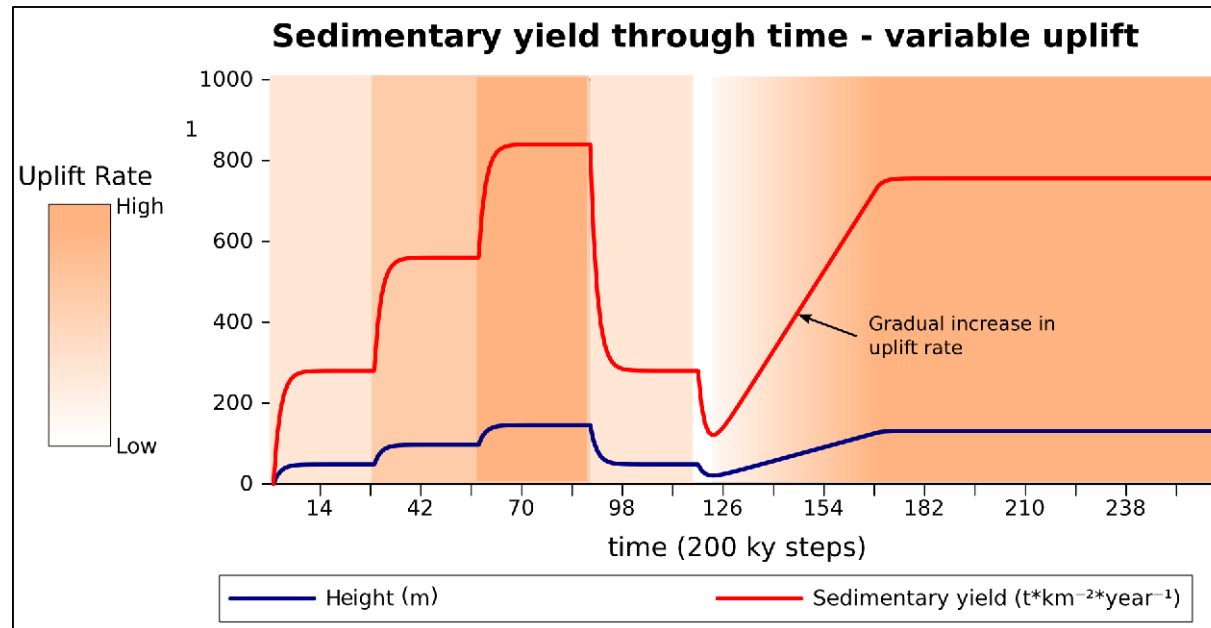


Augmented spike due to previous arid period

Long-lasting changes in precipitation cause initial spike of SY and subsequent stabilization at the former level (with different height and slope)



## Variable uplift and sediment yield



Changes in uplift rates cause durable change in SY – for each uplift rates there is one fixed SY (if all other variables are kept constant)

# Tectonic pulses

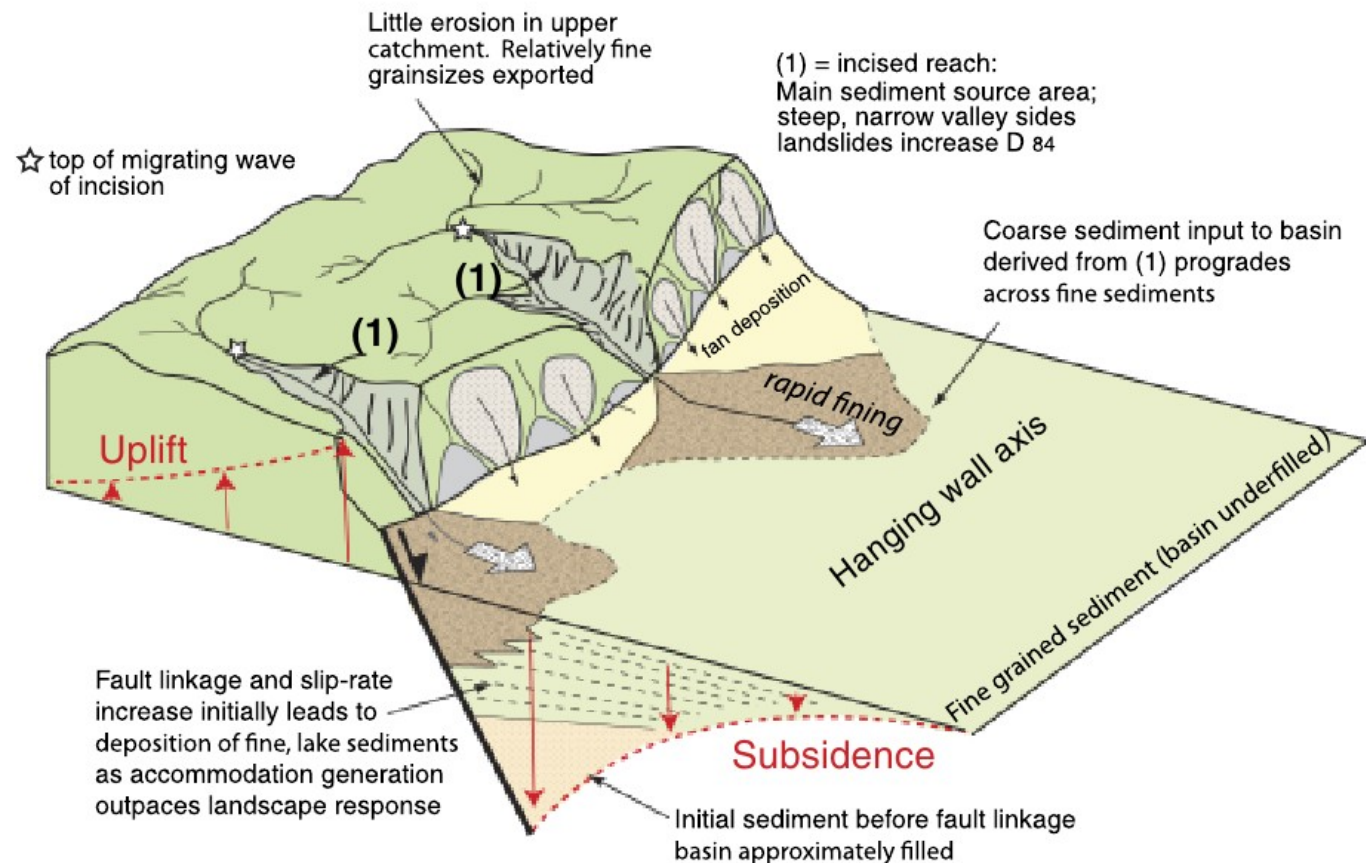
Subsidence pulses act instantaneously in generating accommodation space, while uplift has a retarded effect on the sediment input.

