



CÂMARA DOS DEPUTADOS

AUDIÊNCIA PÚBLICA

Necessidade de organizar sociedade brasileira para o enfrentamento de catástrofes naturais e as recentes ocorrências no País.

TERREMOTOS

Lucas Vieira Barros <lucas@unb.br>
61 3340-4055; 9981-0604

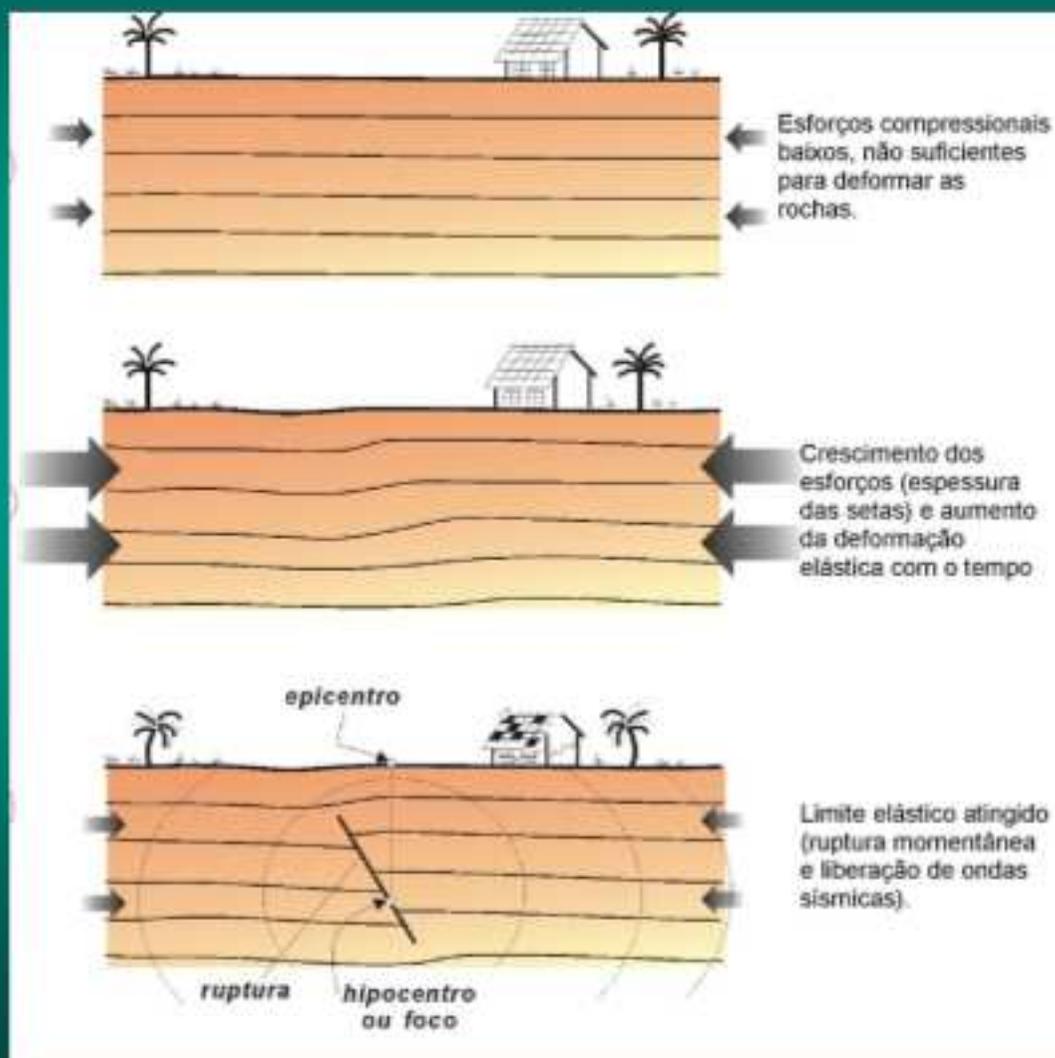
Brasília/DF, 12 de abril de 2011.



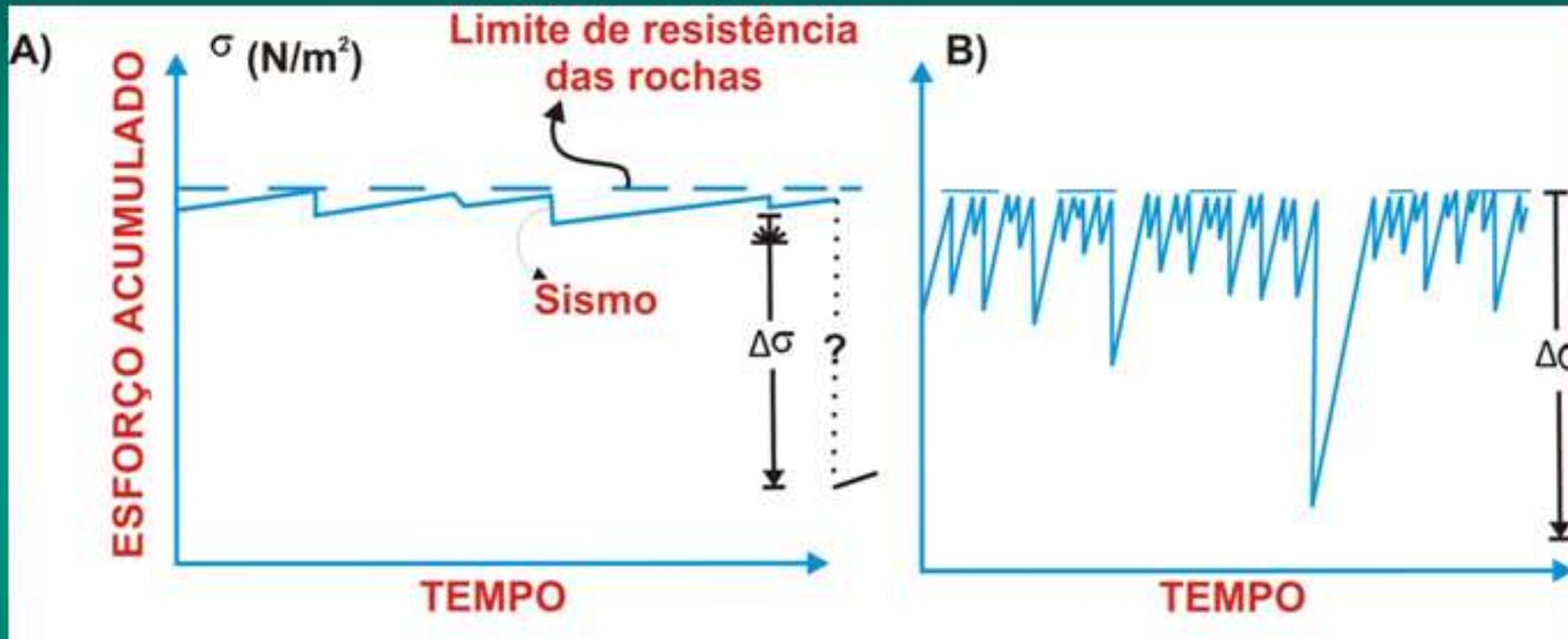
SUMÁRIO

- Como, onde e porque ocorrem os terremotos;
- Sismos de borda e de interior de placas;
- Sismicidade brasileira, natural e induzida por reservatórios;
- Sismicidade recente:
 - Porto dos Gaúchos
 - Caraibas-Itacarambi
 - Montes Claros
- Monitoramento Sismográfico;
- Conclusões;
- Recomendações.

