

Conhecer os efeitos dos movimentos dos continentes e da dinâmica interna na superfície.

Terremotos



Turquia – Fev. 2023

[https://s2.glbimg.com/6zEG9LZfF8q2GIB45bpuQvmSvAc=/0x0:1920x1080/984x0/smart/filters:strip_icc\(\)/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2023/a/R/c2iT6WSCO0xExkL6RUnQ/turquia.jpg](https://s2.glbimg.com/6zEG9LZfF8q2GIB45bpuQvmSvAc=/0x0:1920x1080/984x0/smart/filters:strip_icc()/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2023/a/R/c2iT6WSCO0xExkL6RUnQ/turquia.jpg)

Terremotos

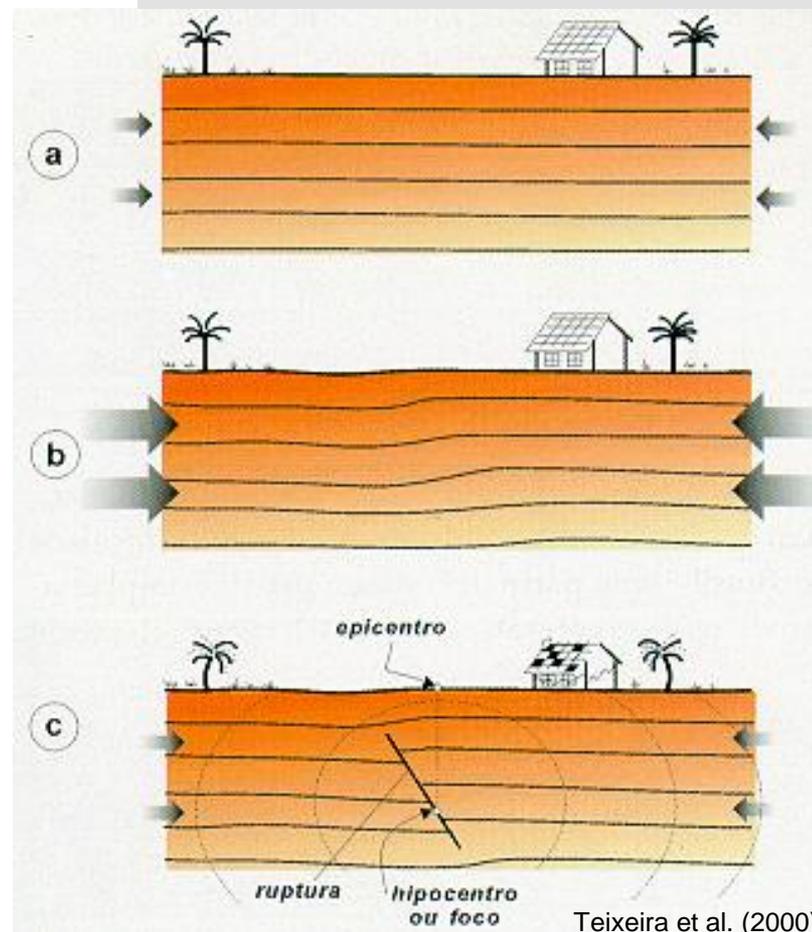
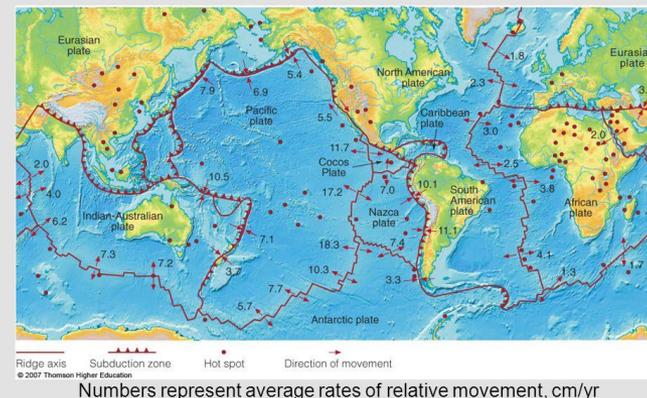
Evidência mais marcante do caráter dinâmico da Terra

O que é terremoto?

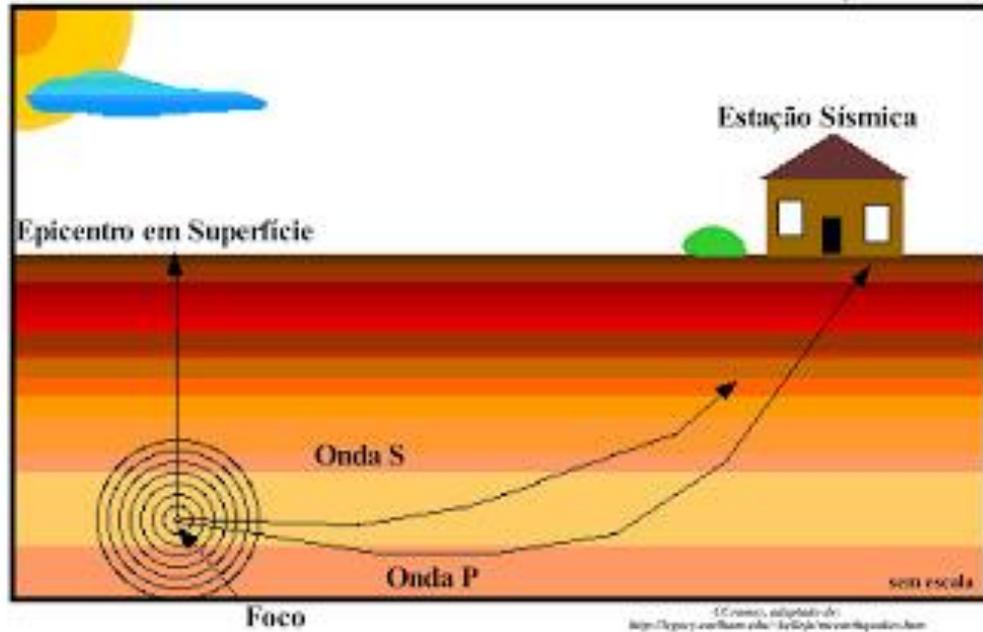
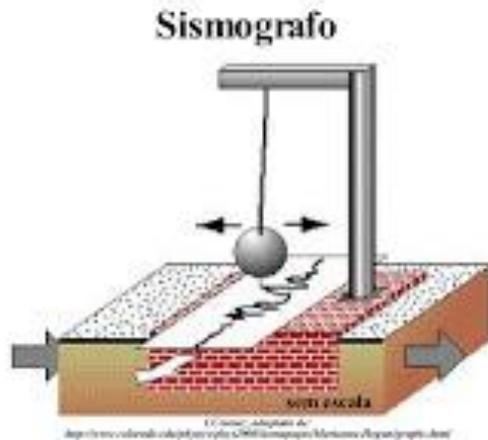
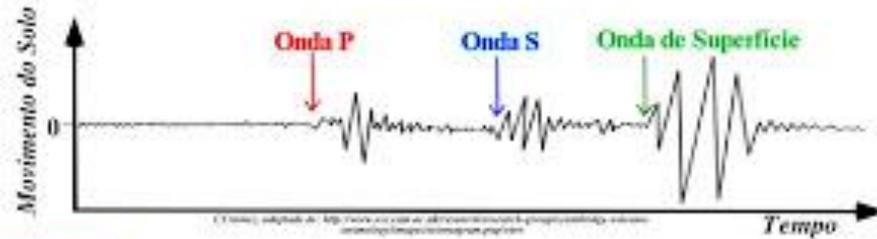
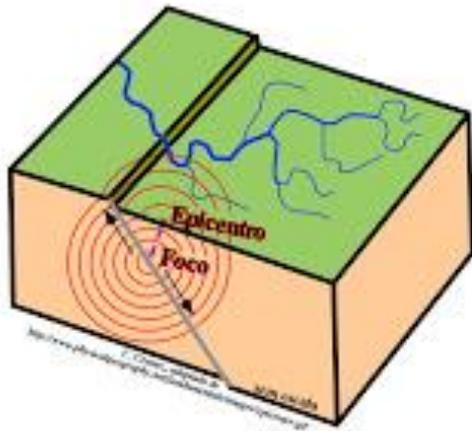
(Abalos ou tremores de terra)

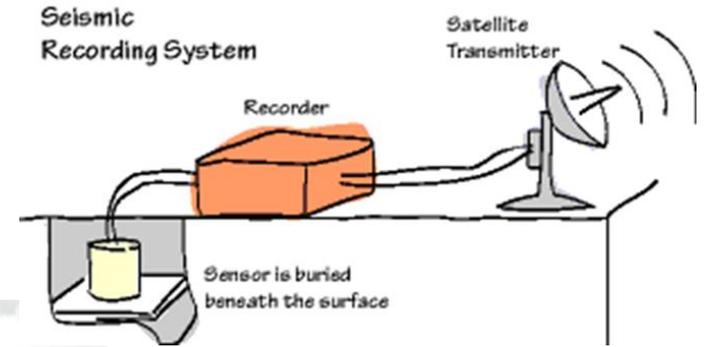
- Movimento das placas (cm/ano)
- Tensões se acumulam em certos pontos
- Podem ser compressivas ou distensivas
- Atingem o limite de resistência da rocha
- Ruptura – gera vibrações (ondas sísmicas)
- Ondas se propagam em todas as direções
 - falha geológica
 - hipocentro ou foco
 - epicentro

Plate Map



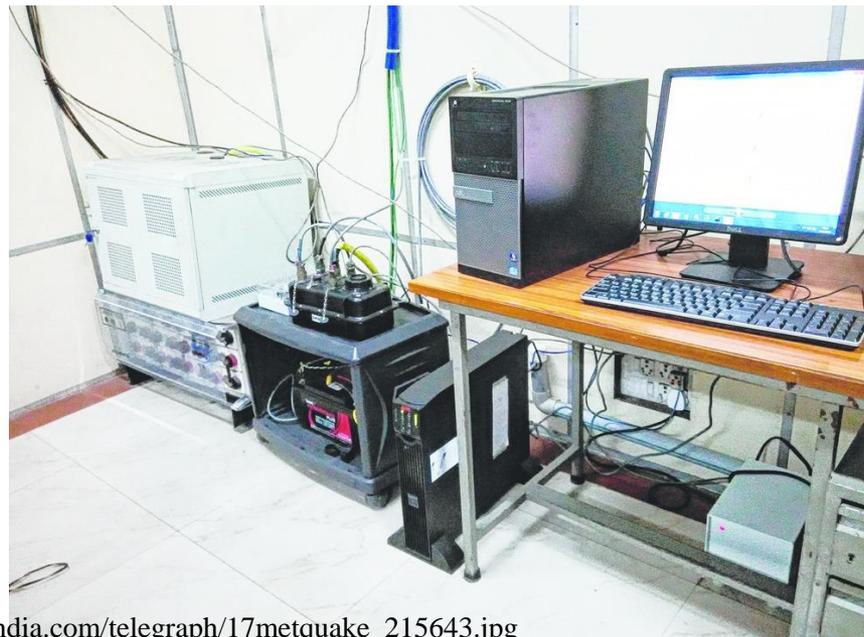
Epicentro







<https://www.researchgate.net/profile/Satish-Saha/publication/267448036/figure/fig2/AS:295587854471171@1447485044669/Block-diagram-of-educational-seismograph-setup.png>



