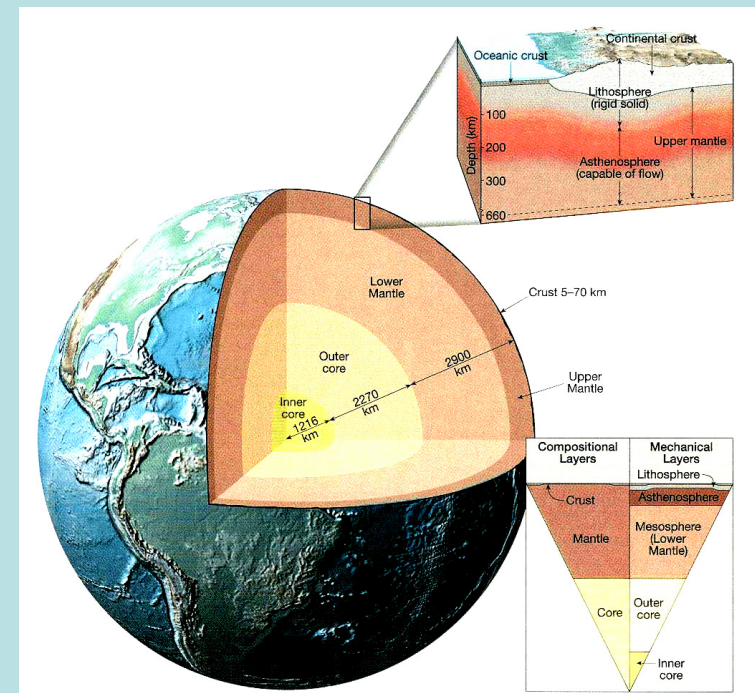


Estrutura Interna da Terra



Observação direta

- perfurações de poços (7 km) + minas subterrâneas (menos profundas), túneis, metrô + superfície.
- *O furo mais profundo feito pelo homem é de ~12km na península de Kola na Rússia (1994)*
- Não são eficientes considerando-se o raio da Terra que é ~ 6400 km.

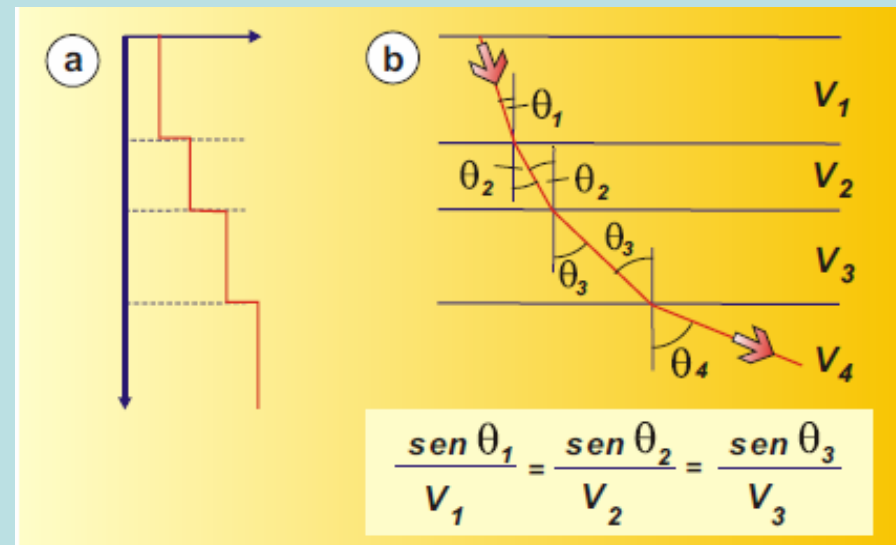
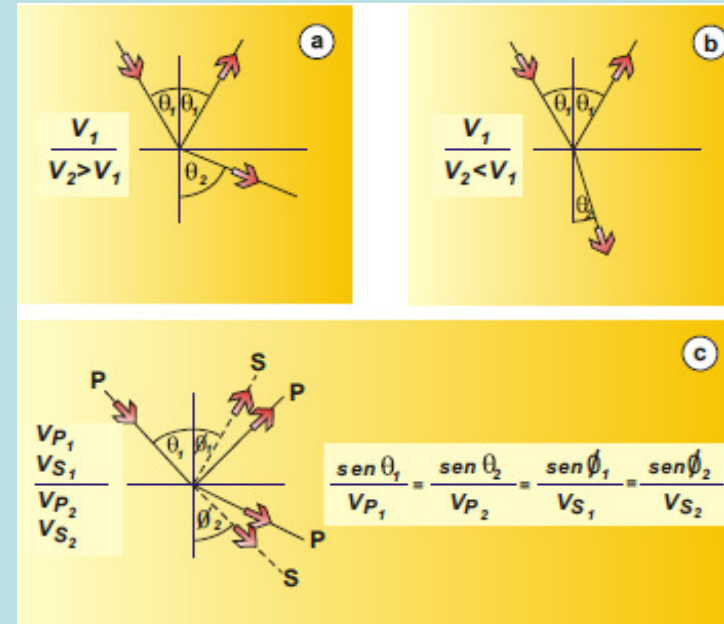
Observação Indireta

- Métodos Geofísicos tais como:
- Sismologia \Rightarrow Ciência que estuda os terremotos
 - Terremotos (falha geológica) liberação espontânea de Energia \Rightarrow propagação de ondas elásticas no interior da Terra (através das rochas) com velocidades definidas que dependem da densidade e do módulo de elasticidade do material que atravessam.

Ondas Sísmicas

- Terremotos \Rightarrow ondas de corpo (S e P) mais importantes, pois penetram no interior da Terra. Sofrem sucessivas reflexões e refrações nas interfaces onde ocorrem mudanças em suas velocidades.

\Rightarrow ondas superficiais (Rayleigh e Love) menos importantes



Lei de Snell numa sucessão de camadas horizontais

Modo de Propagação Ondas P

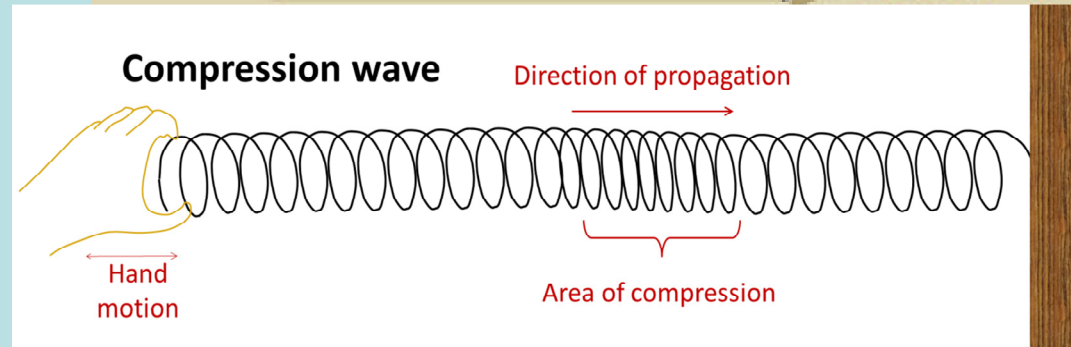
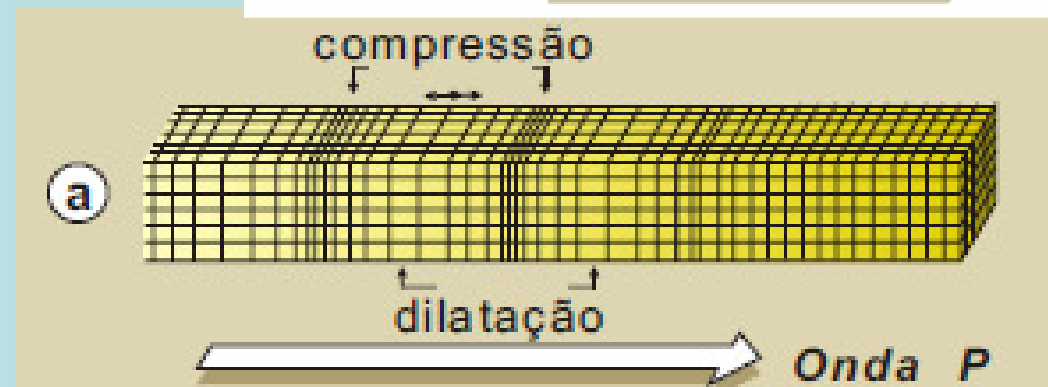
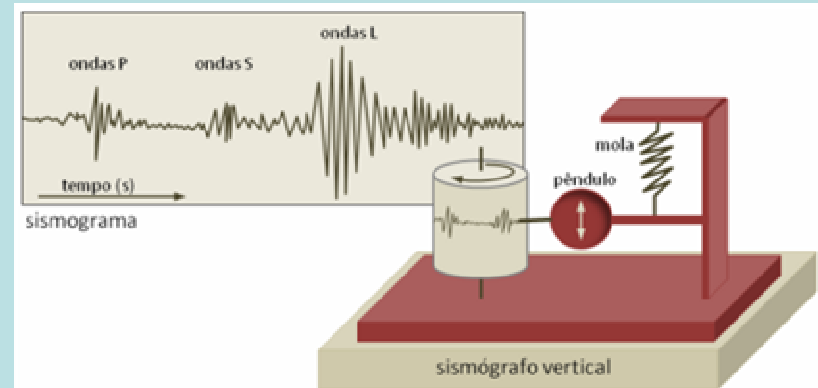
- **Ondas P** (principal) \Rightarrow ondas de compressão, longitudinais. A vibração das partículas ocorre na mesma direção de propagação da onda.

- $V_p = [((K+(4/3)\mu)/\rho)]^{1/2}$

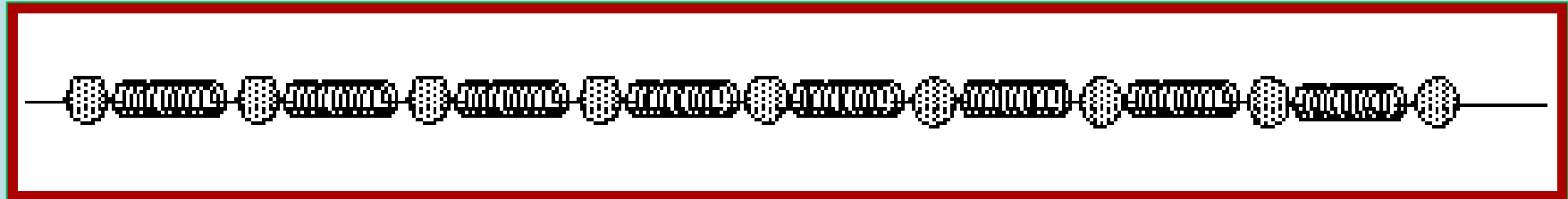
K=módulo de compressão=pressão necessária para comprimir um material,

μ =módulo de rigidez=pressão necessária para mudar a forma do material.