Sismo: ruptura repentina provocada por “tensões tectônicas”.



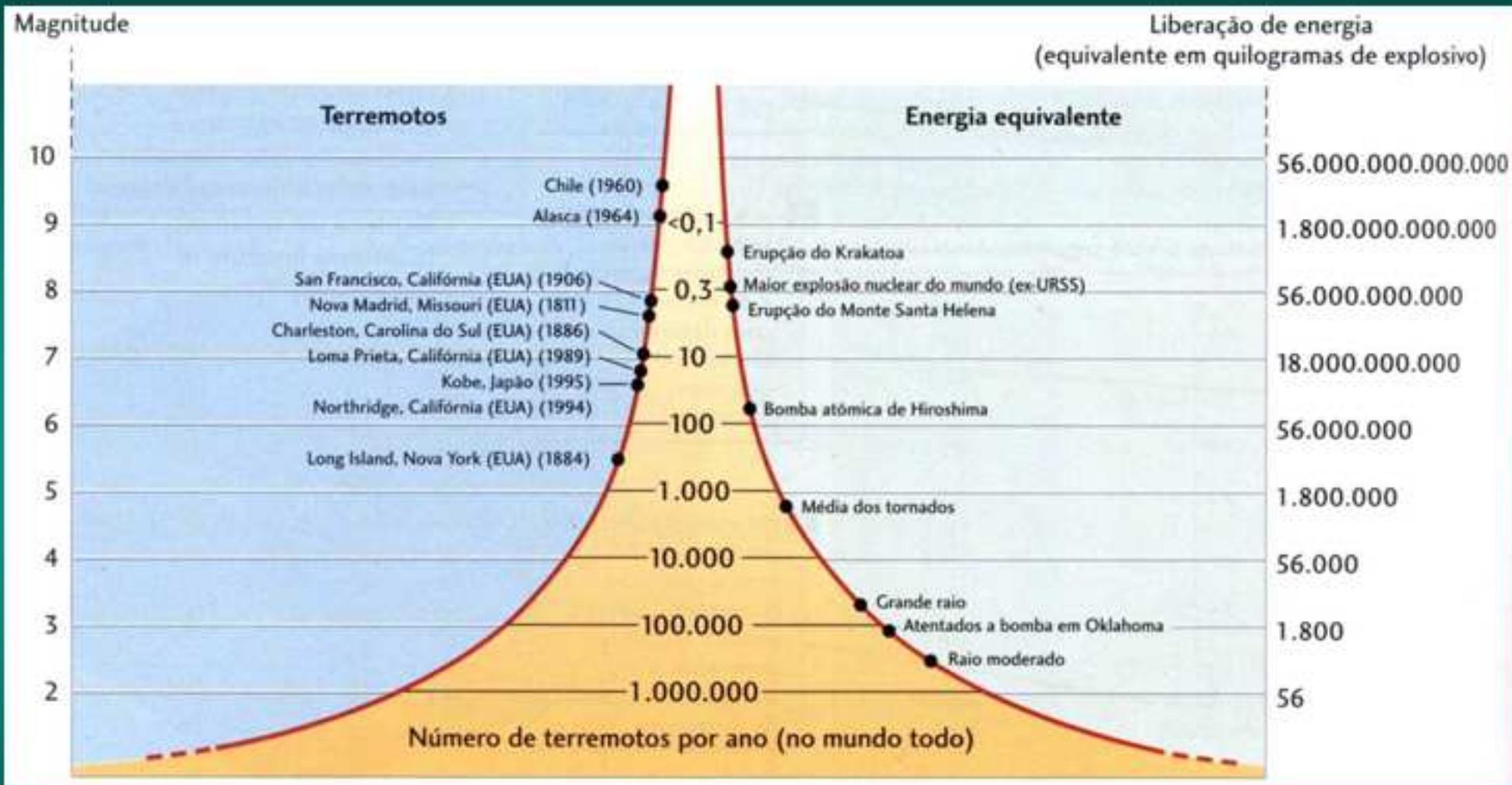
Modelo de acumulação e liberação de esforços.



A) interior de placas e B) nos limites de placas.

Observe a maior frequência de ocorrências sísmicas nas bordas de placas, devido ao menor tempo de acúmulo de esforços. A interrogação denota incerteza e possibilidade de ocorrência de grandes terremotos em regiões intraplacas.

O tamanho do terremoto depende da queda de esforço $\Delta\sigma$ (Modificado de Assumpção, 1983).

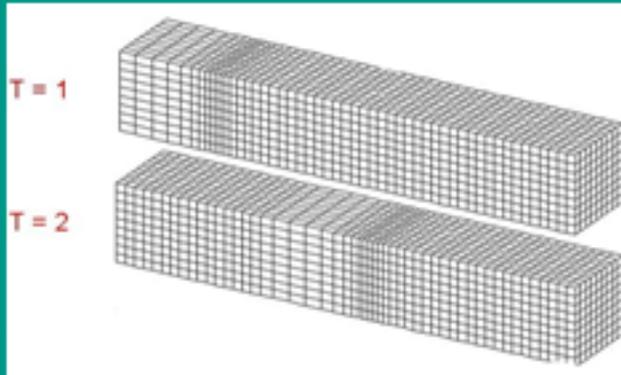


Relação entre magnitude (escala na esquerda), liberação de energia por terremotos (escala na direita), número de terremotos por ano no mundo (escala colorida na horizontal) e outras grandes fontes de energia liberada repentinamente (Press et al., 2006).