https://assets.telegraphindia.com/telegraph/17metquake_215643.jpg

Falhamentos – mecanismo principal na geração dos terremotos



Terremoto no Peru

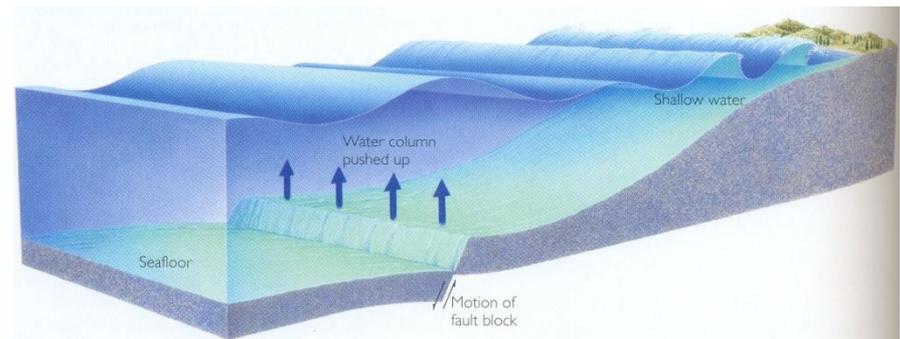
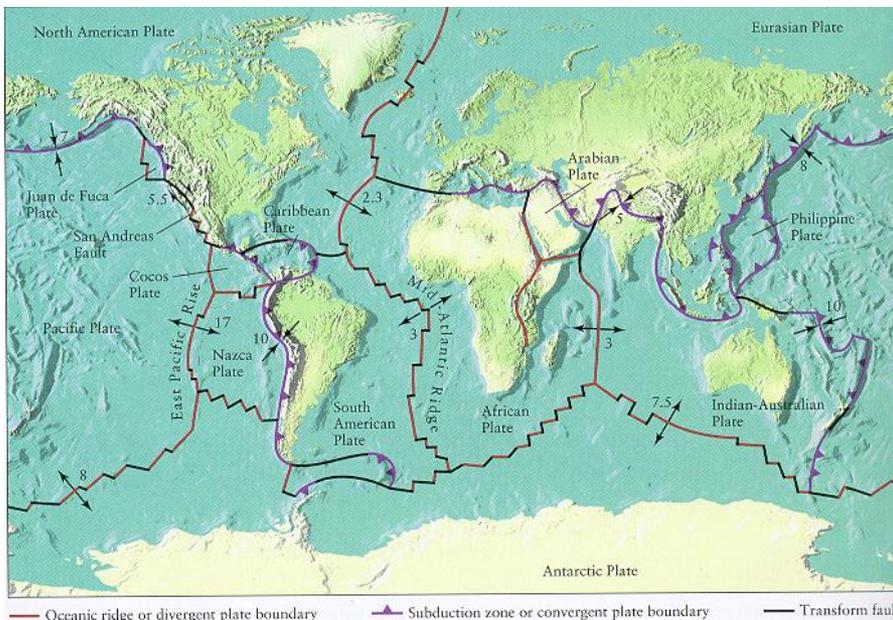
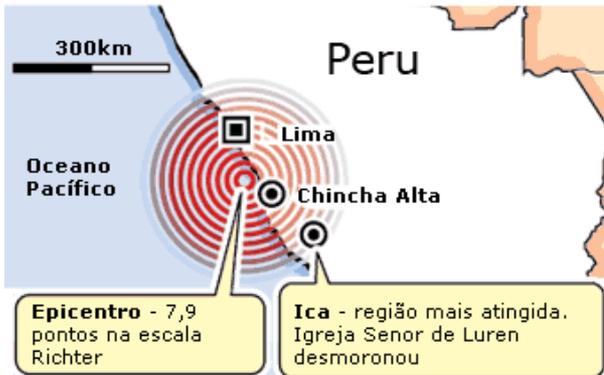
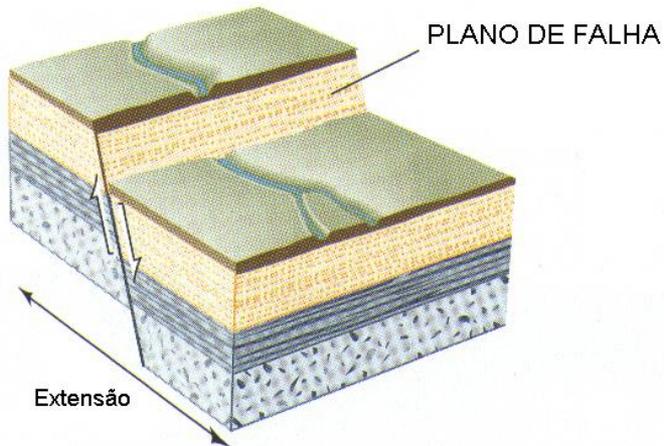
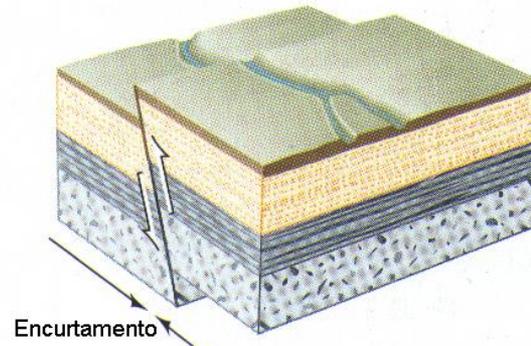


FIGURE 18.20 Generation of a tsunami by fault movements caused by an earthquake on the seafloor. Movement of the seafloor due to an earthquake produces a surge of water, which oscillates and flows out as a long sea wave, or tsunami. Such a wave is only a few meters high on the deep sea but can increase in height manyfold when it enters shallow coastal waters.

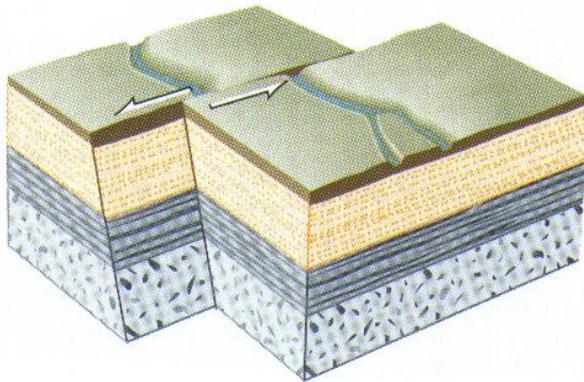
Principais Tipos de Falhas



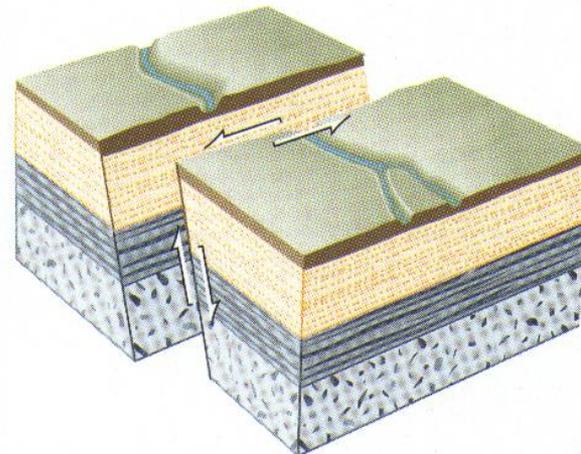
FALHA NORMAL



FALHA INVERSA



FALHA TRANSCORRENTE



FALHA OBLÍQUA

Monitorando os terremotos

Energia liberada
durante um terremoto



Proporcional ao tamanho do
plano de falha e do volume de
rocha deformada pelo falhamento

Escala de magnitude
Richter

- Mede a amplitude do comprimento das ondas sísmicas nas estações sismográficas
- Escala logarítmica (cada ponto 10 vezes o anterior)
- Cálculo: $M_s = \log (A/T) + 1,66 \log (\Delta) + 3,3$

M_s = magnitude

A = amplitude da onda superficial (μm) registrada entre 20° e 100° de distância

T = período da onda superficial (entre 18 e 22 s)

Δ = distância epicentral em graus; ângulo no centro da Terra entre o epicentro e a estação ($1^\circ = 111\text{km}$)

- A fórmula válida para sismos com profundidades $< 50\text{km}$

Escala Richter

Sismos pequenos Ms = 3

Sismos médios Ms = 5-6

Sismos grandes Ms = >7

Um tremor menor que 3,5 geralmente não é sentido, mas é registrado por sensores sismológicos;

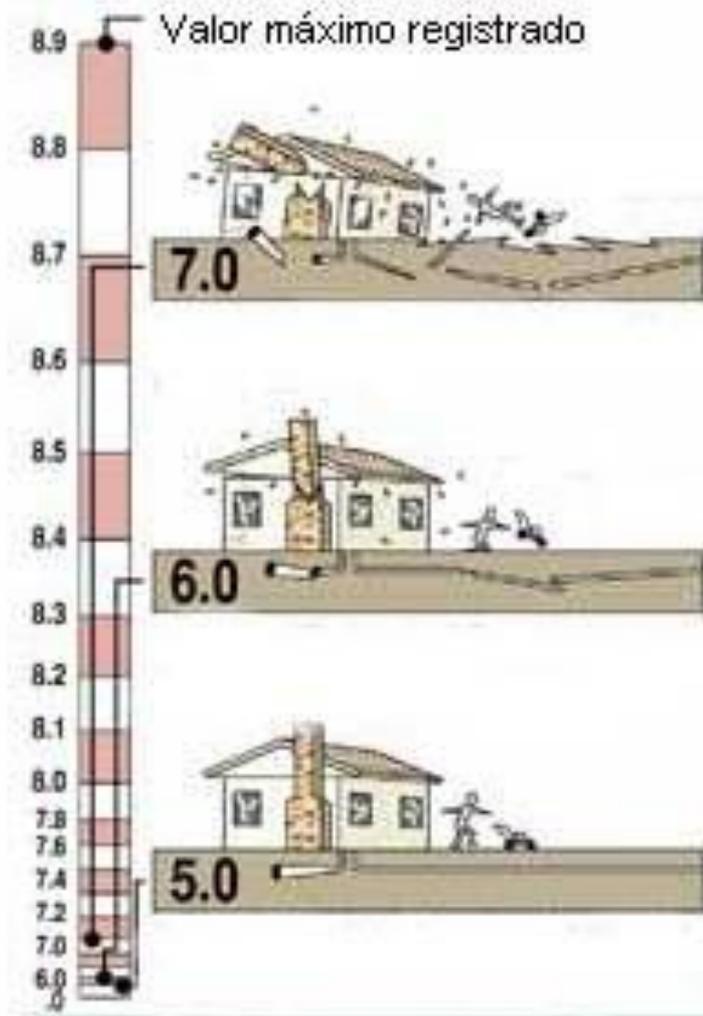
Um tremor entre 3,5 e 5,4 às vezes é sentido pela população, mas raramente causa danos;

Entre 6,1 e 6,9 ele pode ser destrutivo em áreas em torno de 100 km do epicentro;

Tremores classificados entre 7,0 e 7,9 sérios danos podem ser causados numa grande faixa;

Terremotos de 8 ou mais podem causar danos graves em muitas áreas, mesmo que estejam a centenas de quilômetros.