ρ =densidade do meio de propagação



Propagação da onda P



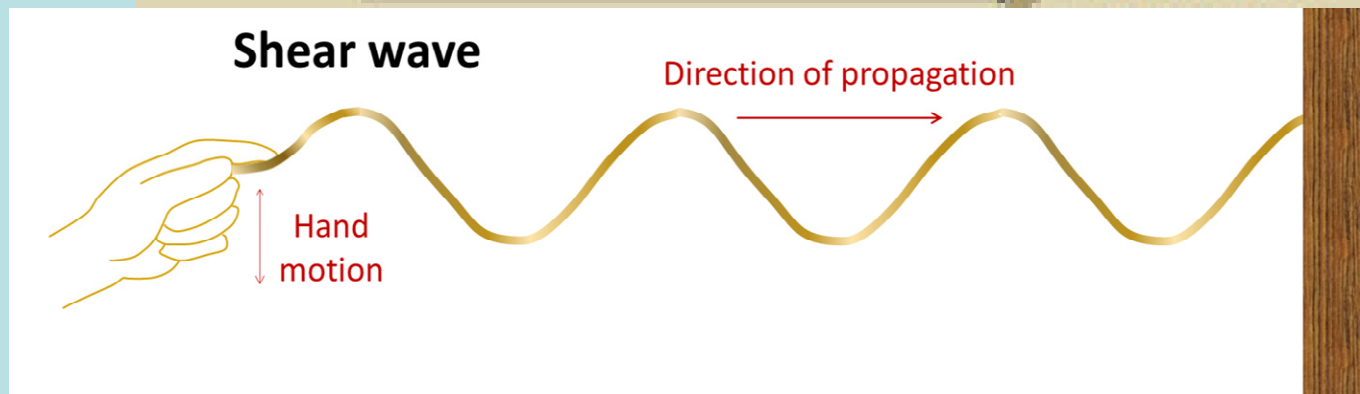
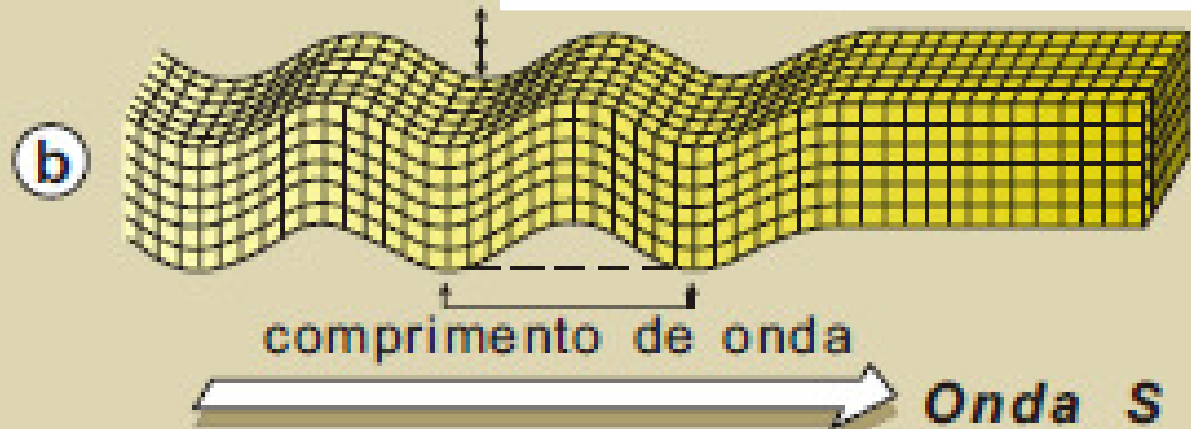
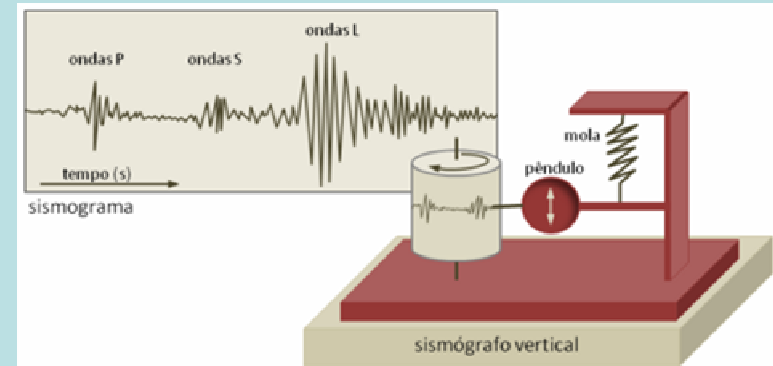
Modo de Propagação Ondas S

- **Ondas S** (secundária) \Rightarrow ondas transversais. A vibração das partículas ocorre perpendicular à direção de propagação da onda.

- $V_s = (\mu/\rho)^{1/2}$

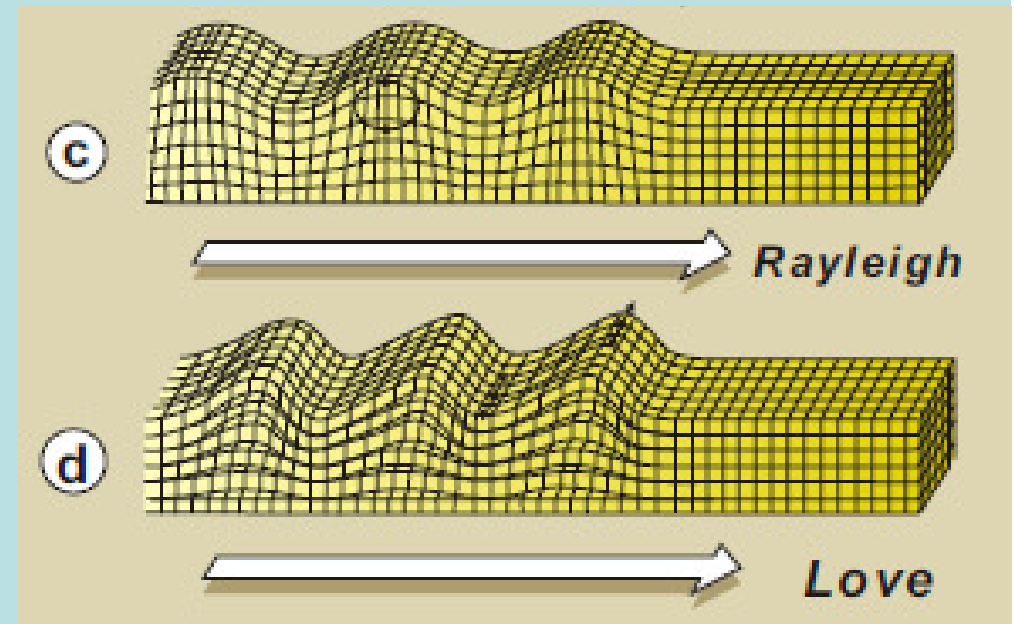
μ =módulo de rigidez=pressão necessária para mudar a forma do material.

ρ =densidade do meio de propagação,



Ondas Superficiais

- A onda Rayleigh é uma combinação das ondas P e S onde cada partícula oscila num movimento elíptico.
- A onda Love a oscilação das partículas é horizontal transversal.
- Nas ondas de superfície as amplitudes diminuem com a profundidade.
- A deformação é elástica.



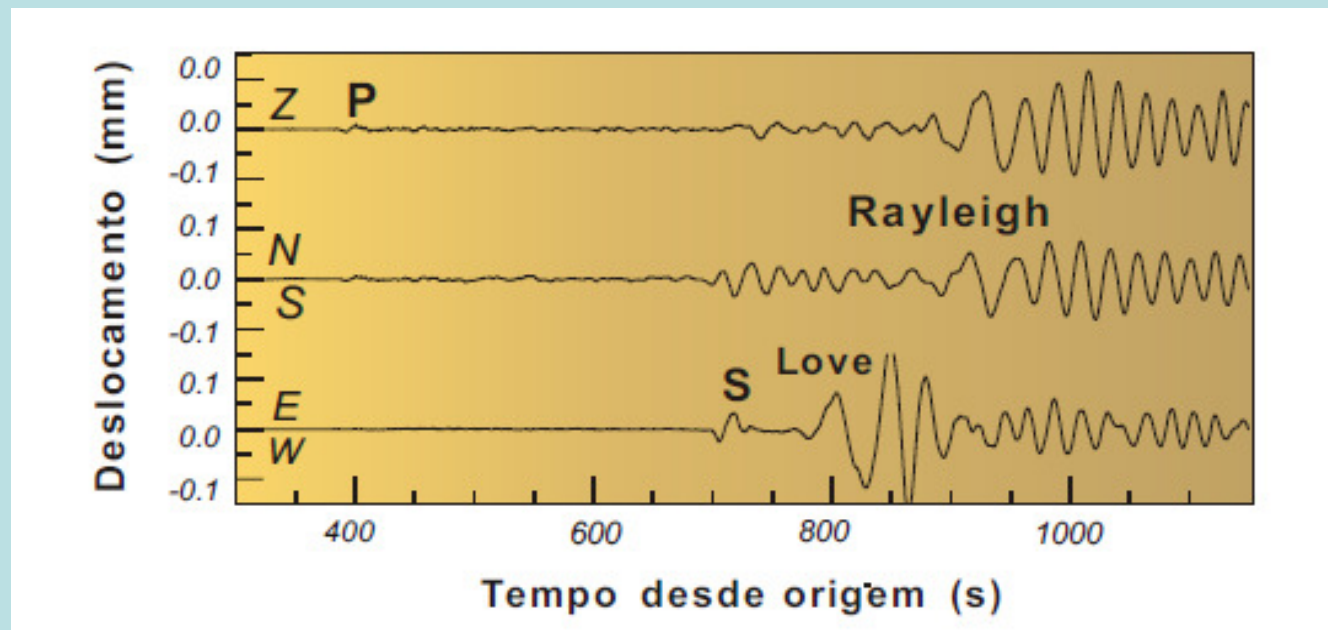
Velocidade das ondas P e S

$$\bullet V_p = [((K + (4\mu/3))/\rho)]^{1/2} \text{ e } V_s = (\mu/\rho)^{1/2}$$

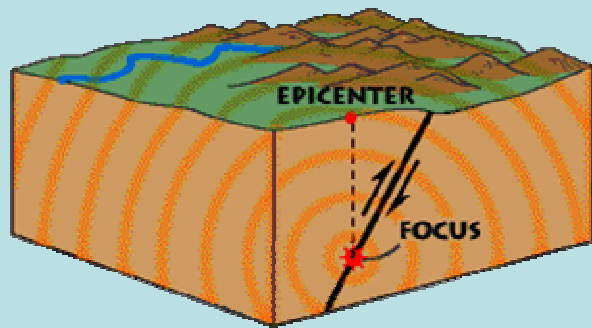
- K=módulo de compressão=pressão necessária para comprimir um material,
 - μ =módulo de rigidez=pressão necessária para mudar a forma do material.
 - ρ =densidade do meio de propagação
- $V_p > V_s$. Se $\mu = 0 \rightarrow$ Não há propagação das ondas S e o meio é então líquido, pois não resistem a mudanças de forma e não possuem rigidez!

- As ondas S e P chegam às estações e são registradas em sismogramas que permitem a leitura de seus tempos de chegada. A comparação dos tempos de chegada das ondas S e P, geradas de um mesmo choque, em diferentes estações sismográficas espalhadas pelo mundo permite a confecção de **curvas de tempo de chegada** (tabelas, curva de tempo x distância epicentral) através das quais são calculadas as velocidades das ondas em função da profundidade.