Blair & Bilodeau *GEOLOGY*, v. 16, p. 517–520, June 1988

## Transient sedimentological response to tectonic perturbation

Whittaker et al.

*Basin Research* (2010) 22, 809–828



**Fig. 11.** Synthesis diagram showing the erosional and depositional patterns characterising the transient response of footwall catchments and hanging-wall basins to an increase in fault uplift rate as evidenced from the Central Apennines of Italy.

# Effect of tectonic pulses

## Retarded clastic advance

Q. Clevis et al. / Sedimentary Geology 163 (2003) 85–110

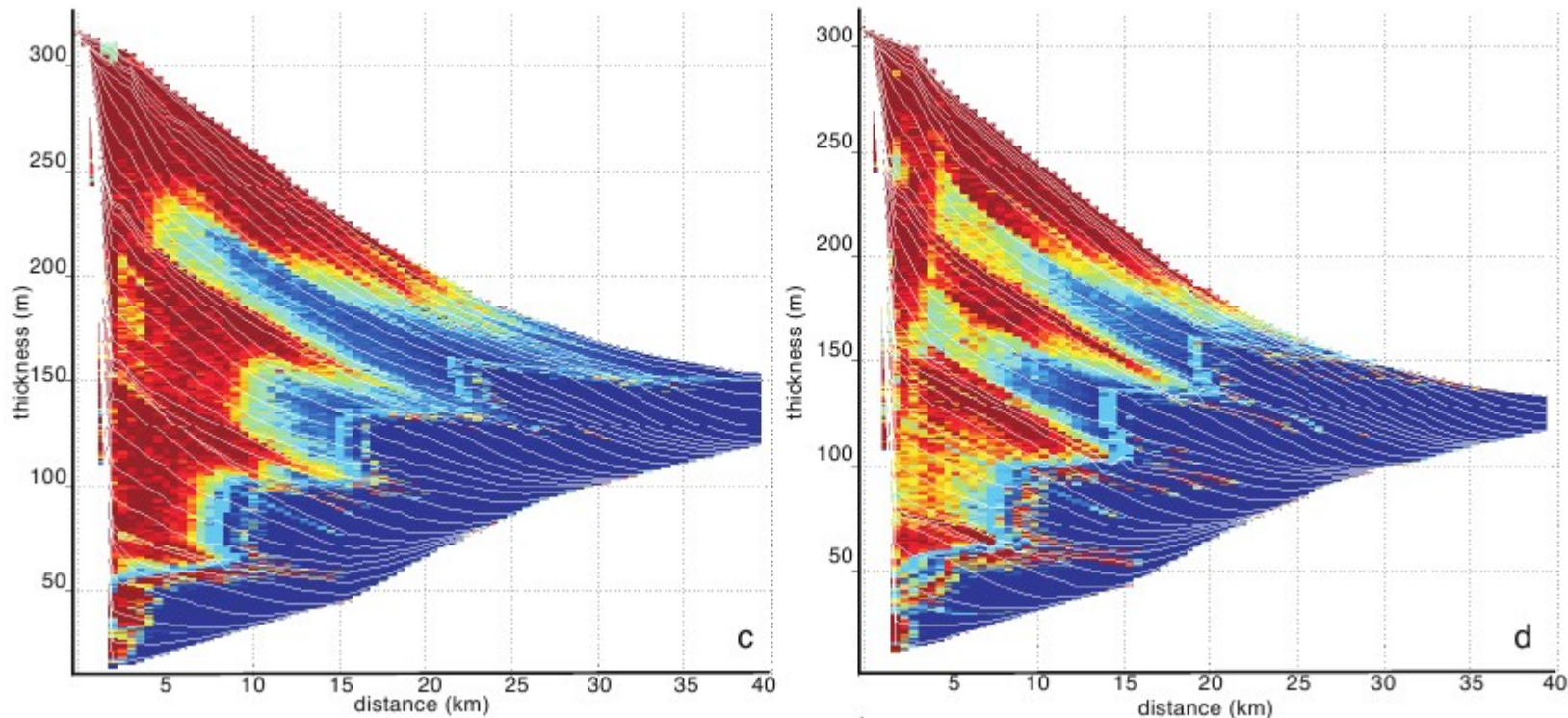


FIG. 63 (continued).—C) 3-D compressional-basin model with surface processes and grain-size sorting (Clevis et al., 2003). Cross sections (c, d) showing distribution of gravel during tectonic pulsation (200,000 yr period). Gravel progrades during tectonic quiescence. Sinusoidal sea-level fluctuation (period 100,000 years, amplitude 20 m) superimposed on tectonic pulsation shown in Part E.