Não há limite para a escala, mas nunca houve terremotos com magnitude de 10 ou superior



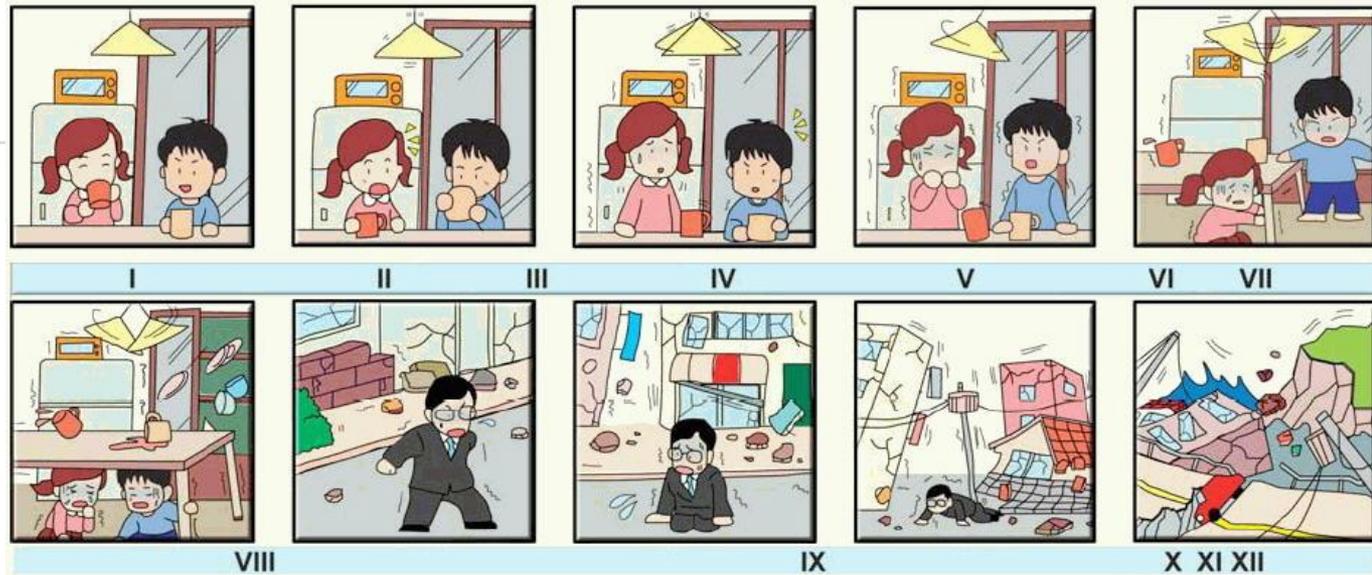
Escala Richter

Escala Mercalli

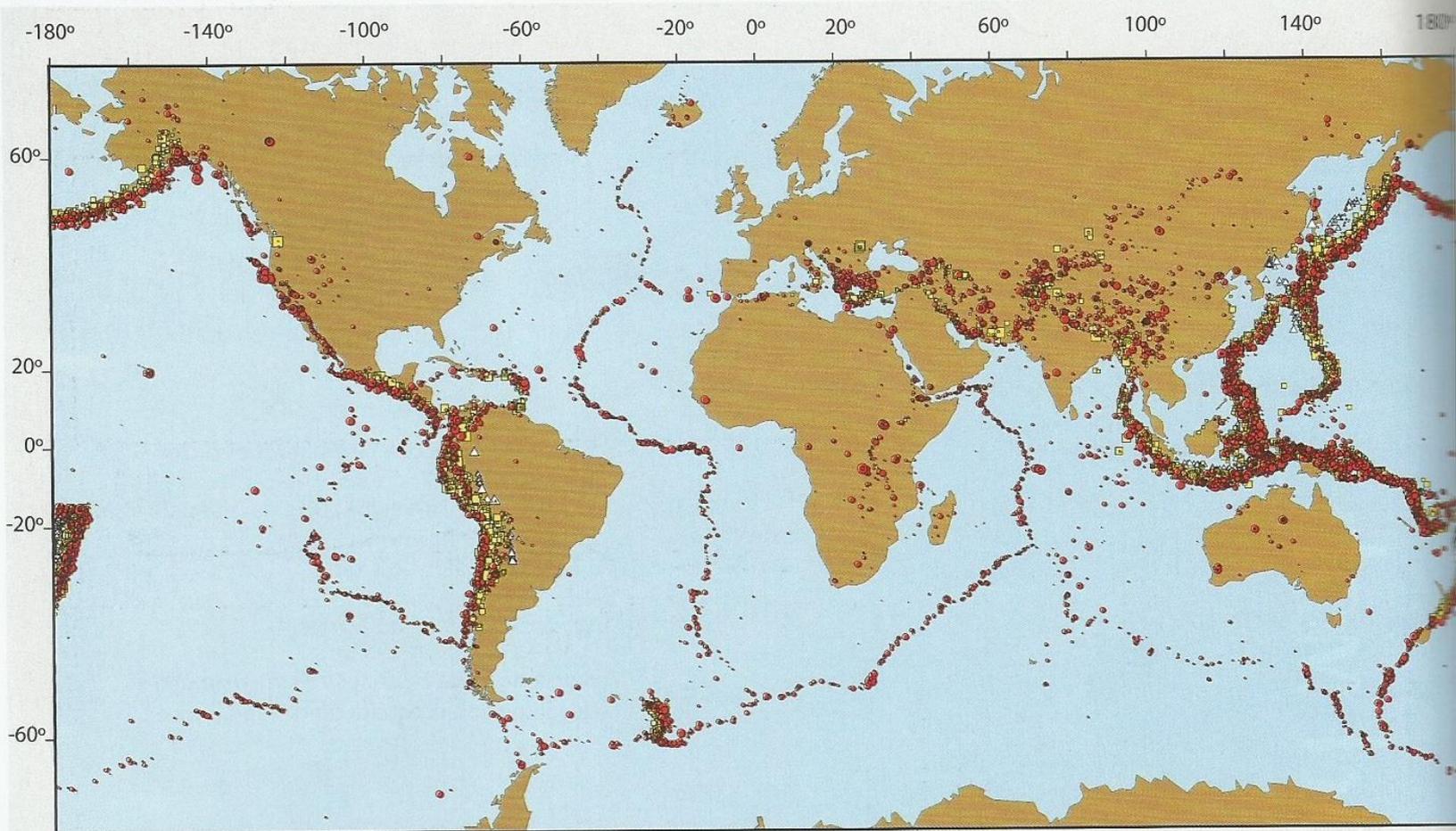
Natureza qualitativa e subjetiva

Baseada no efeito destrutivos e informações de como as pessoas sentiram o tremor

Importância histórica (sismos anteriores a existência de estações sismográficas)



Grau	Descrição dos Efeitos	Grau	Descrição dos Efeitos
I	Não sentido.	VII	Difícil manter-se em pé. Objetos suspensos vibram. Algumas trincas em construções normais. Escorregamentos de barrancos arenosos.
II	Sentido por poucas pessoas paradas, em andares superiores.	VIII	Colapso parcial em construções normais. Queda de chaminés, monumentos, torres e caixas d'água. Trincas no chão.
III	Sentido dentro de casa. Alguns objetos pendurados oscilam. Vibração parecida à da passagem de um caminhão leve.	IX	Pânico geral. Construções comuns bastante danificadas. Tubulação subterrânea quebrada. Rachaduras visíveis no solo.
IV	Objetos suspensos oscilam. Vibração parecida à da passagem de um caminhão pesado. Paredes e estruturas de madeira rangem.	X	Maioria das construções destruídas até nas fundações. Danos sérios a barragens e diques. Grandes escorregamentos de terra.
V	Sentido fora de casa; direção estimada. Pessoas acordam. Portas oscilam, fecham, abrem.	XI	Trilhos entortados. Tubulações subterrâneas completamente destruídas.
VI	Sentido por todos. Muitos se assustam e saem às ruas. Janelas, louças quebradas. Reboco fraco e construção de má qualidade racham.	XII	Destruição quase total. Grandes blocos de rochas deslocados. Linhas de visada e níveis alterados. Objetos atirados ao ar.



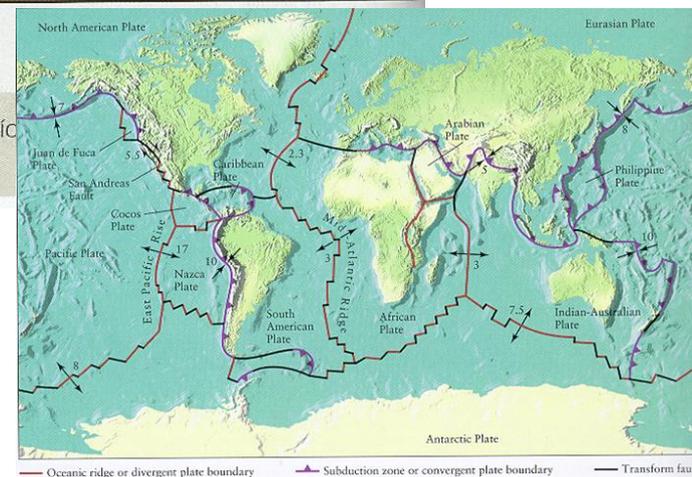
Profundidade em km:

● 0 - 35 ■ 36 - 350 △ 351 - 675

Figura 3.14 – Distribuição mundial de epicentros de sismos com magnitude $\geq 5,0$ na escala Richter no período 1964-1995. A distribuição dos epicentros define os limites das placas litosféricas. Fonte: USGS.

1964-1995

Localização dos terremotos está associada, sobretudo, aos limites das placas litosféricas