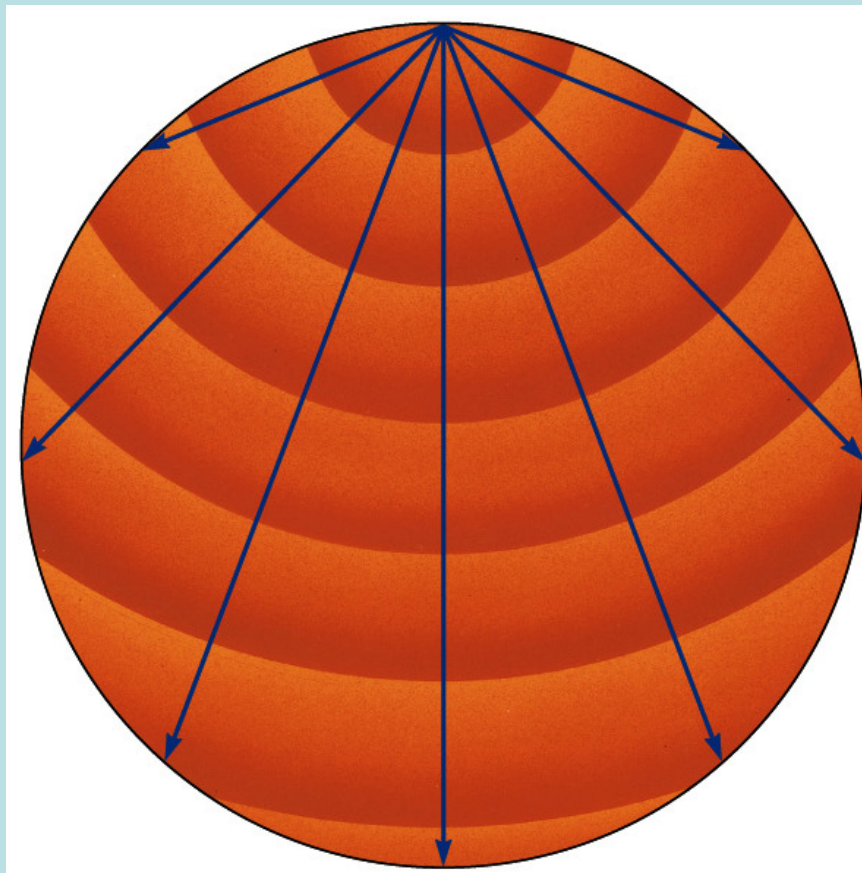
Sismograma



Propagação das ondas sísmicas na Terra



Homogênea



Não Homogênea

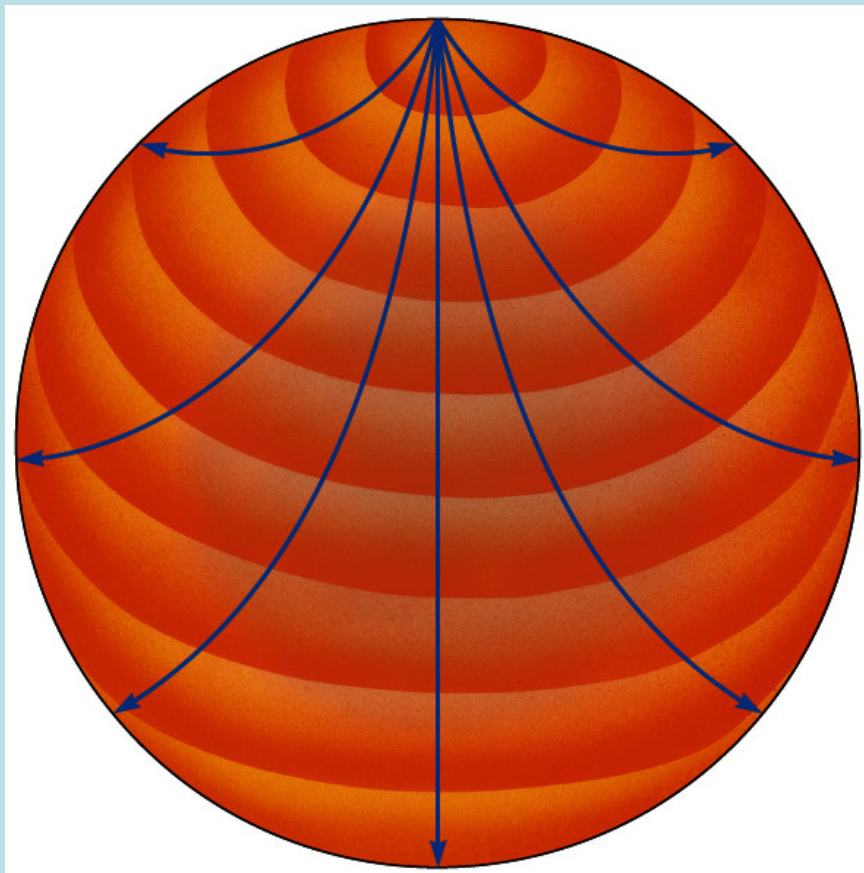
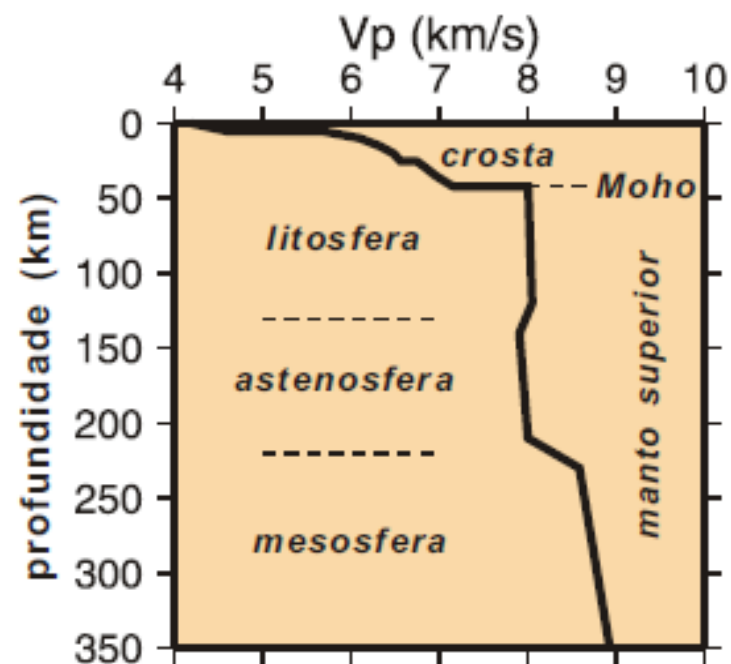
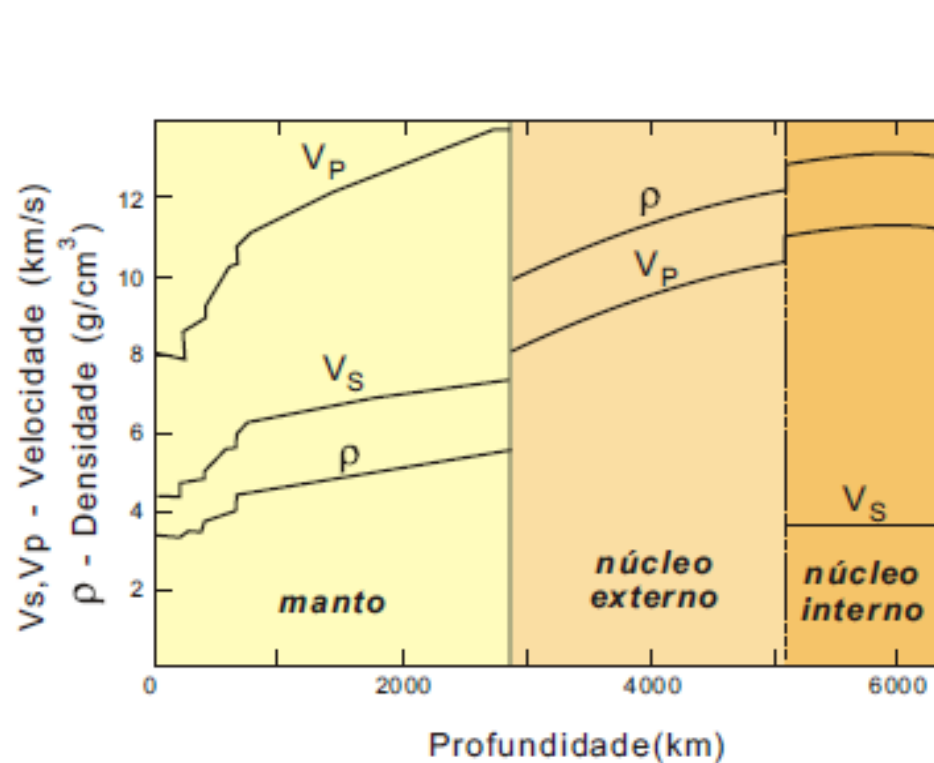
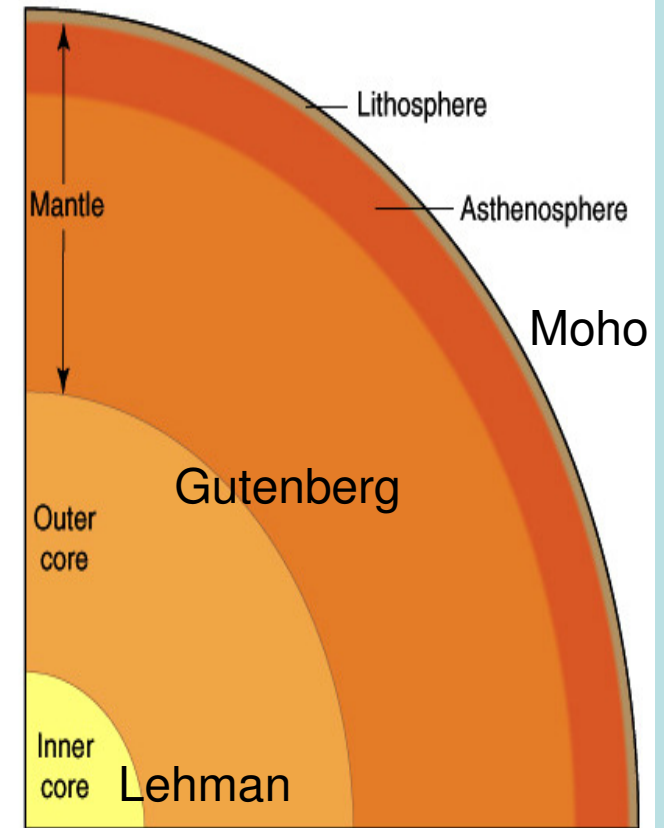
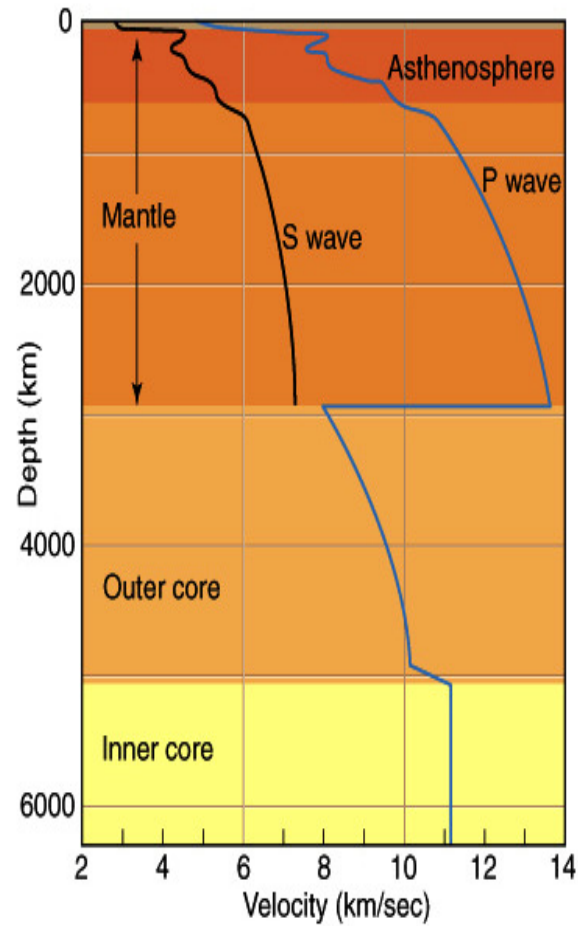
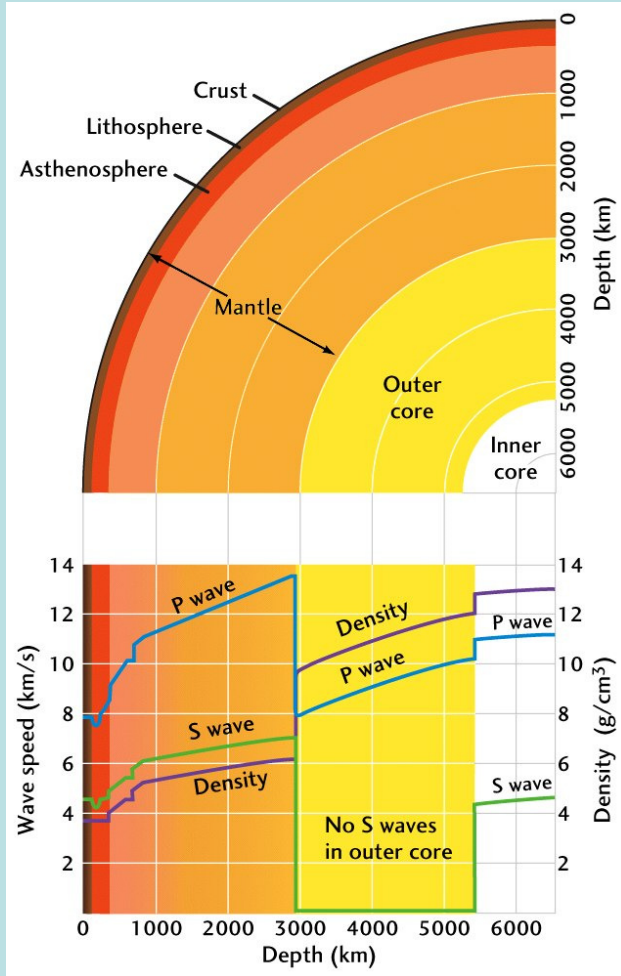