Consequência do terremoto: geração de ondas sísmicas

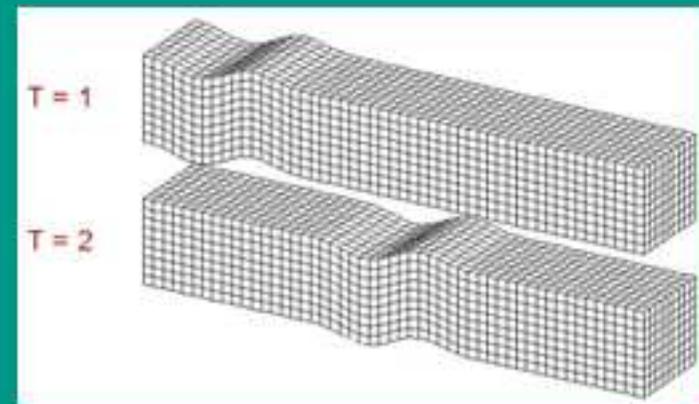
Ondas P: compressionais

$$\alpha = \sqrt{\frac{K + 4\mu/3}{\rho}}$$



Ondas S: cisalhantes

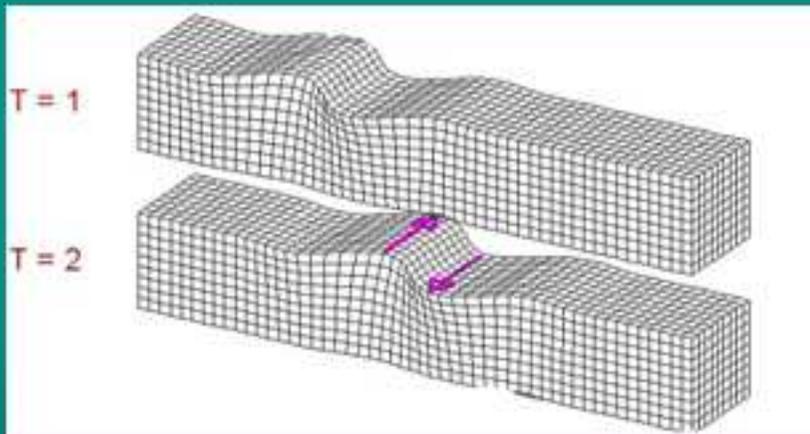
$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$



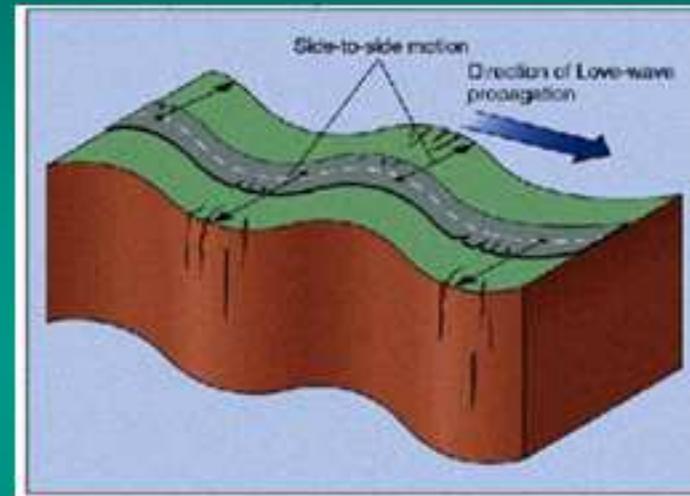


Ondas de Superfície

Ondas Love Movimento Horizontal

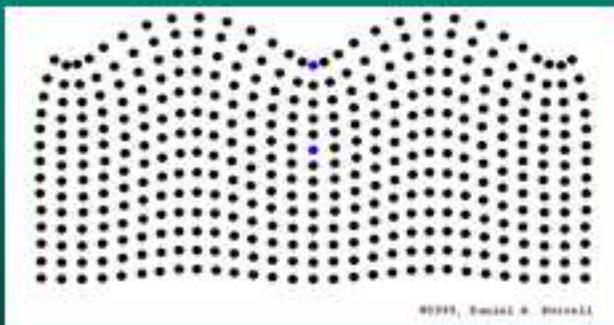
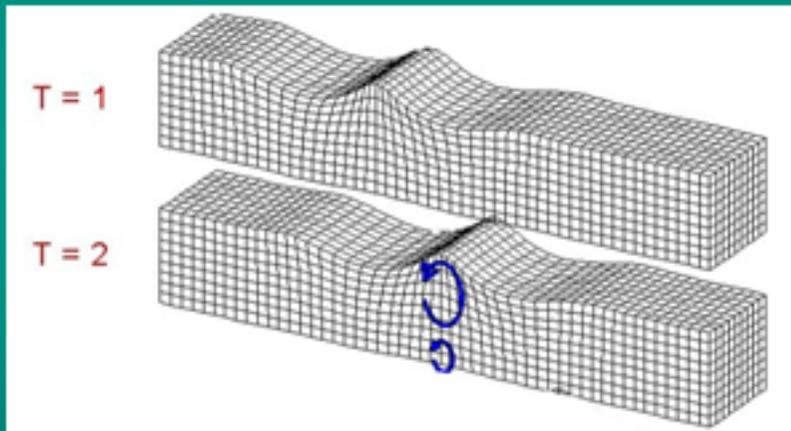