Exemplos de terremotos

TERREMOTOS NA TURQUIA E SÍRIA SÃO OS MAIORES DA REGIÃO DESDE 1939

terremotos têm força de 160 bombas atômicas

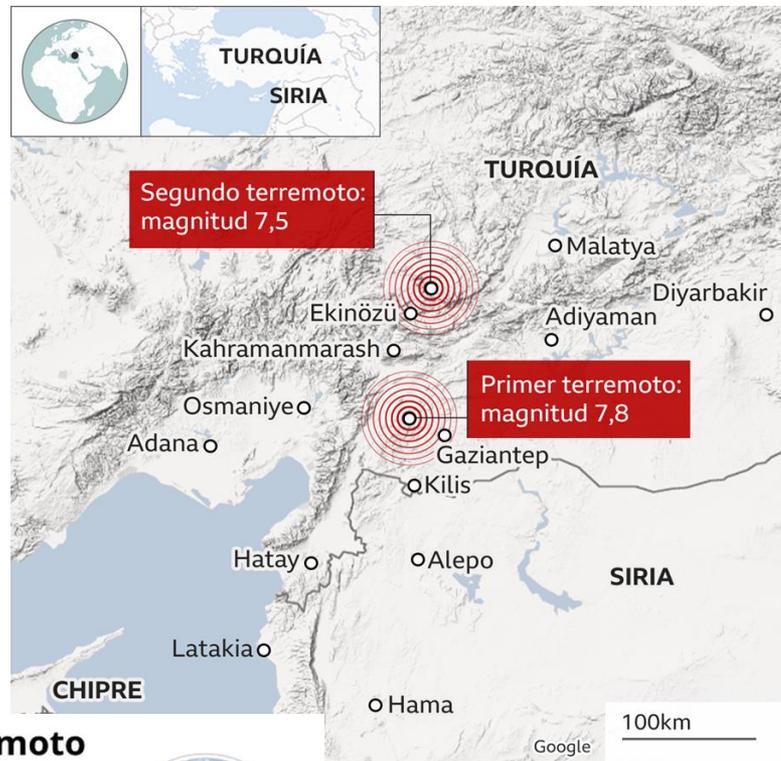


localização dos principais tremores

- 1 Nurdagi (epicentro)
- 2 Ekinozu

magnitude	7,8	7,5
profundidade	17,9 km	10,0 km

fonte: USGS



<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-64532674>

Área afetada pelo terremoto

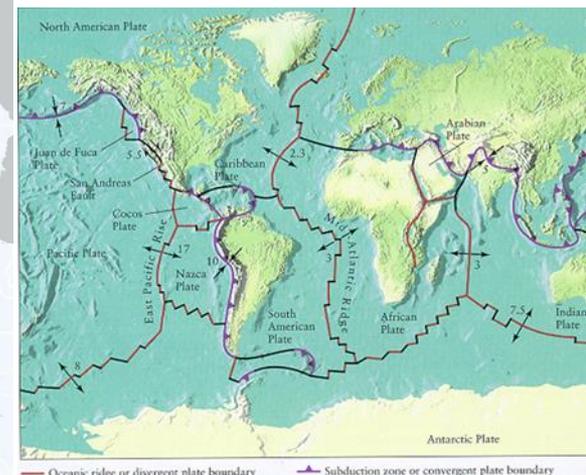
Intensidade do tremor:
SEVERA MODERADA



Fonte: Serviço Geológico dos Estados Unidos



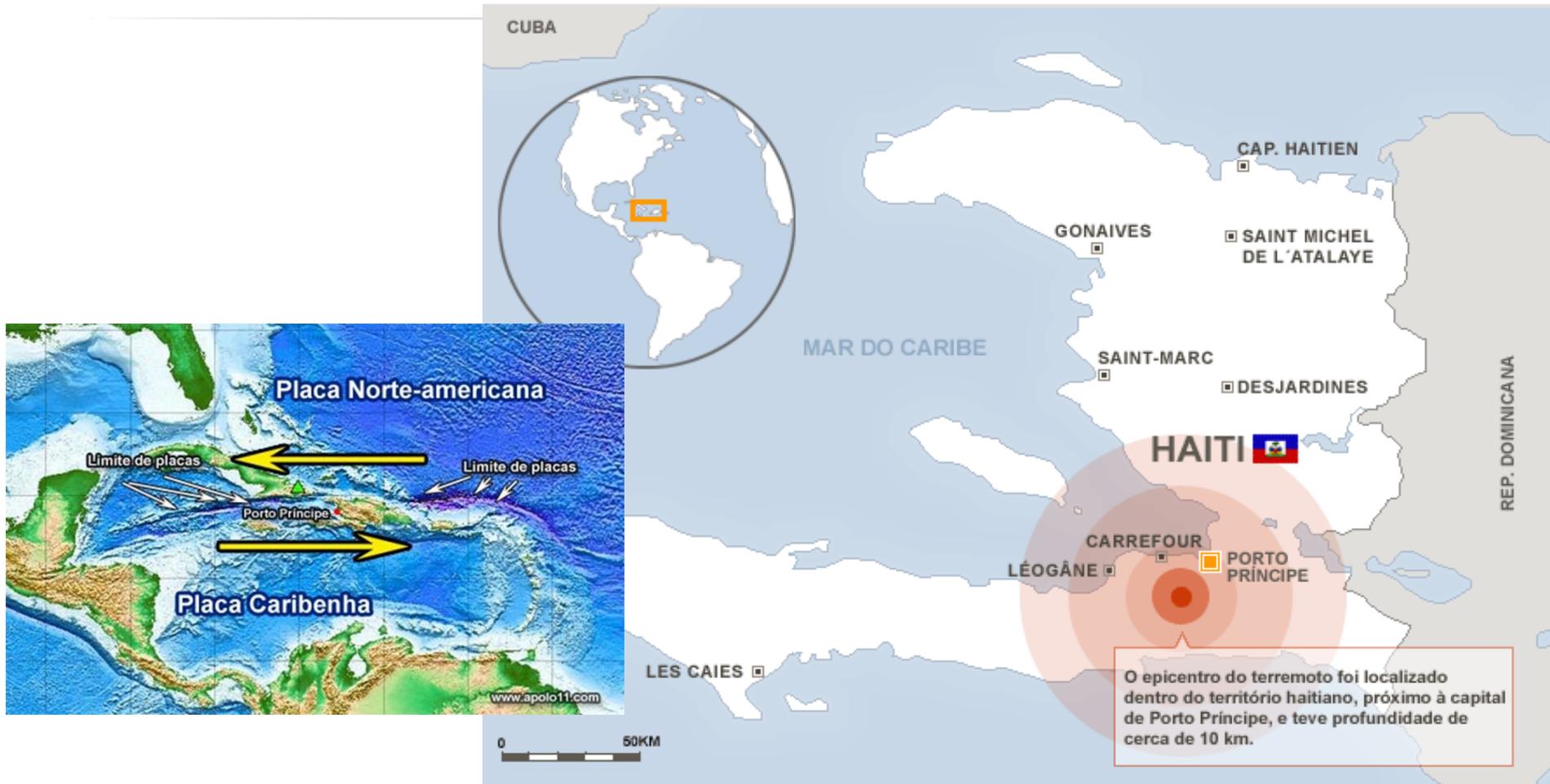
<https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2023/02/terremoto-na-turquia-e-na-siria-tremor-de-terra-deixa-mortos.ghtml>



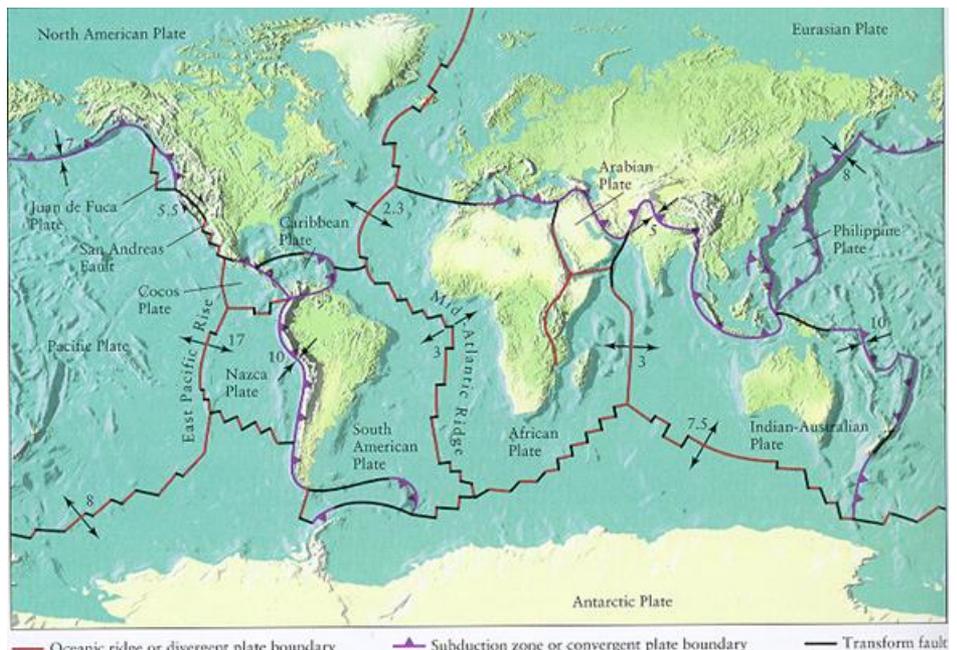
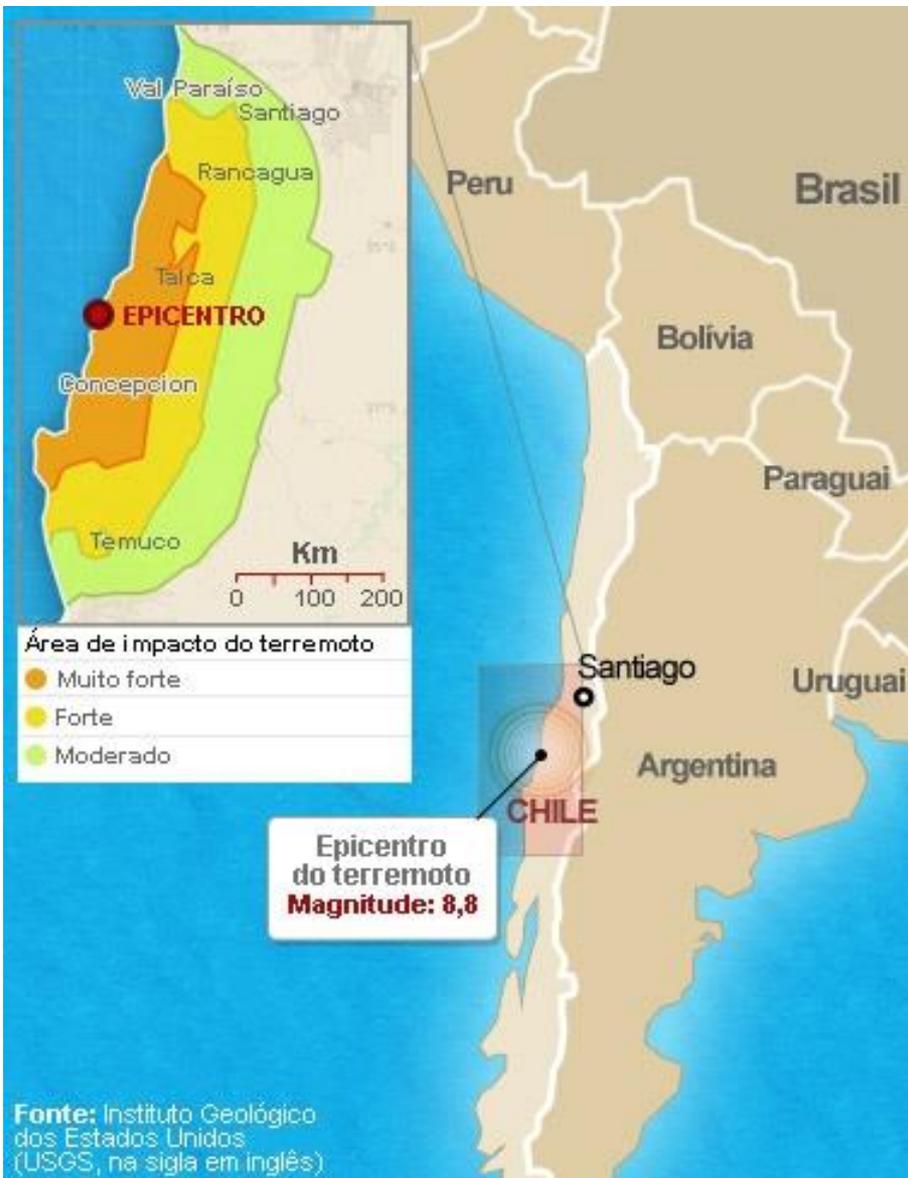
12/01/10