Gráfico Velocidade x Profundidade



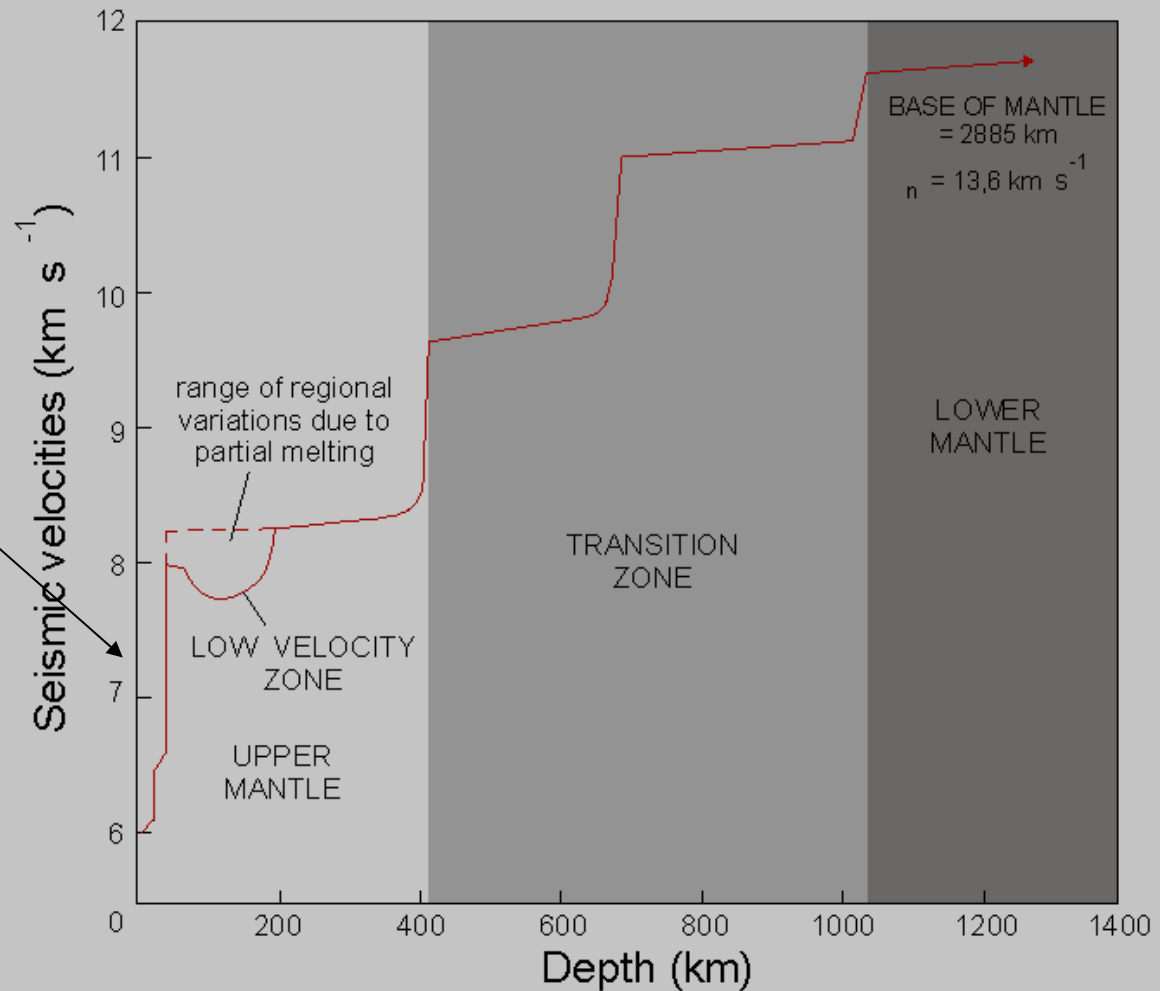
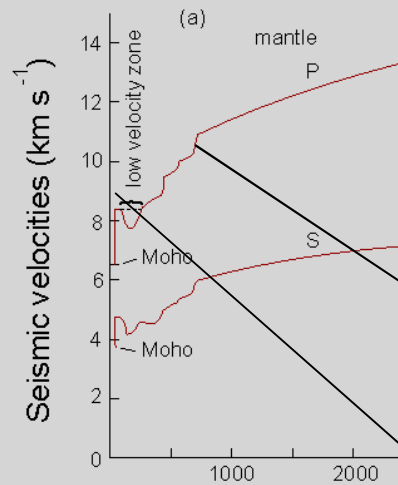
Descontinuidades de Primeira ordem

Crosta – Manto – Núcleo Externo e Interno

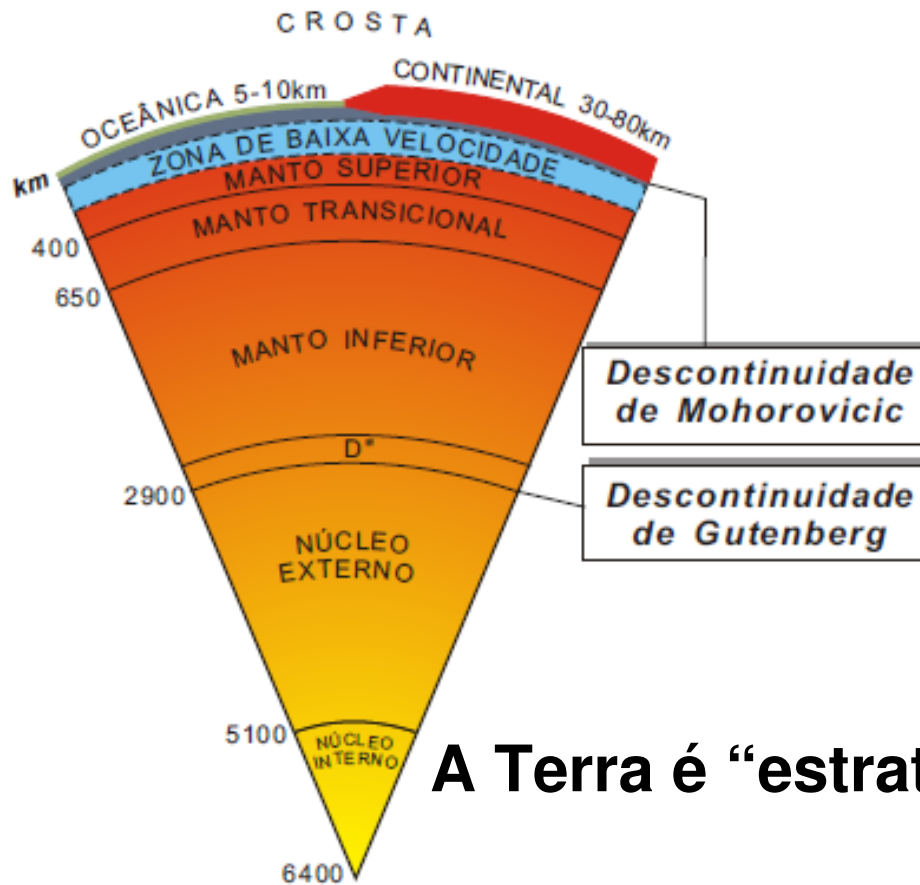


Descontinuidades de Segunda Ordem

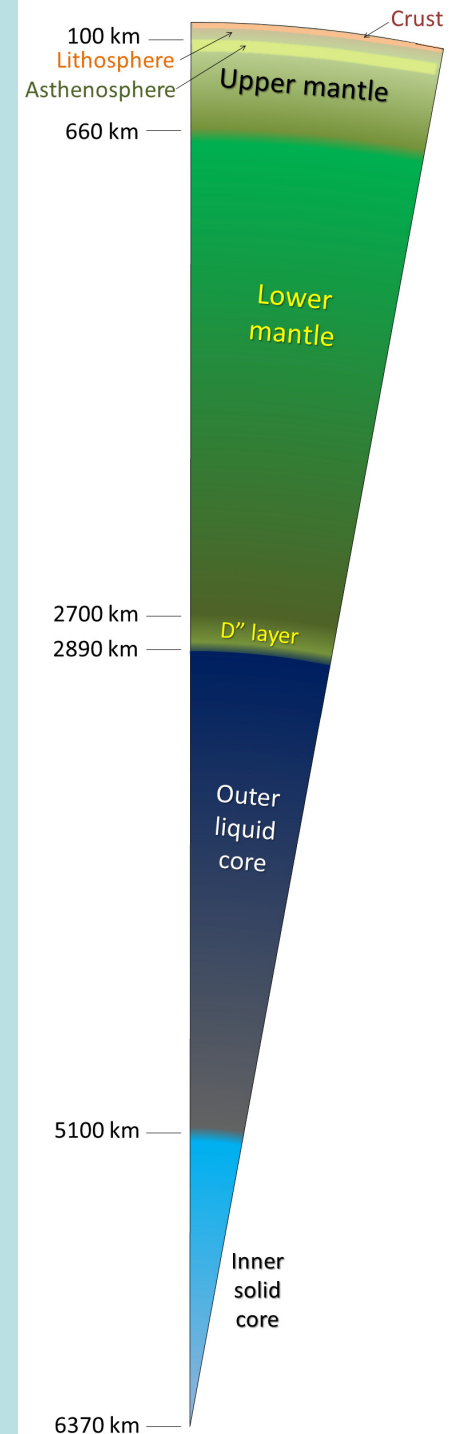
Crosta – Manto Superior – Zona de Transição – Manto Inferior – Núcleo Externo e Interno



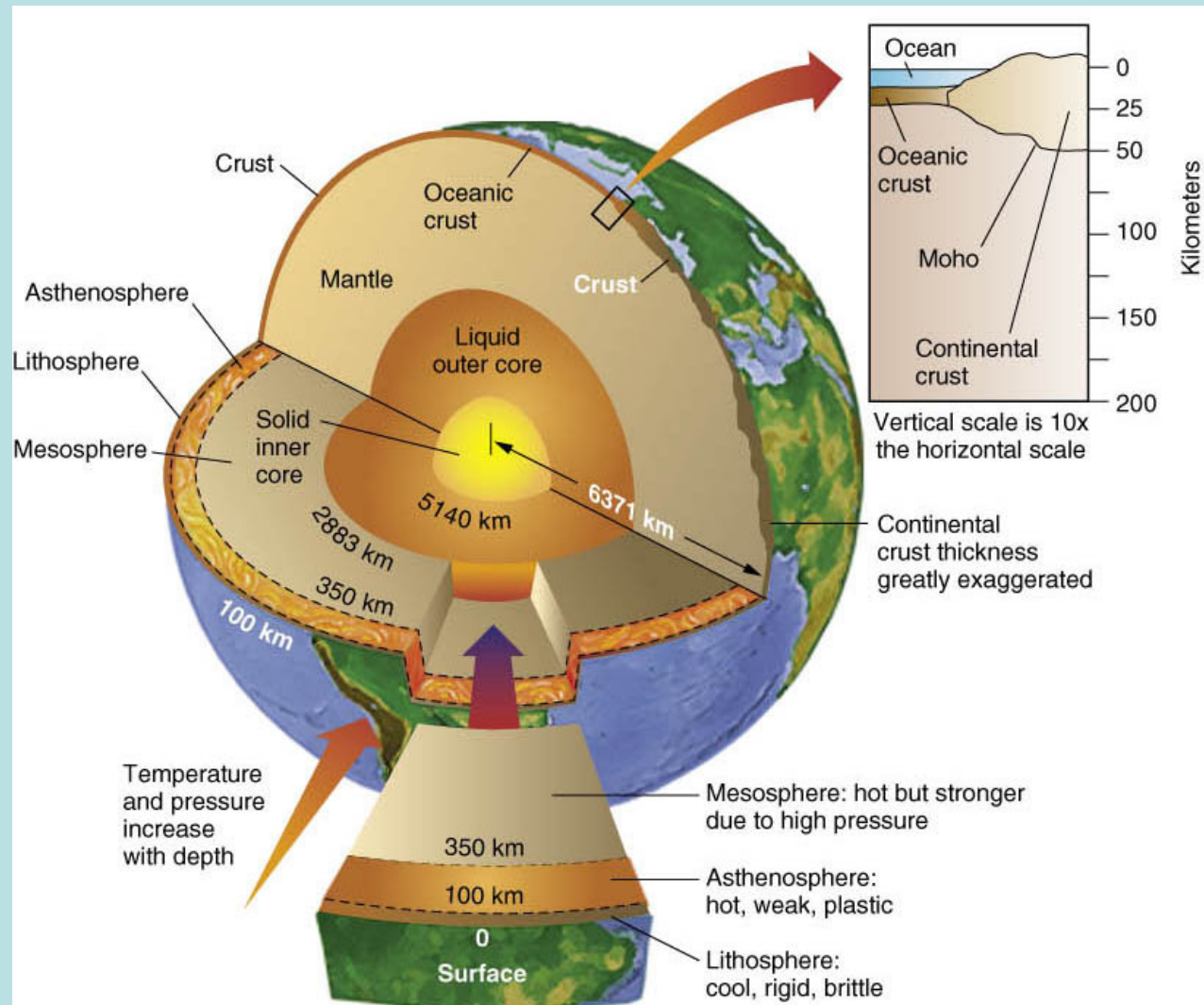
A Estrutura Interna da Terra



A Terra é “estratificada”!