Efeitos no terreno

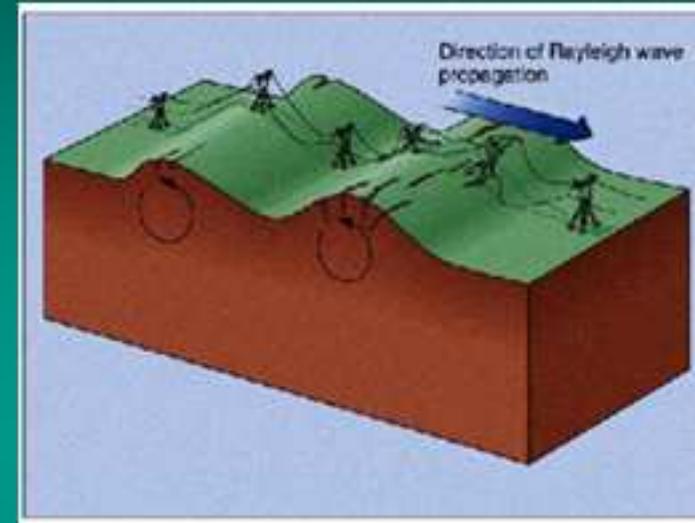


Ondas de Superfície

Ondas Rayleigh Movimento Elíptico

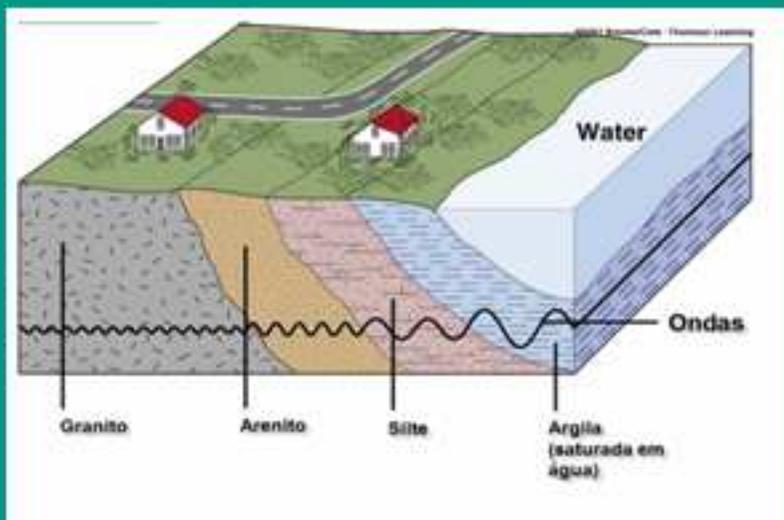


Efeitos no terreno



Poder de destruição de um terremoto

Diferença de Densidade

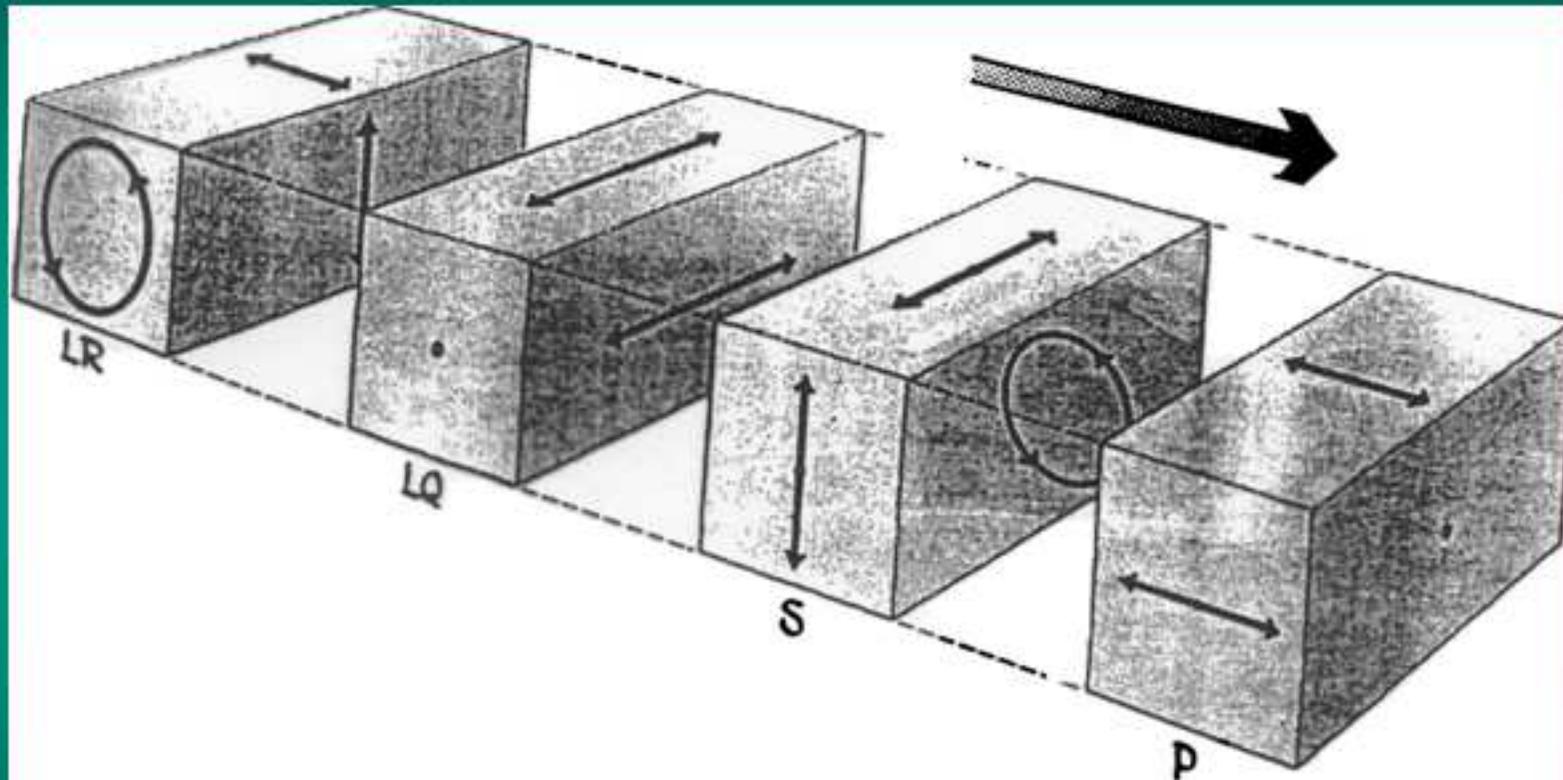


Depende (dentre outros):

1. Magnitude do terremoto;
2. Distância do epicentro aos centros urbanos;
3. Profundidade do foco sísmico;
4. Geologia do terreno sobre o qual se assentam as construções;
5. Posição da fonte sísmica em relação aos centros urbanos;
6. Hora de ocorrência do terremoto;
7. Educação do povo para lidar com o fenômeno.