CAPITAL DO HAITI É DEVASTADA POR MAIOR TERREMOTO EM 200 ANOS

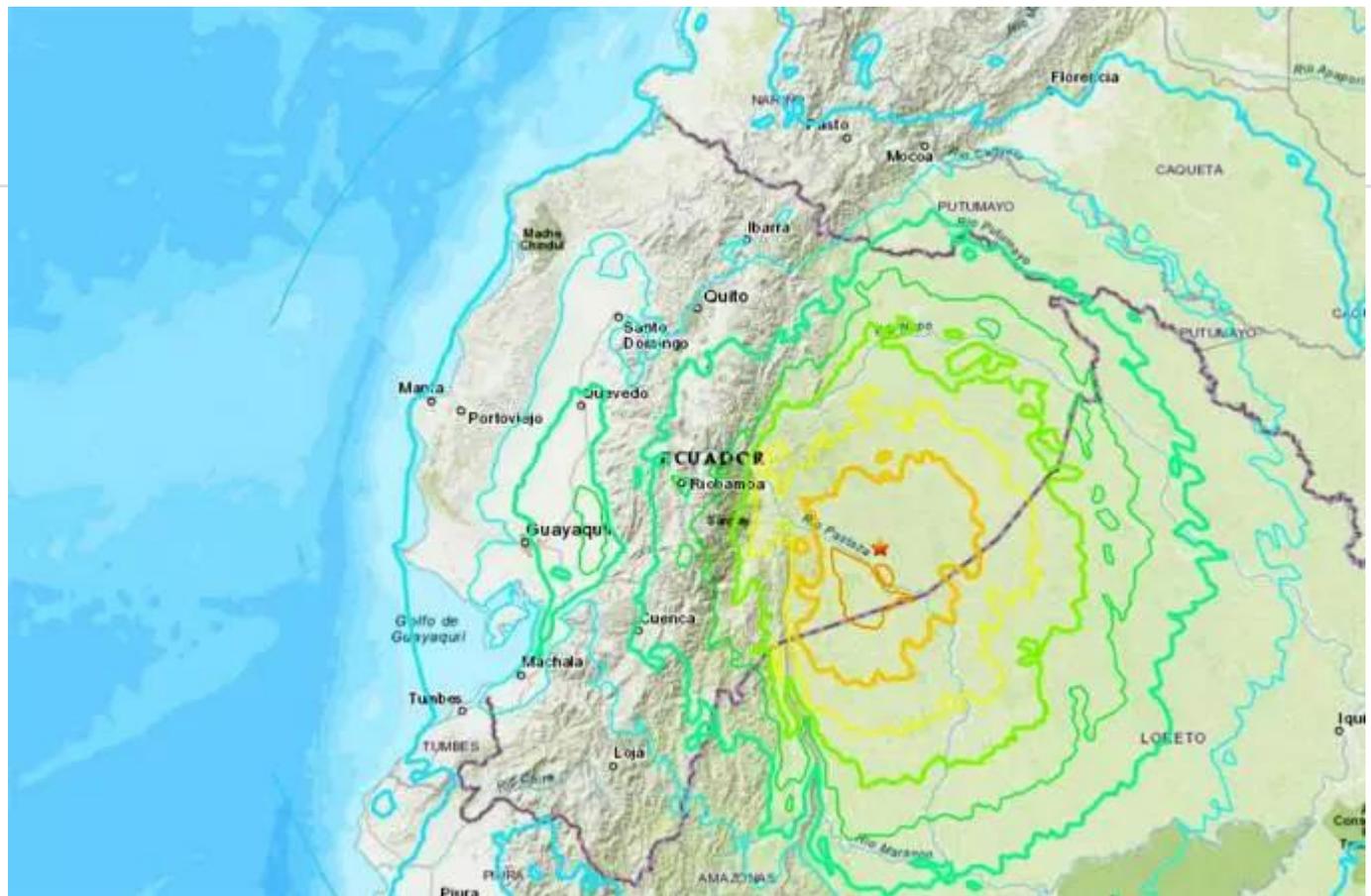
Um terremoto de magnitude 7 na escala Richter atingiu o Haiti às 19h53 (horário de Brasília) desta terça-feira. Com epicentro a 15 km da capital, Porto Príncipe



27/02/10



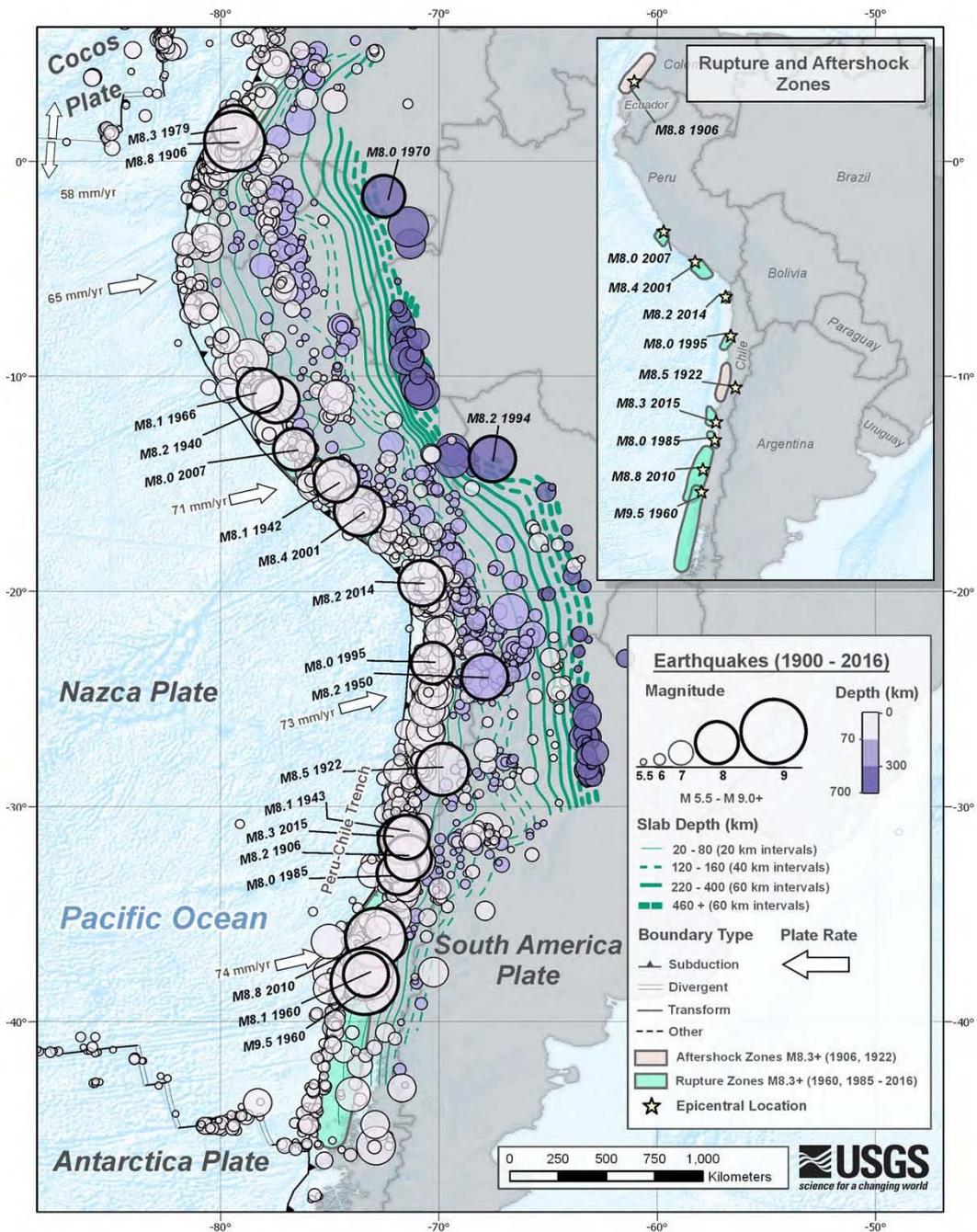
22/02/19



Terremoto de 7,5 graus de magnitude atingiu a região leste do Equador.

O epicentro do terremoto foi a 122,85 quilômetros da cidade de Macas, na província amazônica de Morona-Santiago, a uma profundidade de 107,27 quilômetros.

O tremor de 7,5 ocorreu às 5h17 local (7h17 em Brasília). Três minutos depois ocorreu outro tremor, este 6 graus na escala Richter, na mesma província, de acordo com o Instituto, a uma profundidade de 143 quilômetros, a 65,2 quilômetros de Macas.



Entenda o terremoto no Japão

O primeiro terremoto aconteceu às 14h46 (horário local – 2h46 de Brasília) de sexta-feira (11) a uma profundidade de 24 km, de acordo com o Centro de Estudos Geológicos dos EUA (USGS), que monitora tremores no mundo todo.

● LOCAIS ATINGIDOS ●●● PLACAS TECTÔNICAS





The March 16, 2022, M 7.3 earthquake near the east coast of Honshu, Japan, occurred as the result of thrust faulting at or near the subduction zone plate boundary interface between the Pacific and North America plates. Moment tensor solutions indicate that slip occurred either on a moderately dipping fault striking to the south, or a moderately dipping fault striking to the north, consistent with the east-west oriented compression expected in this region. At the location of this earthquake, the Pacific plate moves approximately westward relative to the North America plate at a velocity of roughly 70 mm/yr, subducting beneath Japan at the Japan Trench and dipping to the west beneath Japan. Note that some researchers divide this region into several microplates that together define the relative motions among the larger Pacific, North America, and Eurasia plates; these include the Okhotsk and Amur microplates local to this earthquake that are part of North America and Eurasia, respectively. While commonly plotted as points on maps, earthquakes of this size are more appropriately described as slip over a larger fault area. Reverse (thrust) faulting events of the size of the March 16, 2022 earthquake are typically about 55 km long by 30 km wide in size. **The March 16 earthquake was preceded by a M 6.4 foreshock approximately 2 minutes earlier.** A M 7.1 earthquake occurred ~15 km east of these events in February 2021. **The March 16 events occurred in the vicinity of the rupture area of the March 11, 2011 M9.1 Tohoku earthquake.** **The March 2011 M9.1 earthquake** was widely felt on the islands of Honshu and Hokkaido in Japan. Notably, that earthquake generated a significant tsunami that led to extensive destruction along the Japanese coast and propagated throughout the Pacific Ocean basin. Approximately 16,000 people perished as a result of the earthquake and subsequent tsunami. **The March 16 earthquake epicenter was located ~100 km from the epicenter of the March 2011 earthquake.** In the past century, **33 earthquakes of M7 or greater have occurred within 250 km of the March 16 earthquake,** including 7 earthquakes >M7 since the March 2011 M9.1 earthquake.

Data e hora em que foi detectado o terremoto	Nome da área do epicentro do terremoto	Magnitude	Intensidade sísmica máxima	Período de previsão
2022/03/16 13:45	Província de Fukushima	3.6	1	2022/03/16 13:50
2022/03/16 13:14	Ao largo da costa da Província de Fukushima	4.5	2	2022/03/16 13:17
2022/03/16 13:06	Ao largo da costa da Província de Miyagi	4.0	1	2022/03/16 13:10
2022/03/16 12:52	Ao largo da costa da Província de Fukushima	5.6	4	2022/03/16 12:56
2022/03/16 12:28	Ao largo da costa da Província de Fukushima	3.9	1	2022/03/16 12:31
2022/03/16 11:36	Ao largo da costa da Província de Fukushima	7.3	6+	2022/03/16 12:11

**Intensidade
sísmica 6-**



Alta resistência contra terremotos



Baixa resistência contra terremotos

Se tornará difícil de se manter de pé. As portas poderão não abrir, os ladrilhos da parede e os vidros das janelas poderão ficar danificados e cair.