ESTRUTURA INTERNA DA TERRA



Fonte: Murck et al., 2008

▪ **crosta:** ~ 10-70 km; composição intermediária;

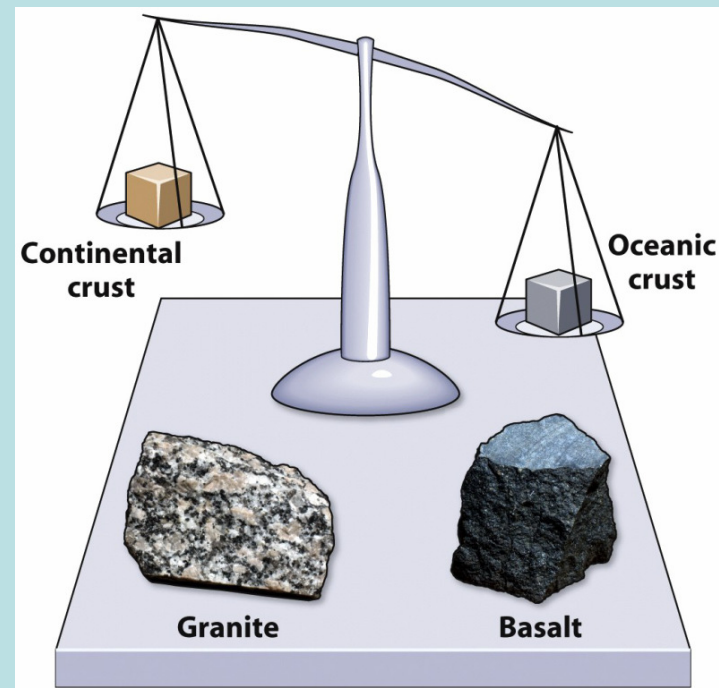
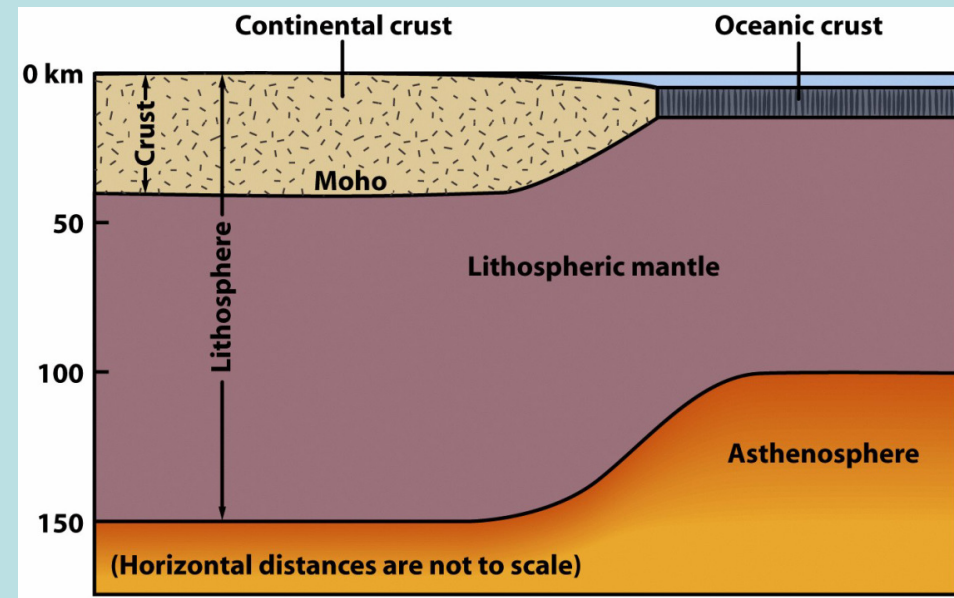
▪ **manto:** até 2900 km, composição máfica;

▪ **núcleo externo:** de 2900 a 5150 km, ferro e níquel líquido espesso;

▪ **núcleo interno:** ~ Até 6371 km, composto por ferro e níquel maciço.

Crosta

- **Continental** – que pode ser dividida em Superior e Inferior (descontinuidade de Conrad) ~ 30-80 km. Composição Granítica (menos densa).
- **Oceânica** ~ 5-10 km. Composição basáltica (mais densa)



Crosta Continental

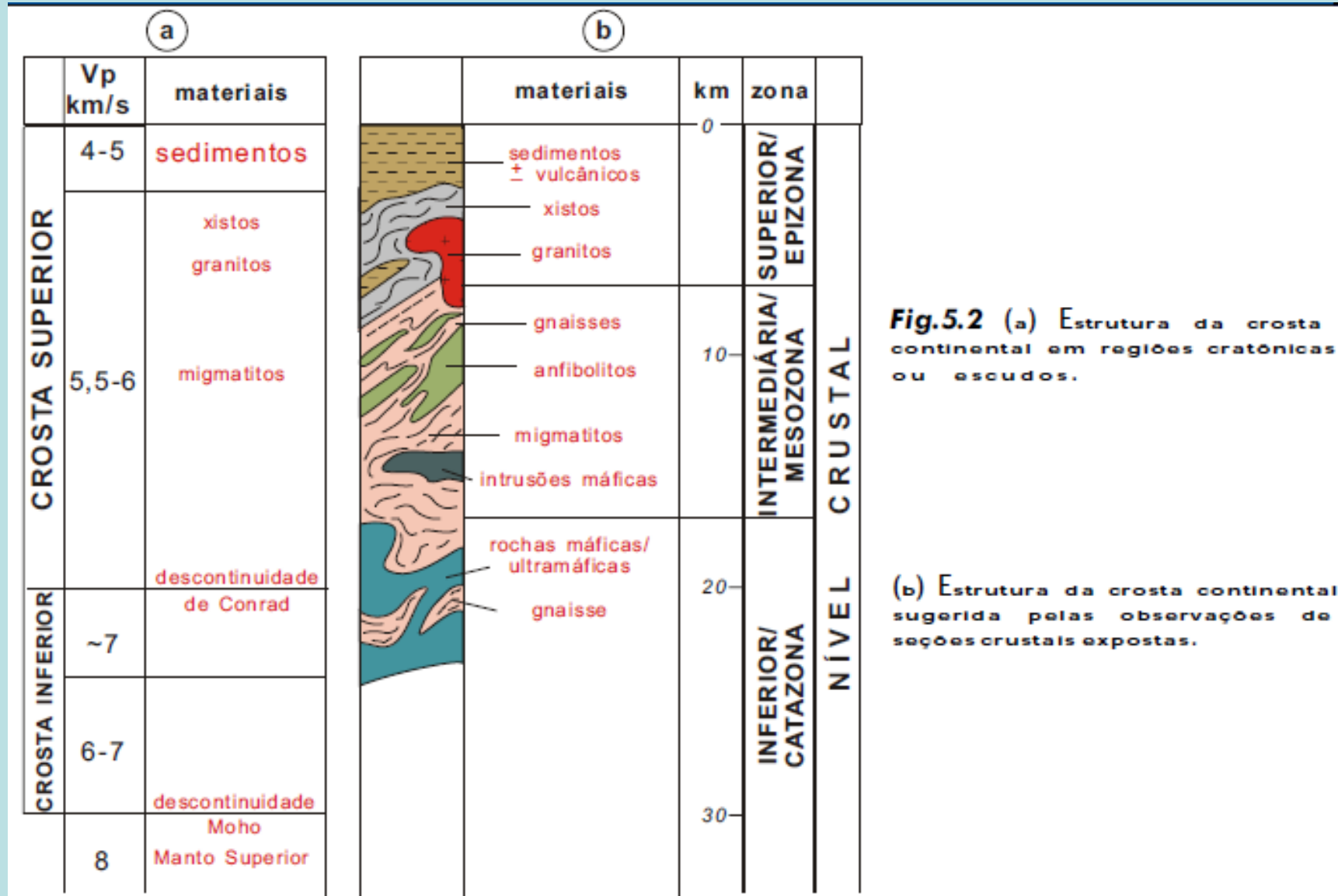
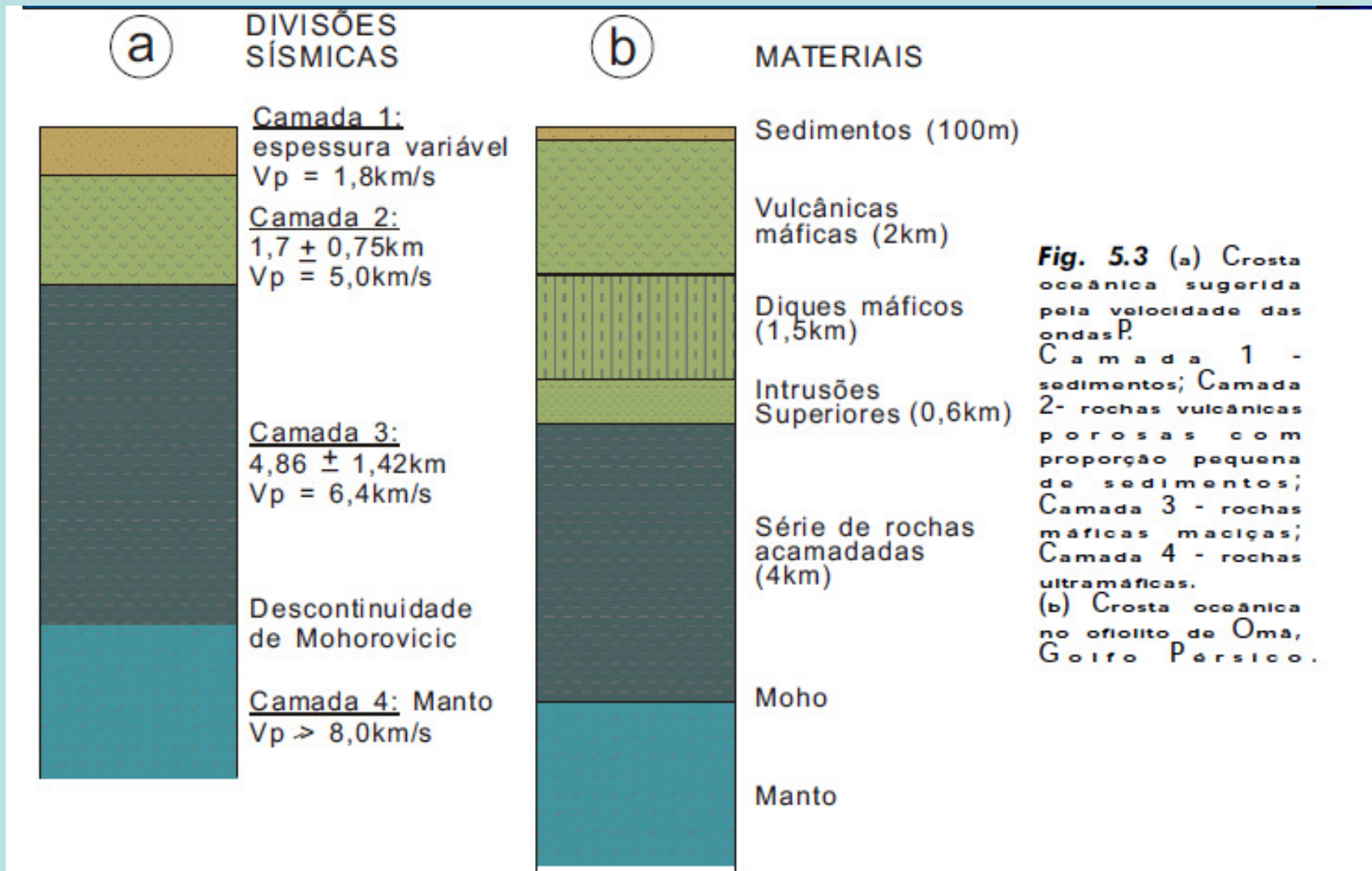


Fig.5.2 (a) Estrutura da crosta continental em regiões cratônicas ou escudos.

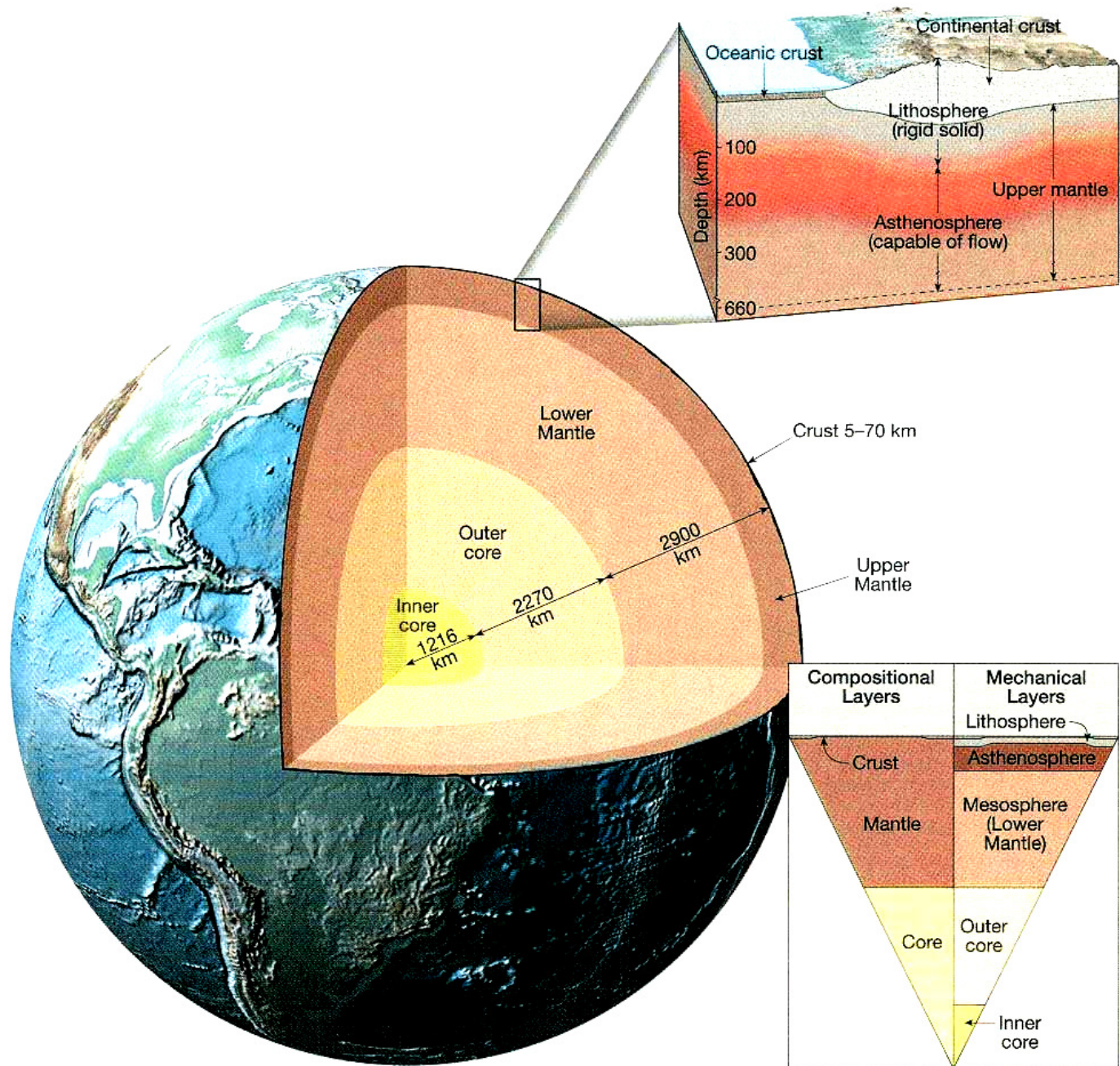
(b) Estrutura da crosta continental sugerida pelas observações de seções crustais expostas.