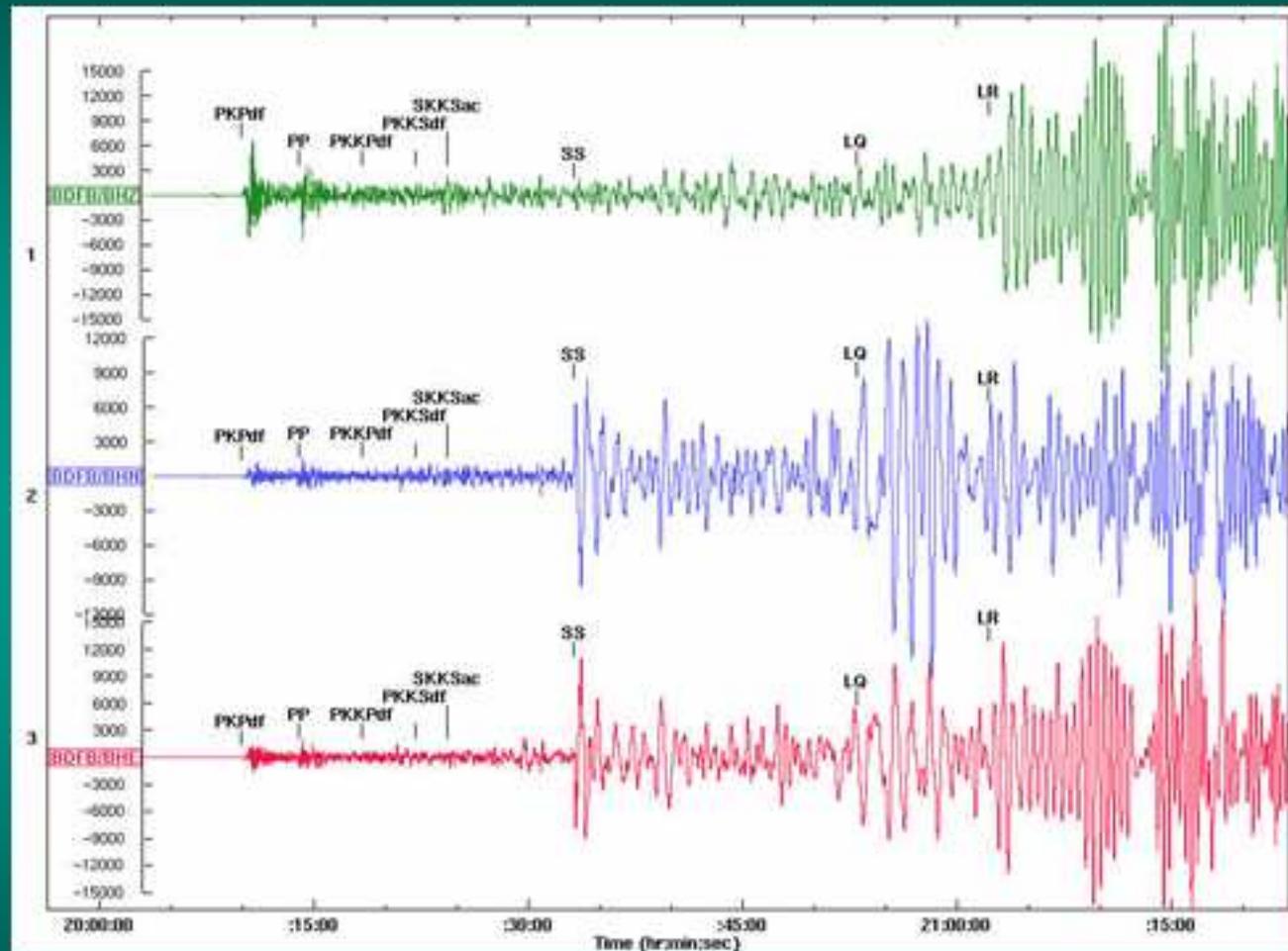
PROPAGAÇÃO DAS ONDAS SÍSMICAS



As setas indicam o movimento de partículas das rochas devido à propagação das ondas P, S, LQ (Love) e LR (Rayleigh) da esquerda para direita. No sismograma esta seria a ordem de chegada dessas ondas.



Sismograma de um terremoto no Japão



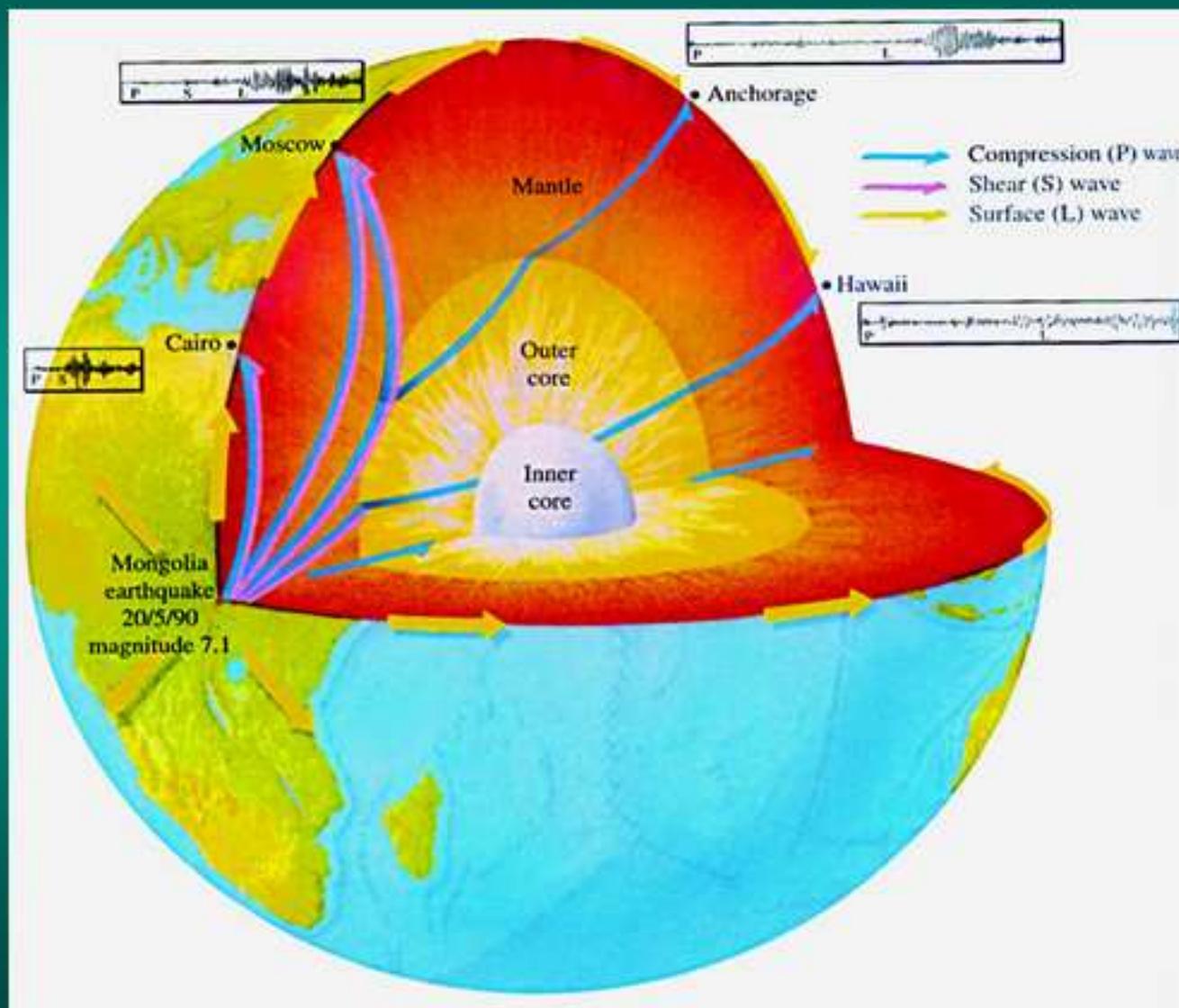
Telessismo ocorrido no dia 25/09/2003, às 19:50 (UTC) detectado pela estação sismográfica BDFB/PS07, ocorrido em Hokaido no Japão, com magnitude 8.3 Mw (HRV) e profundidade 27 km (NEIC\USGS)