**Intensidade
sísmica 6+**



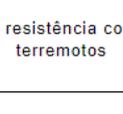
Alta resistência contra terremotos



Baixa resistência contra terremotos

Não será possível manter-se de pé. A maioria dos móveis que não estiver bem fixados poderão se mover, muitas coisas poderão cair.

**Intensidade
sísmica 7**



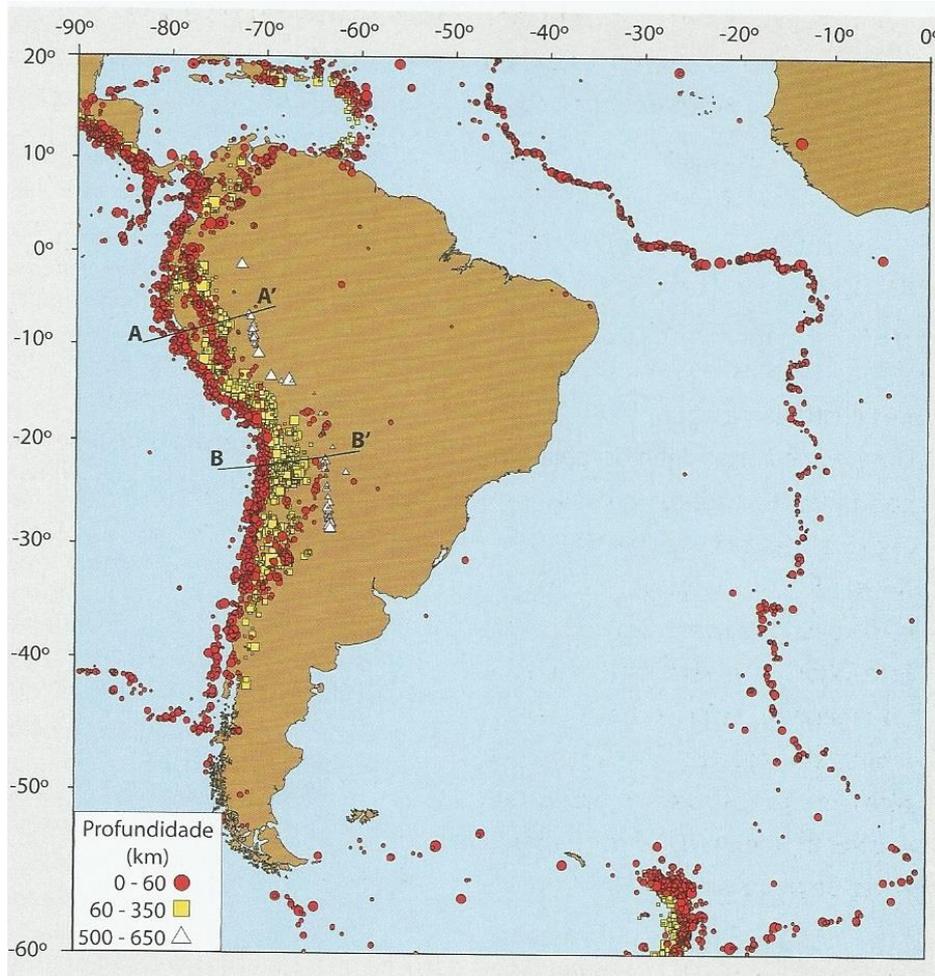
Alta resistência contra terremotos



Baixa resistência contra terremotos

A maioria dos móveis que não estiver bem fixados poderão se mover, cair ou serem arremessados.

SISMICIDADE DA AMÉRICA DO SUL



Brasil

- ✓ Interior da placa litosférica
- ✓ Zona estável do ponto de vista tectônico
- ✓ Sismos de pequena magnitude (em geral)
- ✓ Associados sobretudo à reativação de falhas antigas

Sismicidade da América do Sul (1964 a 1995, mag.>4,7)



Centro de Sismologia
IAG/IEE-USP



Monitor Sísmico

Último Evento Significativo

Monte Alto/SP

Magnitude: 1.7

Data: 06/04/2023

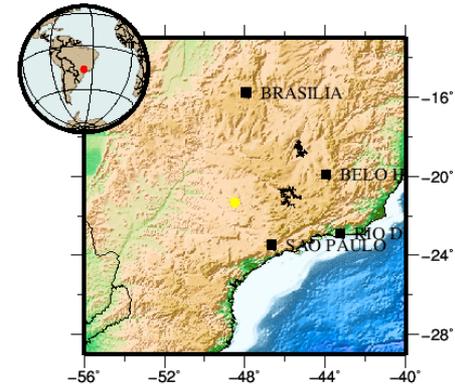
Hora: 06:24:19 UTC

Latitude: 21.34°S

Longitude: 48.51°W

Profundidade: 0 km

Modo: **Manual**



Mais informações em:

<http://www.moho.iag.usp.br>

<http://rsbr.on.br/>

Legenda

Magnitude:



M=3



M=4



M=5



M=6



M=7



Cidade importante

Tempo desde o evento:

Última semana

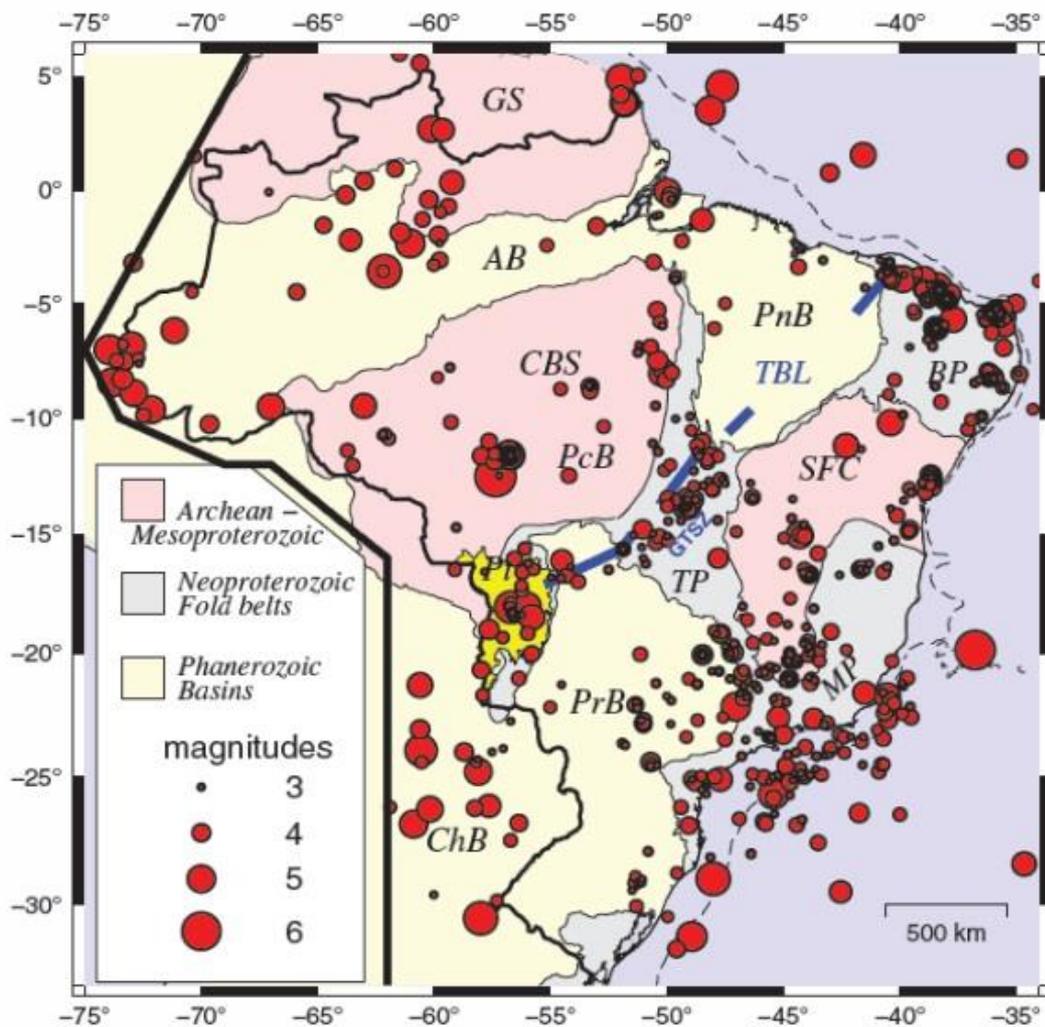
Último dia

Última hora

▲ Estação Sismográfica

Dados fornecidos pela
Rede Sismográfica do
Brasil (RSBR)

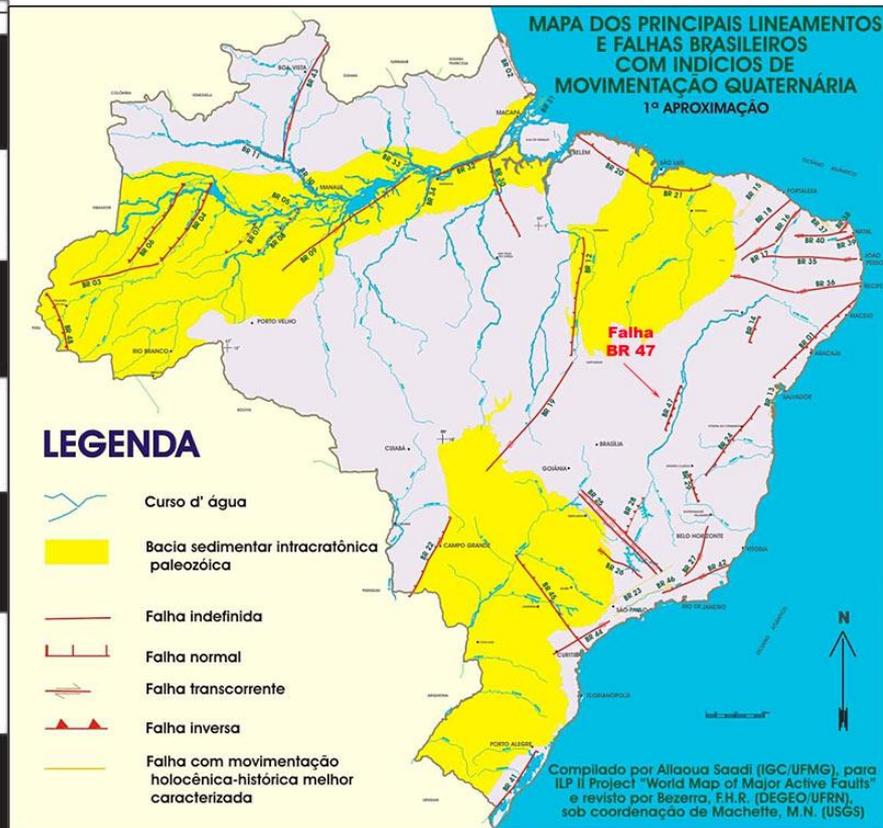
A menos que revisadas por um geofísico, as localizações automáticas dos terremotos aqui apresentadas podem conter erros significativos / Atualizado em Fri Apr 7 16:40:01 UTC 2023



Catálogo Sísmico Brasileiro (1767-2014), magnitude > 3.0

Dias et al., 2016

No mapa, os epicentros conhecidos no Brasil até 2014 e as principais províncias geológicas do país: GS = Escudo das Guianas, CBS = Escudo do Brasil Central, SFC = Craton São Francisco, AB = Bacia do Amazonas, PnB = Bacia do Parnaíba, PcB = Bacia do Parecis, BP = Província Borborema, ChB = Bacia do Chaco, TP = Província do Tocantins, PrB = Bacia do Paraná, MP = Província Mantiqueira. A linha realçada indica o Lineamento Transbrasiliano (TBL), e a Zona Sísmica Goiás-Tocantins (GTSZ) também é indicada



<https://1.bp.blogspot.com/-aGXTz8rojdc/X00SaVXII9I/AAAAAABNHo/yWMizCYvFockXQpIUYdd7bLYHQIGrQ6WACLcBGAsYHQ/s786/0001-3765-aabc-201620140507-gf1.jpg>

Maiores terremotos na história recente do Brasil

A Serra do Tombador, em Mato Grosso, teve um abalo que atingiu 6,6 pontos na escala Richter em 1955.