Crosta Oceânica



O interior da Terra

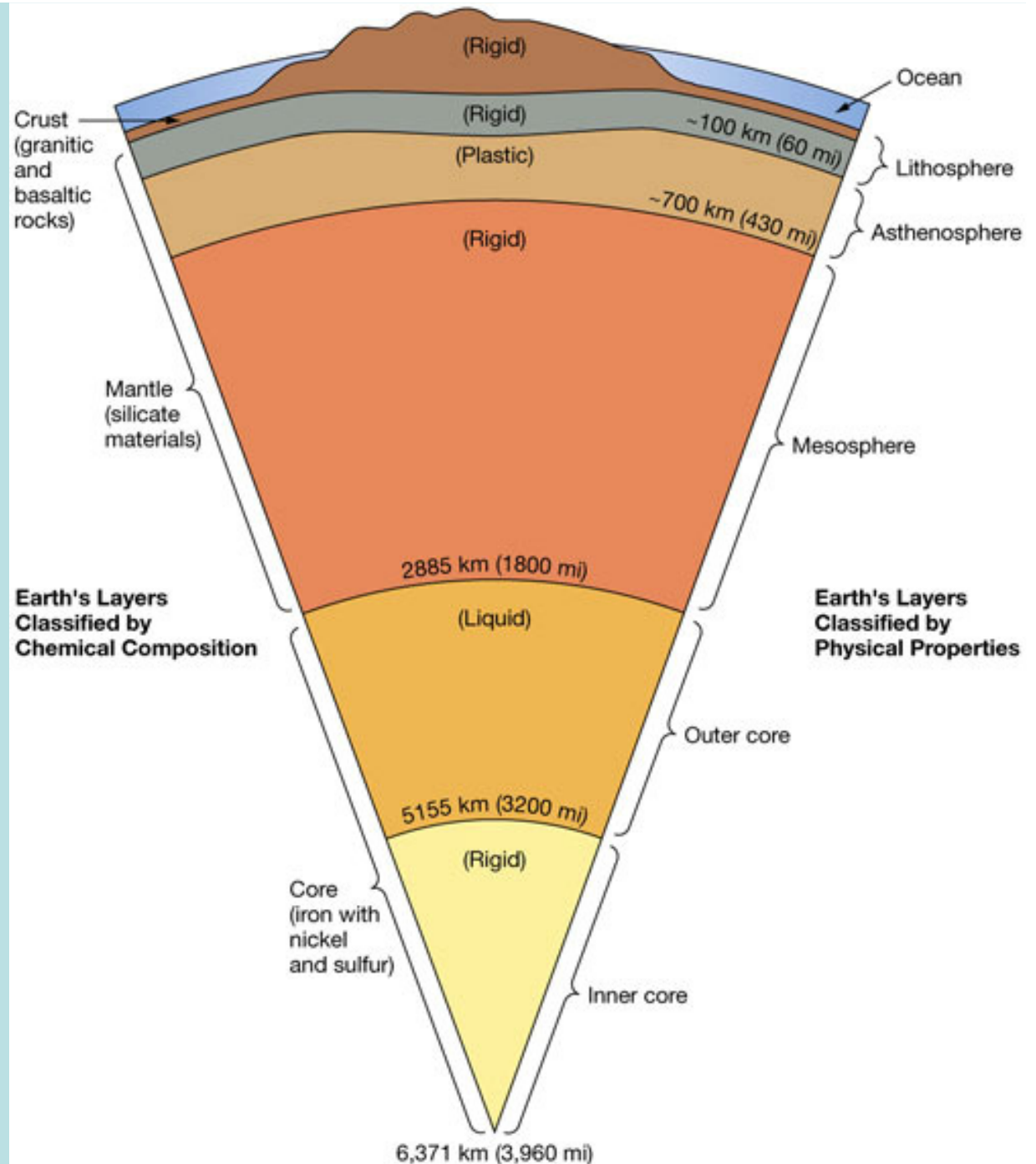
Caráter
Mecânico
Litosfera
Astenosfera



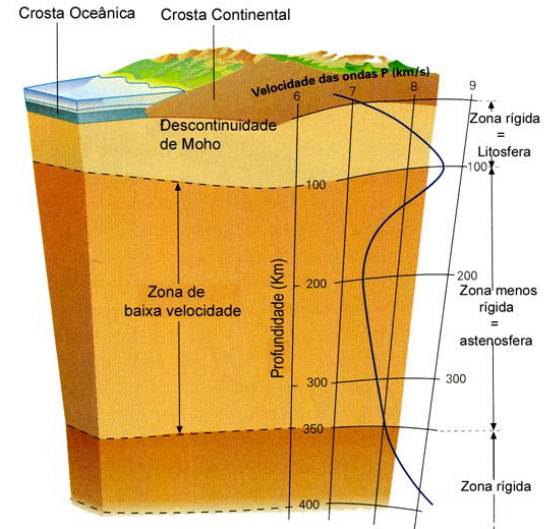
Estrutura Interna da Terra

Litosfera – Camada rígida, que engloba a crosta mais parte do Manto Superior (até a zona de baixa velocidade) e que ocorre da superfície até 100 a 150 km.

▪ **Astenosfera** - Parte do manto superior de caráter dúctil (~250 km de espessura) e que flui em virtude da baixa viscosidade (estado sólido – 2% de fundido), corresponde a zona de baixa velocidade das ondas sísmicas.



Estrutura Interna, Densidade e Composição



Zona de baixa velocidade

Astenosfera
Sólida, mas dúctil

Densidade
1,03 (oceano)
2,7 (crosta)

Litosfera
Sólida e rígida
(cerca de 100 km de espessura)

Mesosfera
Sólida

Crosta
Rochas silicatadas
(basalto e granito)
15 km a 70 km

Manto
Rochas ultrabásicas
(peridotitos)

Núcleo externo
Líquido

Núcleo
Ferro + Níquel

Núcleo interno
Sólido

Endosfera

6371 km

A

B

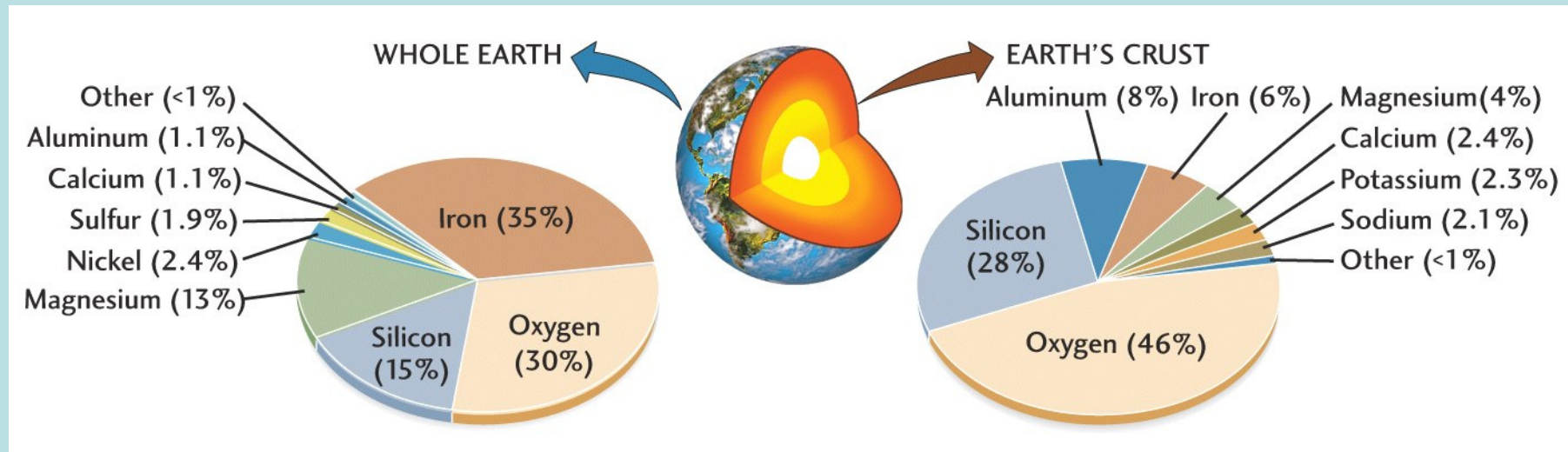
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA TERRA

Terra total:

$\text{Fe} + \text{O} + \text{Si} + \text{Mg} = 93\%$

Crosta:

$\text{Si} + \text{O} + \text{Al} = 82\%$

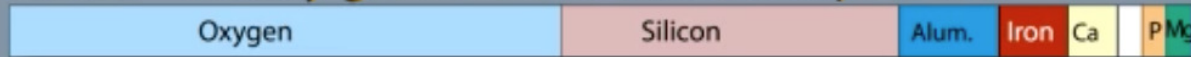


Fonte: Press et al., 2004

Composição Química: Crosta e Manto

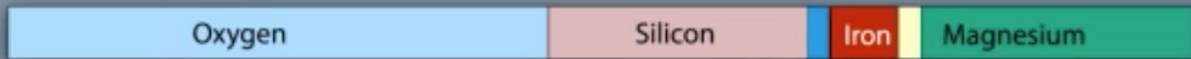
Crust: Mostly granitic & basaltic composition

% of Earth's volume:



1%

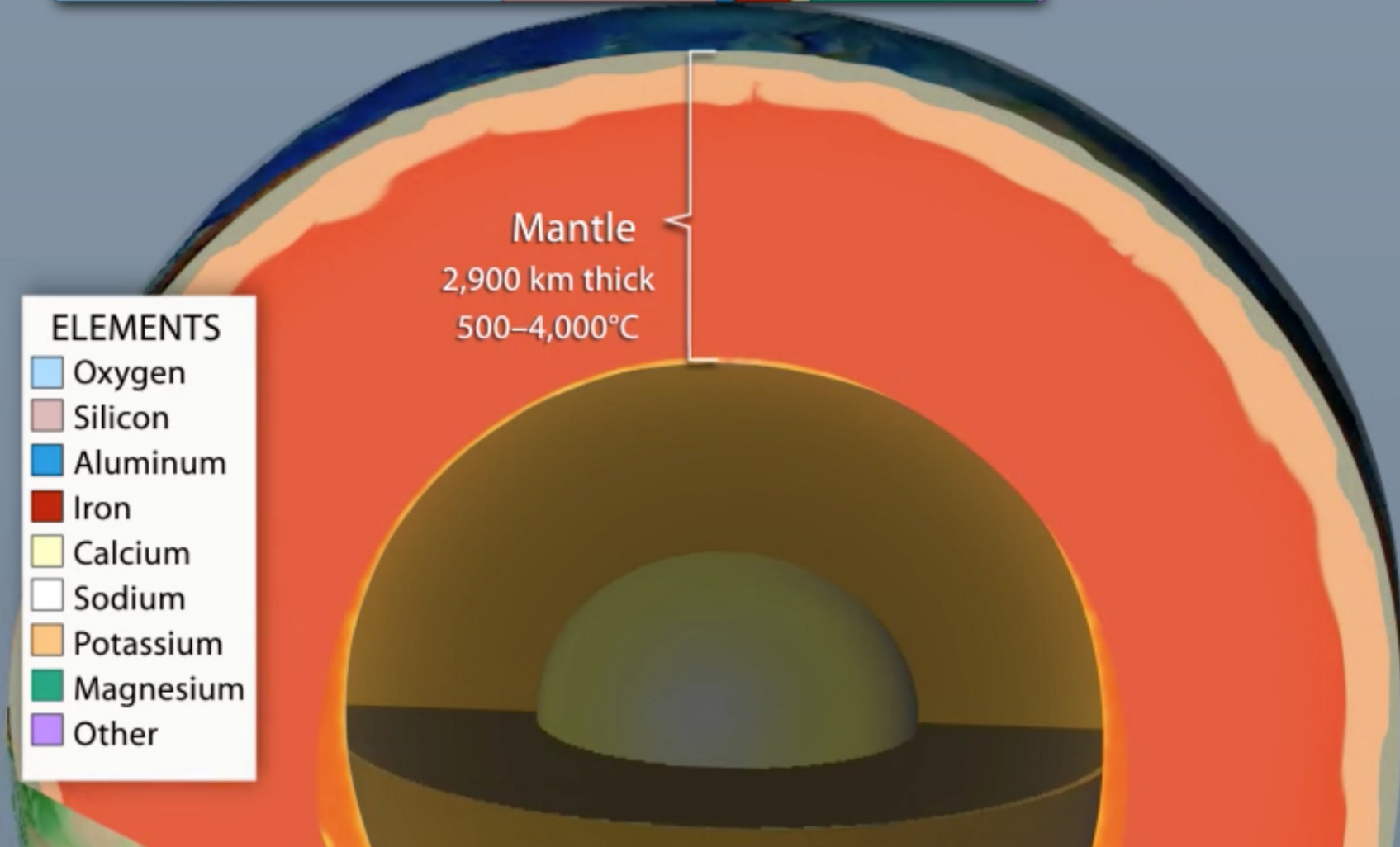
Mantle: Magnesium-iron silicate



87%

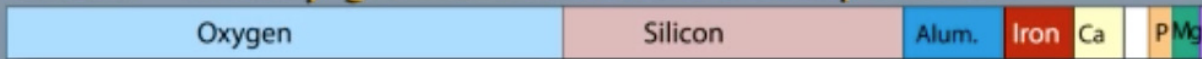
- ELEMENTS**
- Oxygen
 - Silicon
 - Aluminum
 - Iron
 - Calcium
 - Sodium
 - Potassium
 - Magnesium
 - Other

Mantle
2,900 km thick
500–4,000°C



Composição Química - Núcleo

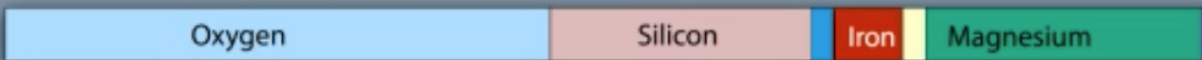
Crust: Mostly granitic & basaltic composition



% of Earth's volume:

1%

Mantle: Magnesium-iron silicate



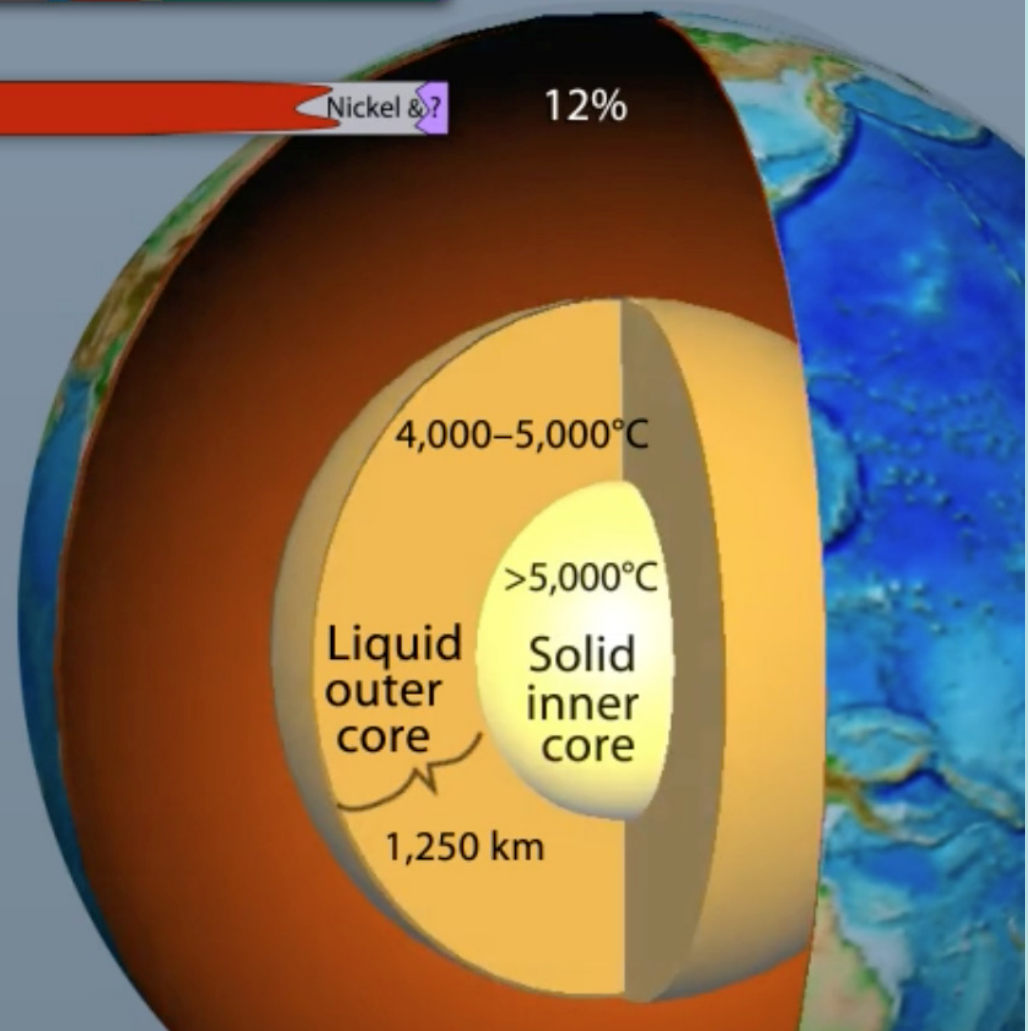
87%

Core: Iron-nickel alloy



12%

Composição do núcleo:
comparação com os meteoritos



Como podemos explicar o interior do nosso Planeta?

- Por quê a Terra é estratificada?
- Será que a Terra se originou da forma como é hoje?
- Será que a Terra evoluiu?

A Evolução da Terra

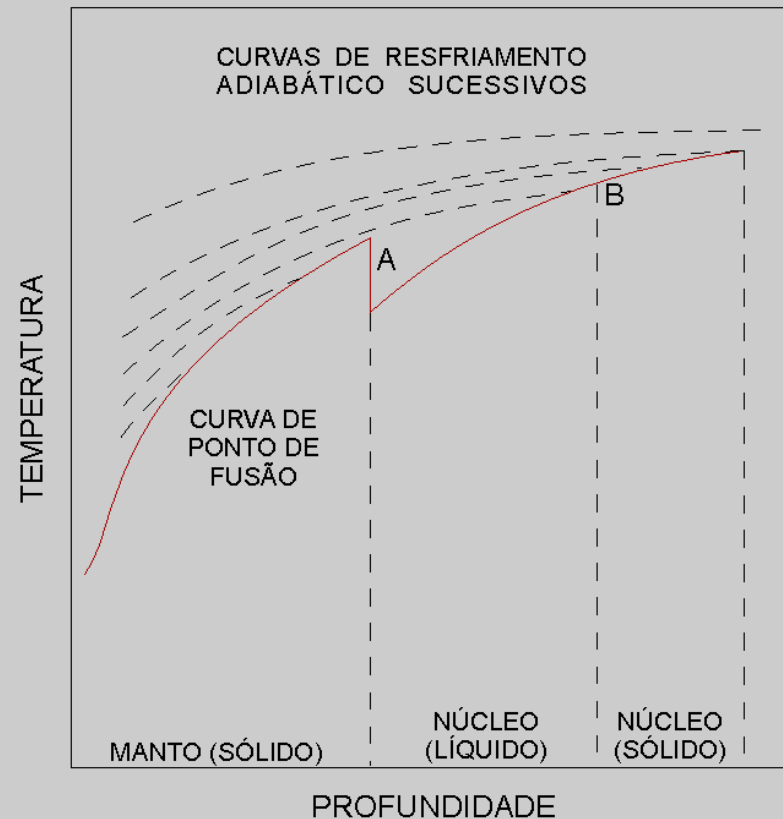
- Hipótese da origem fria para a Terra – **acresção de planetesimais “frios”** com aquecimento gradual devido a:
 - isótopos radiativos de vida curta
 - forte aquecimento superficial devido a energia liberada pelo impacto dos planetesimais durante a acresção.

- Superfície aquecida --- fusão das fases metálicas que liquefeitas ---- migram por gravidade para o interior da Terra promovendo mais calor por efeito de energia potencial.

- A migração das fases metálicas seria um processo auto-sustentável, que iria gerar e transportar calor suficiente para um gradual aquecimento da Terra como um todo até atingir a fusão das fases silicáticas, que por serem imiscíveis com os metais em fusão e menos densas migram para a superfície por flutuação, gerando também mais calor devido a perda de energia potencial gravitacional.
- No final do processo a Terra estaria fortemente aquecida e **diferenciada** e as regiões com pontos de fusão diferentes não se solidificaram ao mesmo tempo .

Resfriamento da Terra

O resfriamento teria início no núcleo interno e seguiu segundo as curvas de resfriamento adiabático.



Curva do ponto de fusão e curvas sucessivas de resfriamento adiabático no interior da terra. O ponto A é uma descontinuidade devido à constituição diferente do manto e núcleo. Quando a curva de resfriamento intercepta a curva de fusão, tem início a solidificação.

Considerações sobre o interior da Terra

- Raio médio = 6371 km
- Massa = 5.97×10^{24} kg
- Densidade das rochas de superfície = $2 - 3 \times 10^3$ kg m⁻³
- Densidade média = 5.52×10^3 kg m⁻³

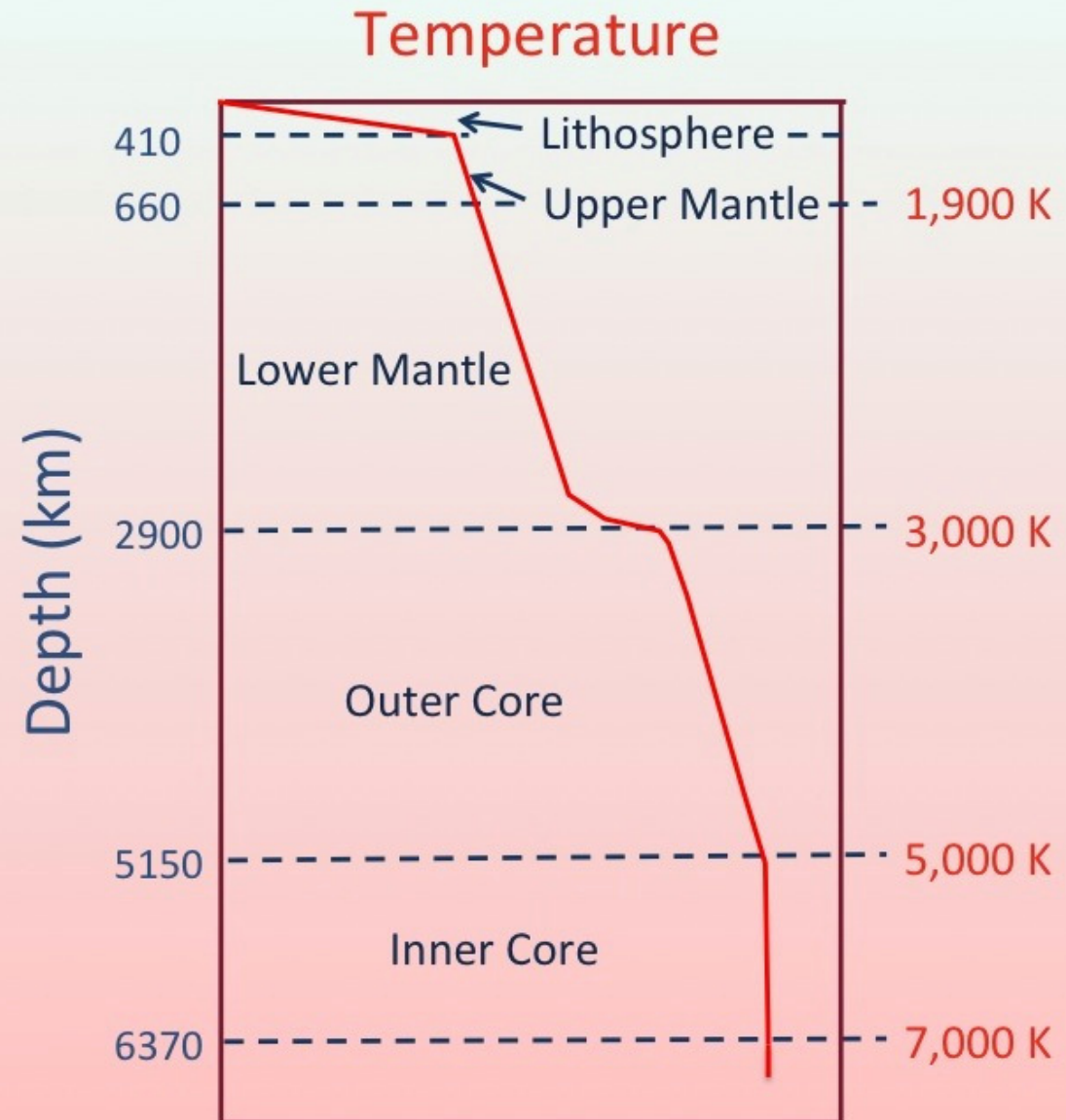
Calor na Terra

- Fontes de calor:
 - Sol – importante, mas dissipado nas primeiras centenas de metros da superfície e reirradiado,
 - reações químicas que se processam nas rochas principalmente devido à oxidação de sulfetos - localizado
 - elementos radiativos → maior contribuição atual
- Conhecimento direto furos de sondagem **Gradiente geotérmico ~ 30 a 40 °C/km**