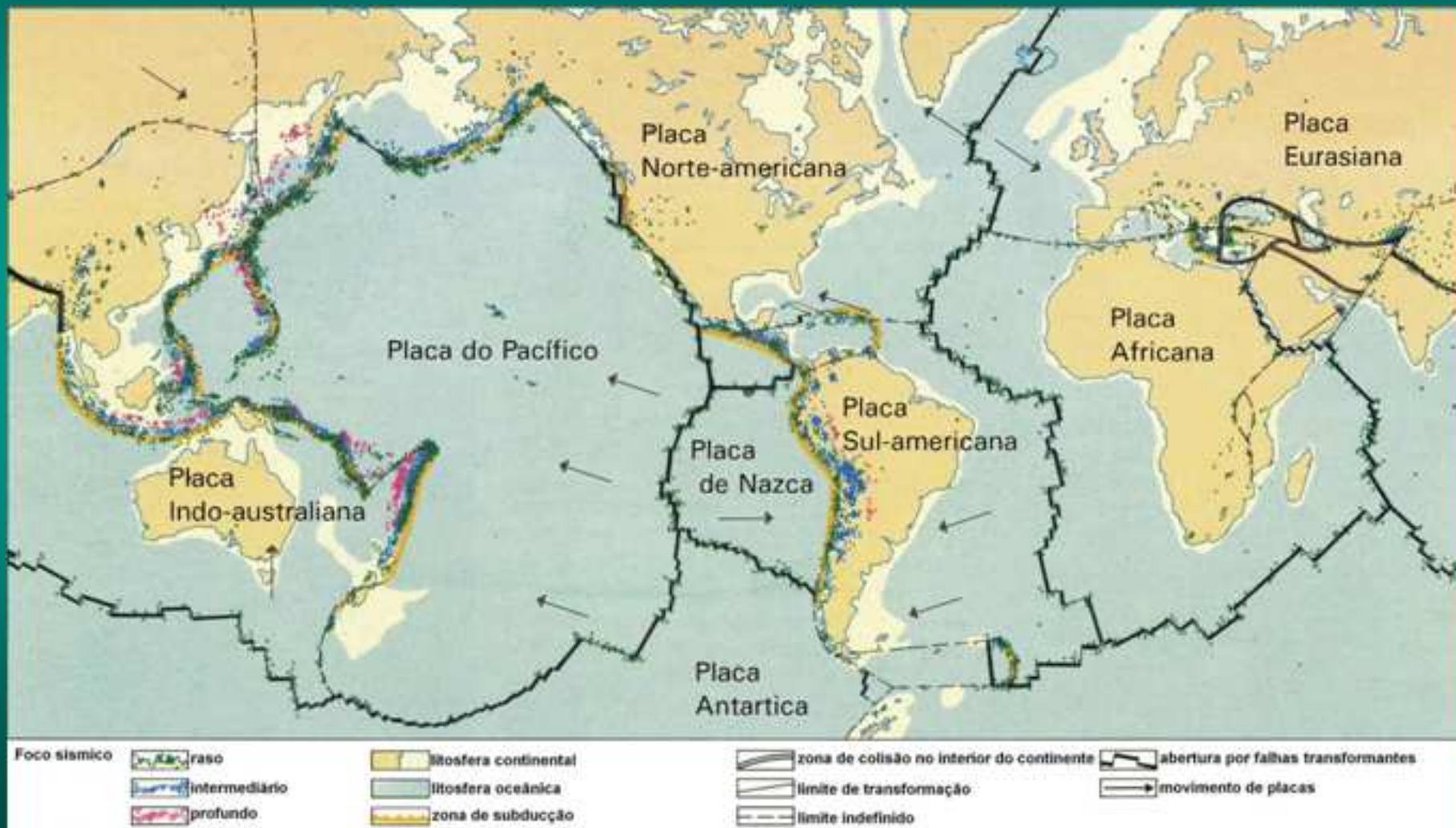
A Sismologia e o conhecimento do interior da Terra

Propagação.

As ondas sísmicas são como um veículo através do qual são transportadas informações sobre a estrutura interna da Terra; sua constituição e processos dinâmicos em curso em seu interior (Bolt, 1999).