Foi o maior terremoto em território brasileiro não causou danos porque a região era desabitada na época.

Em 2022, um terremoto de magnitude **6,5 atingiu a região da fronteira entre o Peru e o Brasil.**

O tremor ocorreu por volta de 22h no horário de Brasília, a uma profundidade considerada alta, de 616 km e a cerca de 111 km da cidade de **Tarauacá, no Acre.**

Em 1986, **João Câmara**, no Rio Grande do Norte, teve um abalo sísmico de magnitude 5,1.

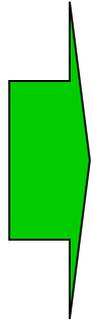
O tremor fez casas desabarem e milhares moradores deixarem a cidade. Mais de 10 mil pessoas ficaram desabrigadas.

Sobre o mapa de risco de tremores de terra no Brasil

<https://youtu.be/W6tOVzxBtrQ?t=471>

É possível prever terremotos?

NÃO



Apesar dos progressos obtidos: compreensão da tectônica de placas

Não existe um modo seguro de prever terremotos

(sua localização, tempo e magnitude)

Existem indicações:

- ▶ **Quando uma rocha está para se romper – diminuição nas velocidades de propagação das ondas P e S**
- ▶ **Aumenta o número de microtremores**

Minimizando os riscos dos terremotos



Mapas de riscos sísmicos (localização de falhas)

Inventário dos terremotos passados (magnitude, duração e tipo de falhas)

Conhecimento do material geológico entre a fonte dos terremotos e as obras de engenharia

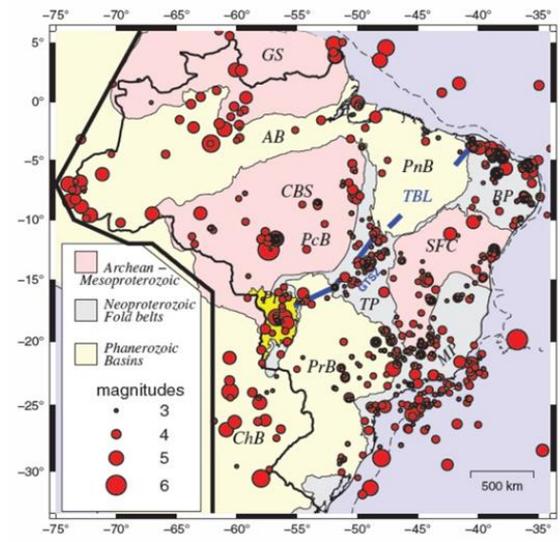
MAPA DOS PRINCIPAIS LINEAMENTOS E FALHAS BRASILEIRAS COM INDÍCIOS DE MOVIMENTAÇÃO QUATERNÁRIA
1ª APROXIMAÇÃO



LEGENDA

-  Curso d' água
-  Bacia sedimentar intracratônica paleozóica
-  Falha indefinida
-  Falha normal
-  Falha transcorrente
-  Falha inversa
-  Falha com movimentação holocênica-histórica melhor caracterizada

Compilado por Allaoua Saadi (IGC/UFMG), para ILP II Project "World Map of Major Active Faults" e revisado por Bezerra, F.H.R. (DEGEO/UFRN), sob coordenação de Machelte, M.N. (USGS)



Catálogo Sísmico Brasileiro (1767-2014), magnitude > 3.0

Dias et al., 2016

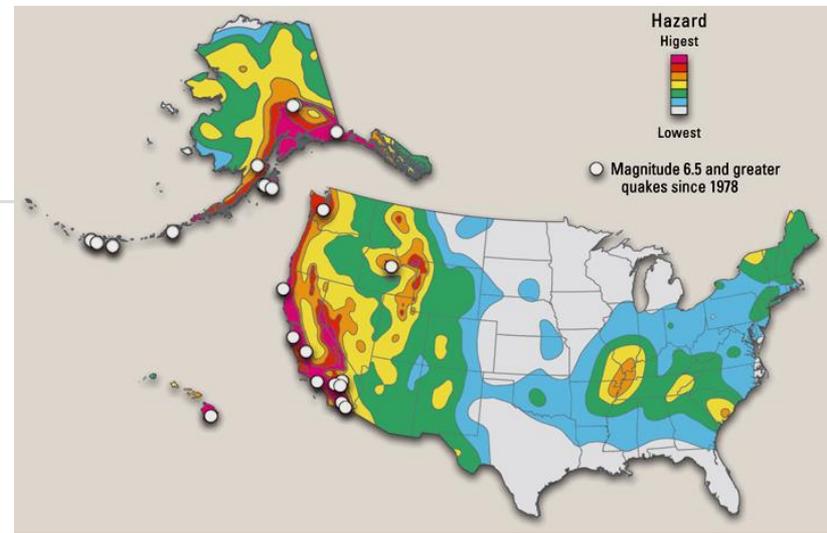
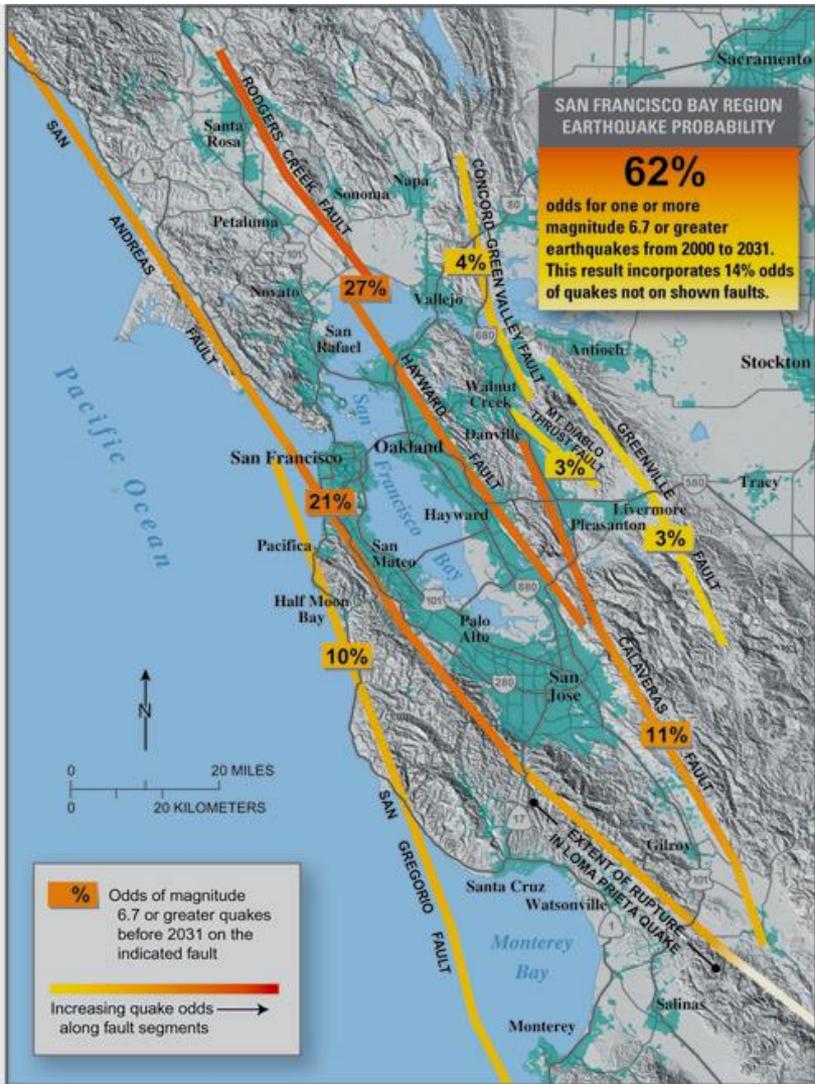
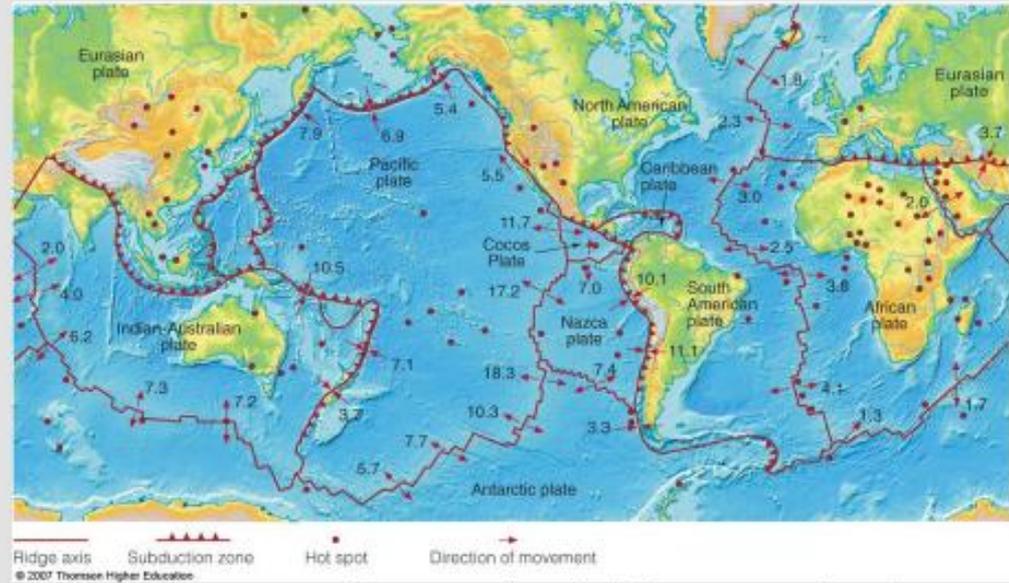


Plate Map



Movimentos Verticais - Isostasia

Além dos movimentos horizontais da litosfera → **Tectônica de placas**

São observados **movimentos verticais**:

→ **Subsidência** (ex. Groelândia – devido ao peso da espessa camada de gelo da sua superfície, está afundando de modo que suas rochas estão abaixo do nível do mar)

→ **Soerguimento** (ex. Escandinávia – devido ao desaparecimento do gelo que existia há cerca de 10.000 anos)