Temperatura x Profundidade

Gradiente Geotérmico

~30 – 40 °C/km

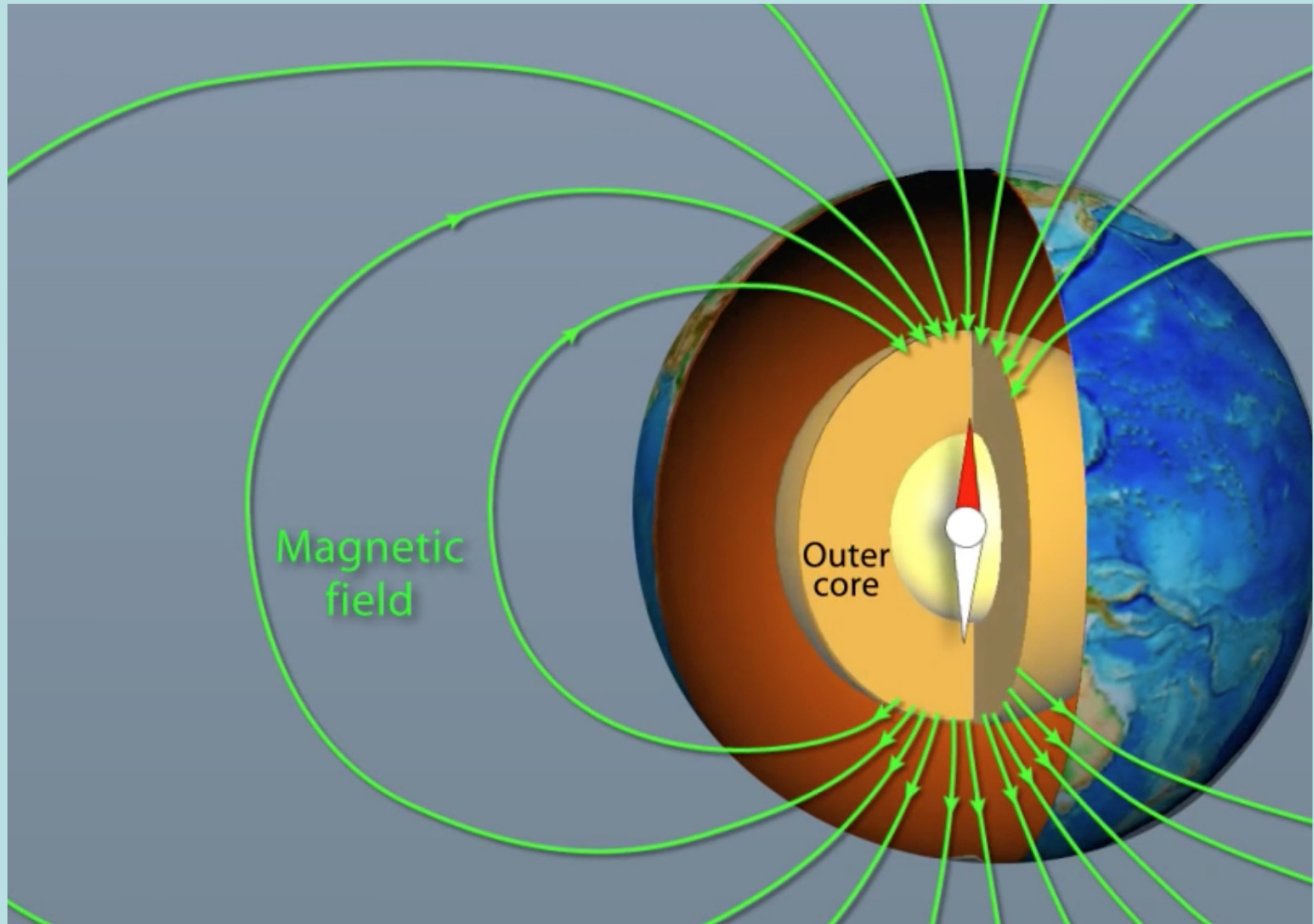


Transporte de Calor na Terra

- Condução ~ 200km muito lento
- Convecção o **mais eficiente e rápido** – Manto Superior e Núcleo externo
- Irradiação dominante no Manto de transição e Inferior **menos eficiente.**

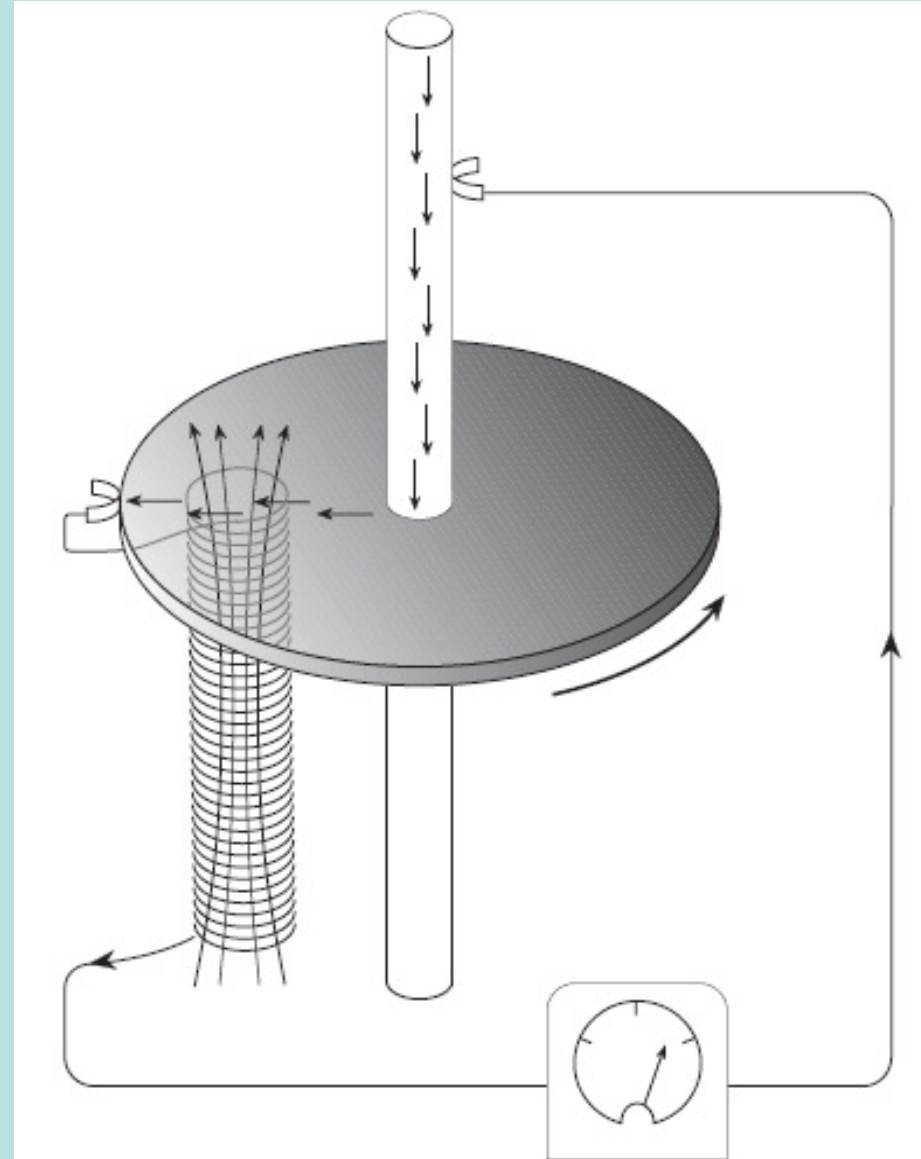


Campo Geomagnético



Campo Geomagnético (interno)

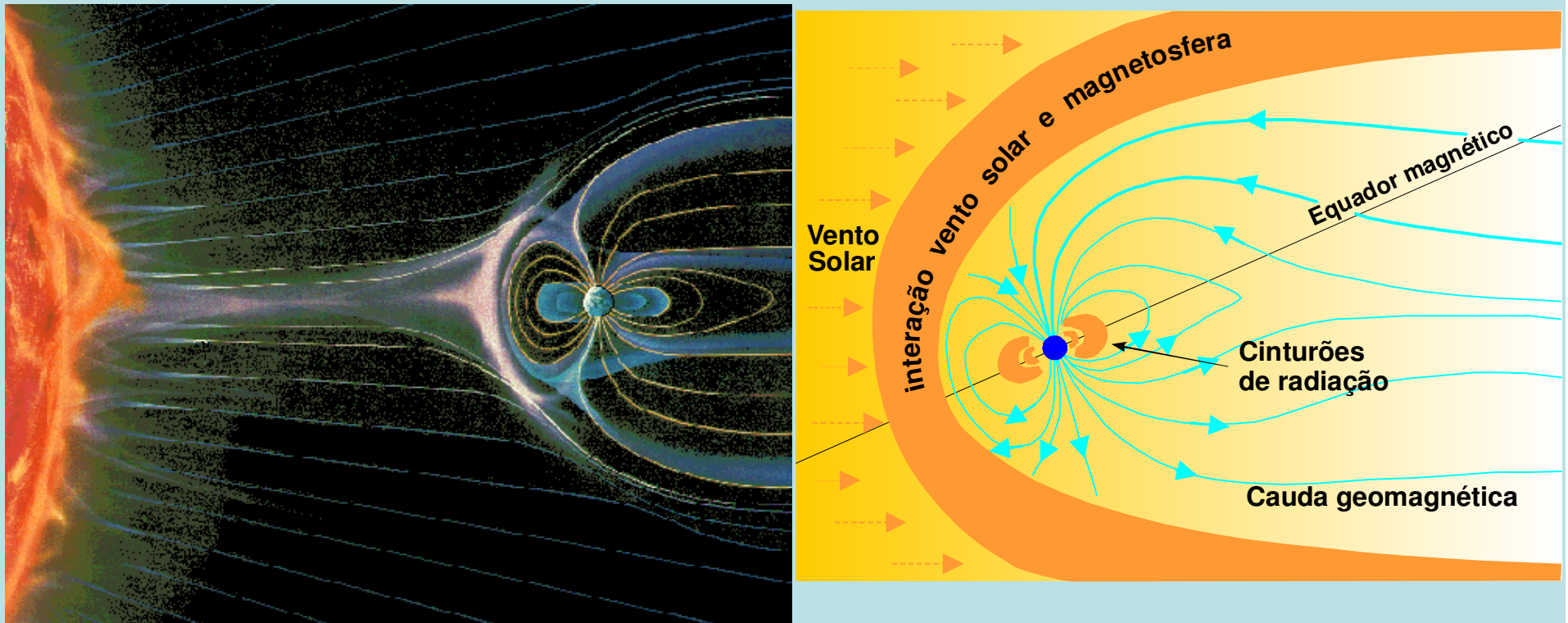
- Núcleo externo Líquido – geração do campo geomagnético
- Dínamo auto sustentável
- Movimentos do fluido no núcleo externo causam as Reversões de Polaridade do campo geomagnético



Campo Geomagnético (externo)

Embora fraco o Campo Geomagnético ocupa um volume muito grande. A região ocupada pelo campo é chamada de magnetosfera

Protege a Terra das partículas vindas dos ventos solares!!



Aurora Boreal (Austral) no pólo Norte (Sul) = ocorrem na alta atmosfera devido a partículas energéticas, principalmente elétrons que são guiados para dentro da atmosfera pelo campo geomagnético (semelhante a uma descarga elétrica). Partículas não a conduzidas pelas linhas de força do campo geomagnético às regiões polares são também aprisionadas por esse campo formando o cinturão de Van Allen.