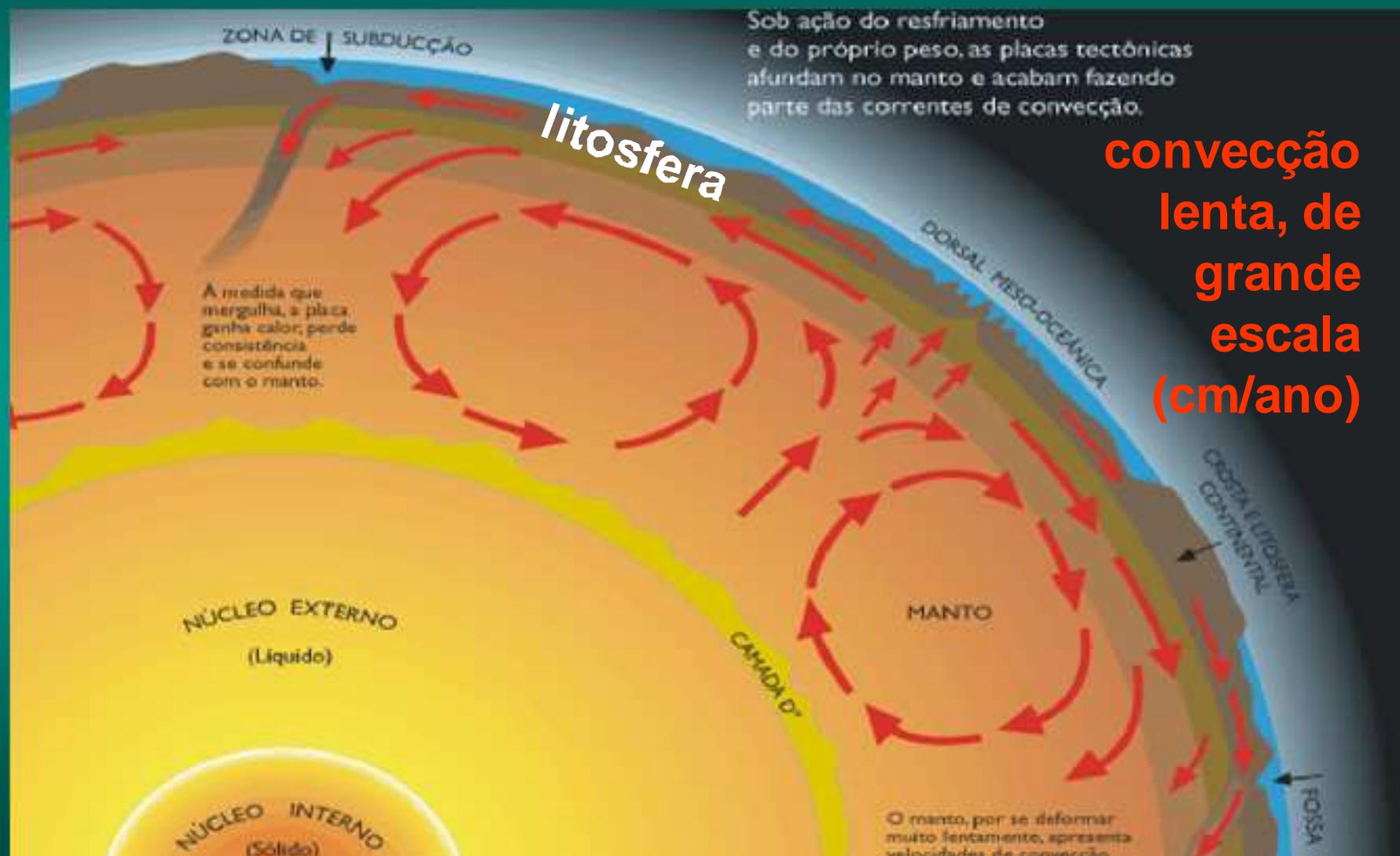


A litosfera, a camada rígida superficial da Terra, está dividida em grandes porções, chamadas *placas litosféricas* ou *placas tectônicas*.