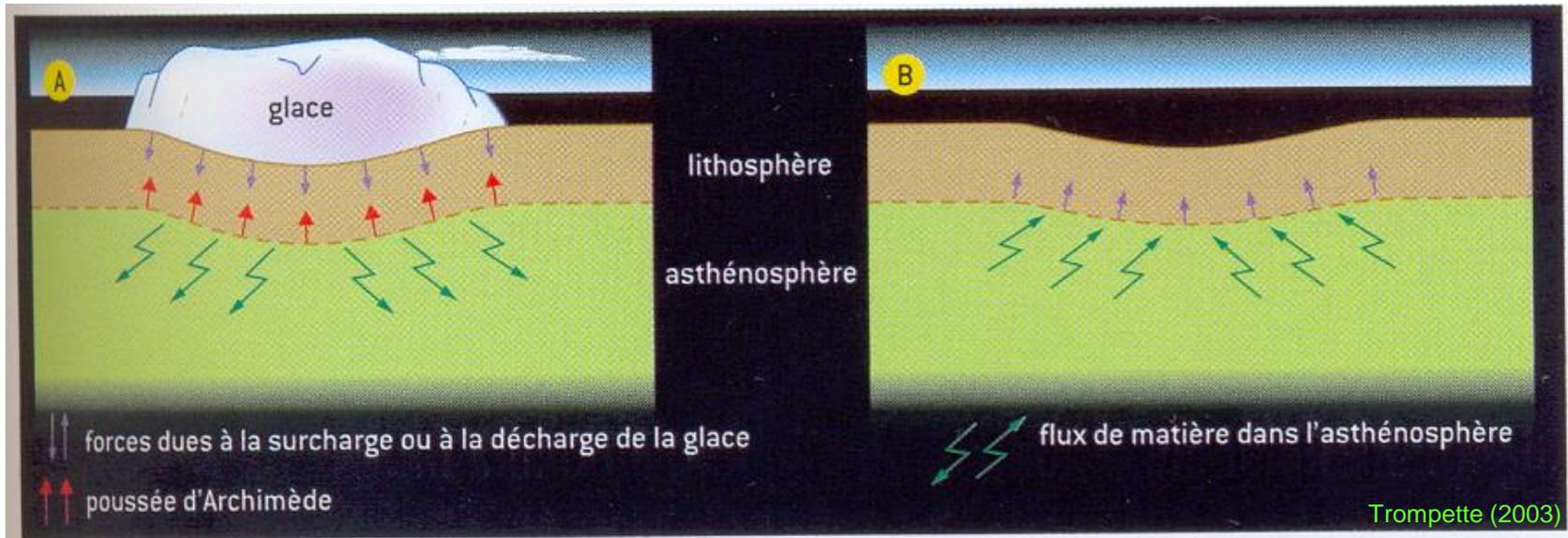
<https://auroraboreal.blog.br/wp-content/uploads/2019/02/expedicao-pela-groenlandia-e1550076657121-1024x626.jpeg>



<https://i.pining.com/originals/1b/69/73/1b697384c31c008af1726fbf485597e6.jpg>

Subsidência – adição de uma grande massa sobre a crosta devido, p.ex., extravasamento de grandes quantidades de magmas basálticos, sedimentação ou formação de calotas polares

Soerguimento – remoção de carga sobre a superfície da crosta, p.ex., degelo das calotas polares, erosão intensa em áreas montanhosas



Deformação da litosfera e astenosfera

Lento retorno a posição original

- ✓ litosfera relativamente rígida comporta-se com uma camada “elástica” que se deforma
- ✓ astenosfera subjacente (comportamento de um fluido viscoso, no qual ocorrem deformações plásticas na escala do tempo geológico) se molda de modo para compensar estas deformações para restabelecer um equilíbrio do tipo hidrostático

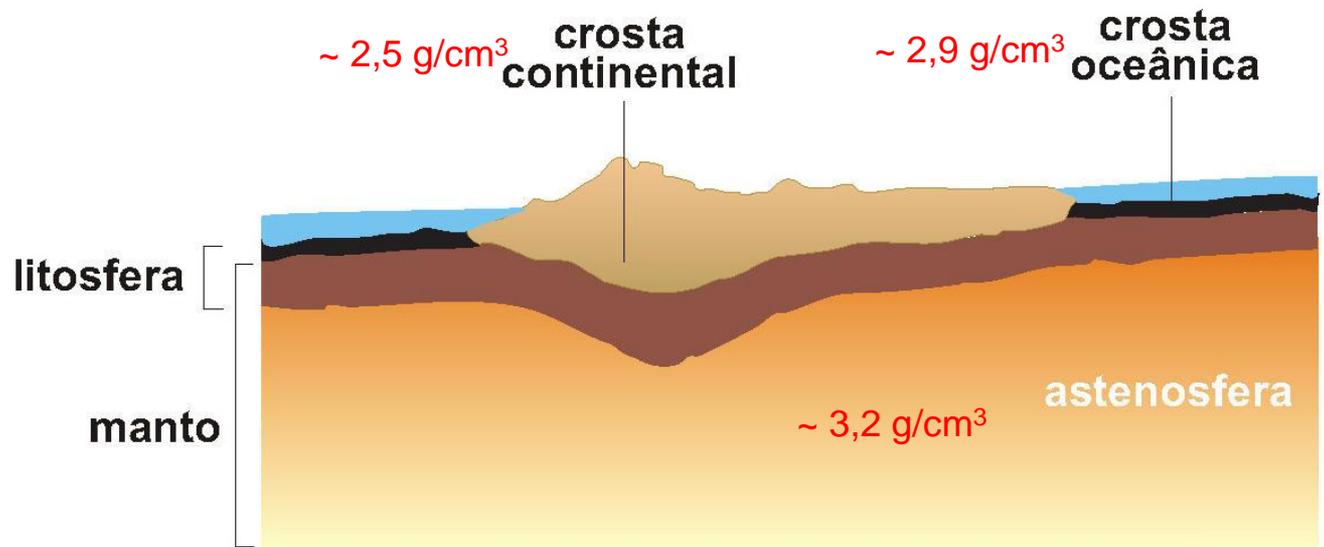


denominado **Equilíbrio Isostático**

É esse equilíbrio isostático que permite que as placas litosféricas flutuem, da mesma forma que um iceberg flutua sobre a água, sobre a astenosfera

Isto define o princípio da **Isostasia** ou da **Compensação Isostática** que é baseado no princípio de **equilíbrio hidrostático** de Arquimedes (um corpo ao flutuar desloca uma massa de água equivalente à sua própria)

crosta continental e a crosta oceânica tem espessuras tão diferentes



Teixeira et al. (2000)

Crosta continental menor densidade ➡ maior espessura

Crosta oceânica maior densidade ➡ menor espessura

Teixeira et al. (2009)

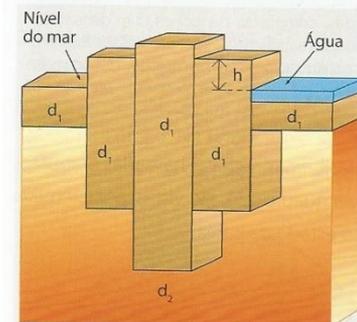


Figura 2.25 – Modelo de compensação isostática de Airy. A camada superior rígida possui densidade constante (d_1), mas inferior àquela do substrato plástico (d_2). A condição de equilíbrio isostático é atingida pela variação da espessura da camada superior (crosta) atingindo espessuras bastante expressivas.

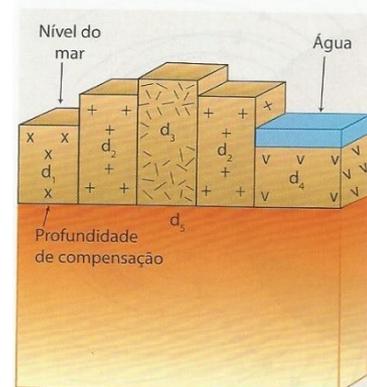
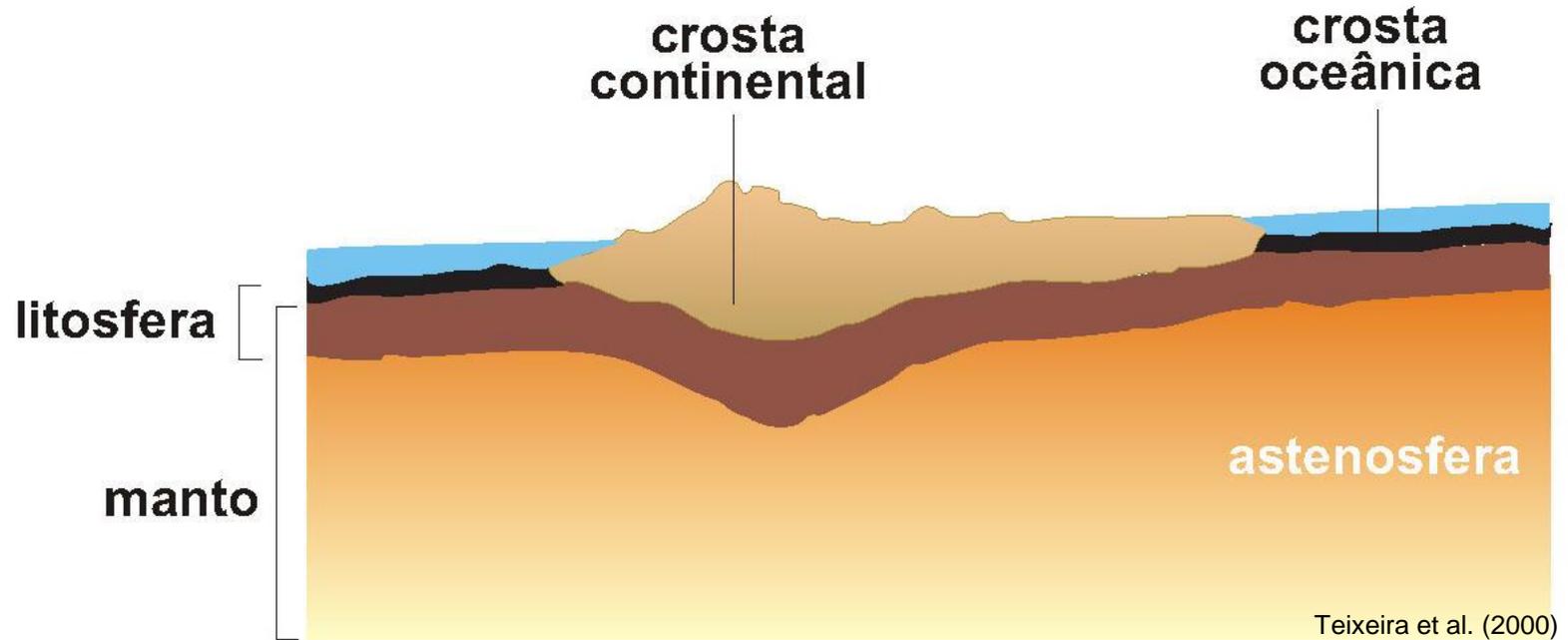


Figura 2.26 – Modelo de compensação isostática de Pratt. A camada superior rígida é composta de blocos de igual profundidade, mas com densidades diferentes e menores do que aquela do substrato plástico ($d_3 < d_2 < d_1 < d_4$). A condição de equilíbrio isostático é atingida pela variação da densidade, de modo que as rochas sob as cadeias montanhosas seriam menos densas, enquanto as bacias oceânicas seriam mais densas.

Os continentes estão acima do nível do mar devido a isostasia



Mesmo após sofrer forte erosão durante o tempo geológico, a crosta continental situa-se acima do nível do mar

A remoção do material por erosão é compensada por um lento soerguimento da astenosfera (rochas originadas em grandes profundidades acabam atingindo níveis superficiais)