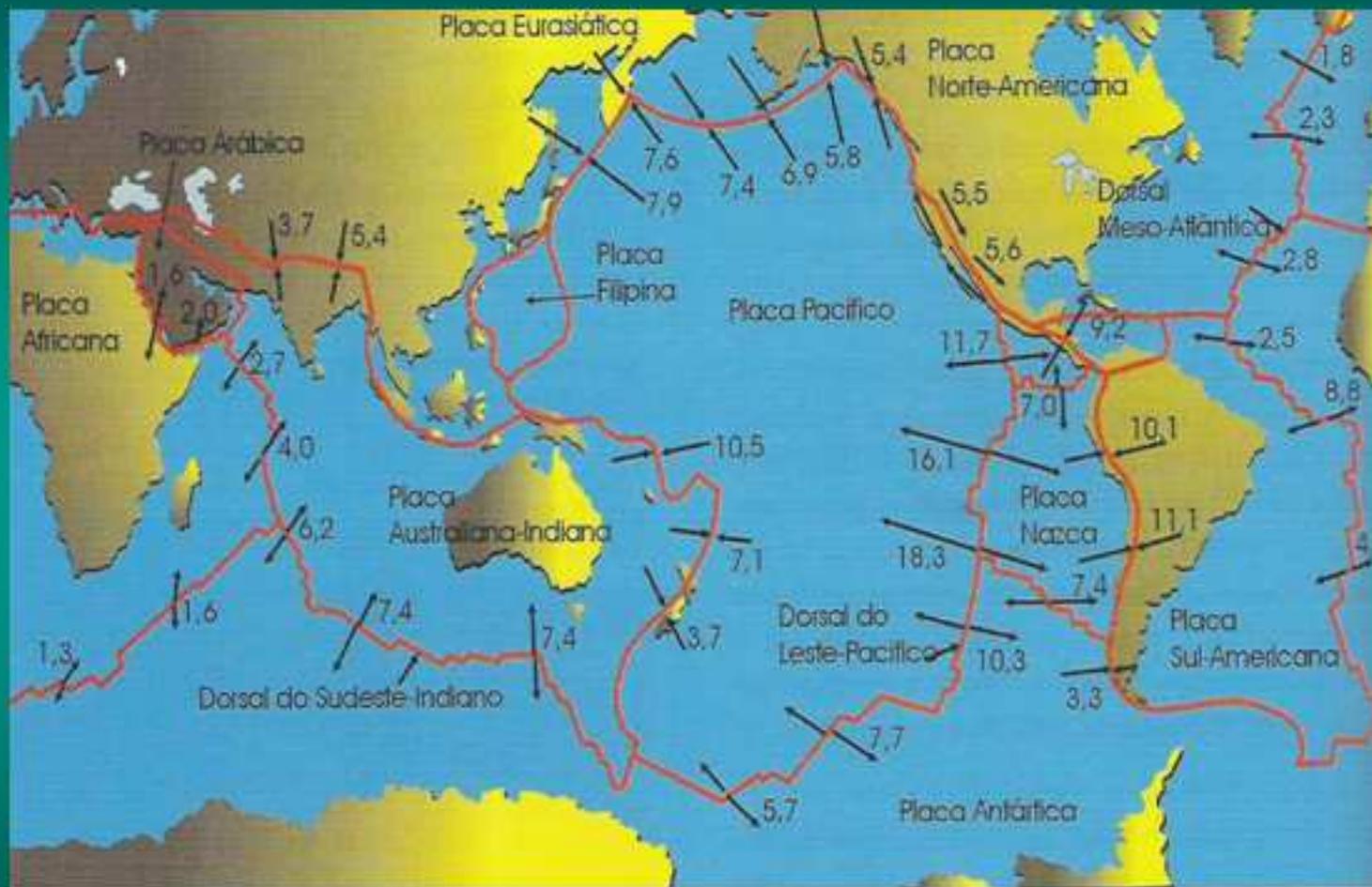


Origem das forças que movem as placas

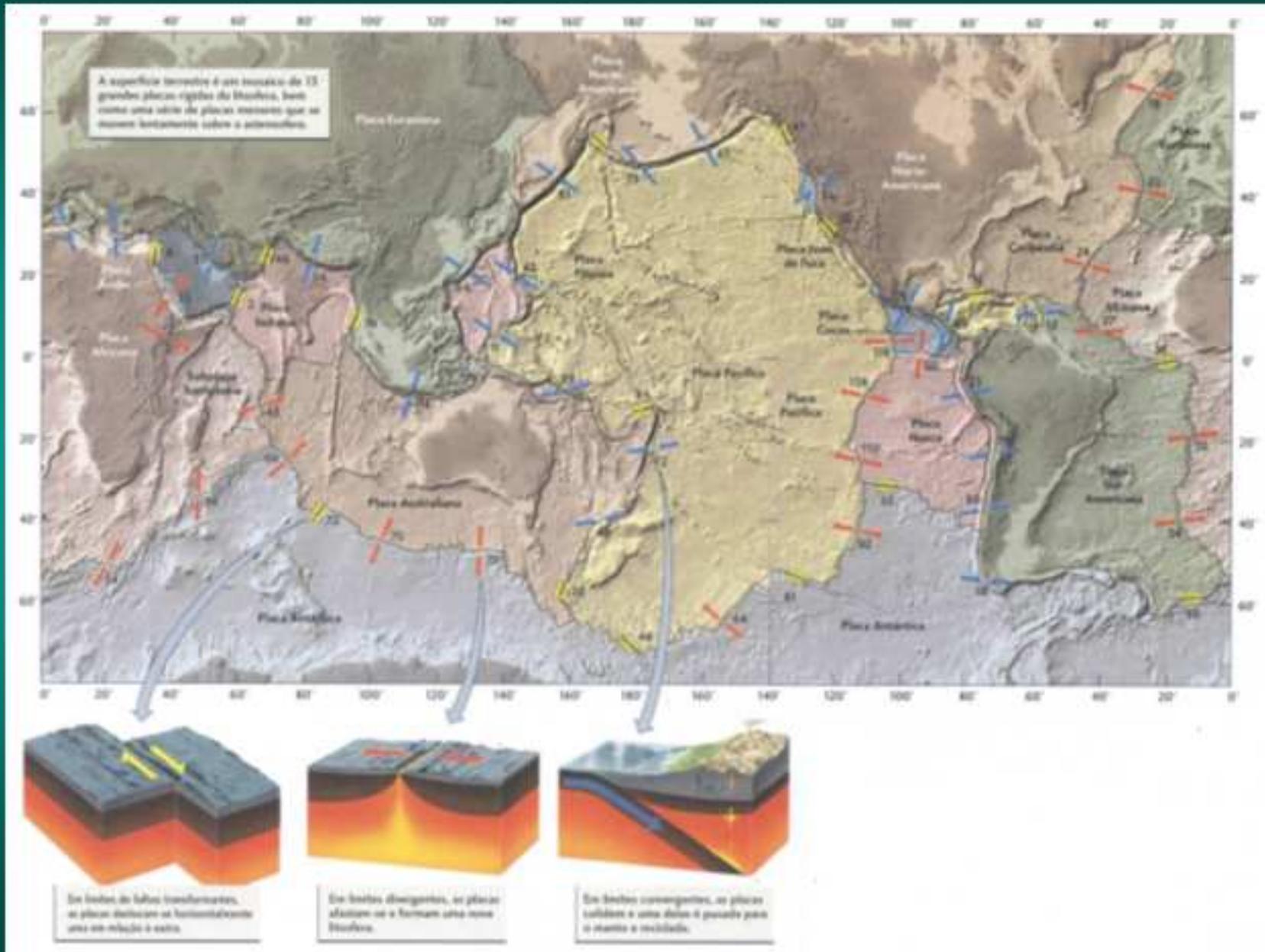




Movimento (relativo) das placas tectônicas

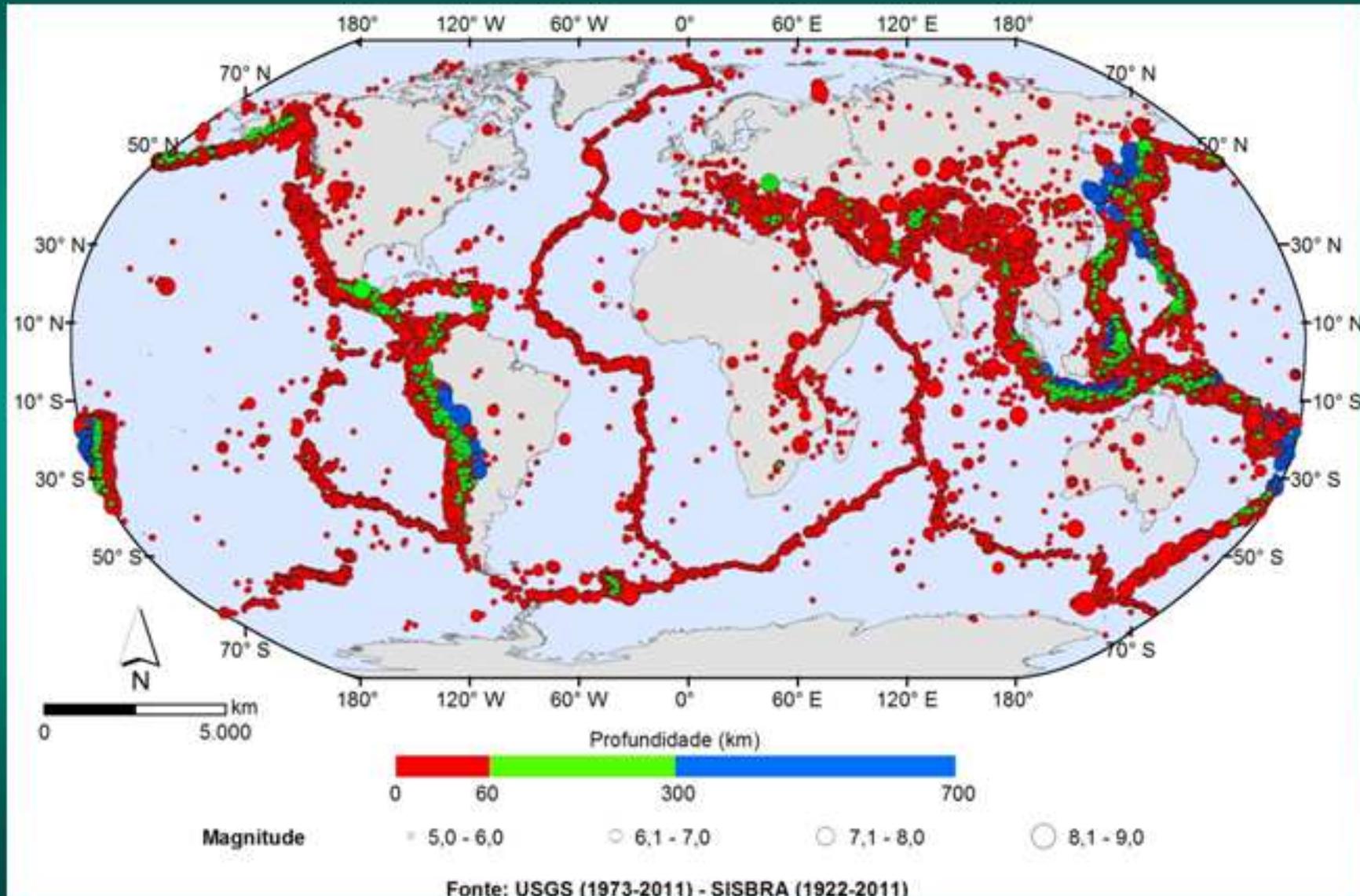


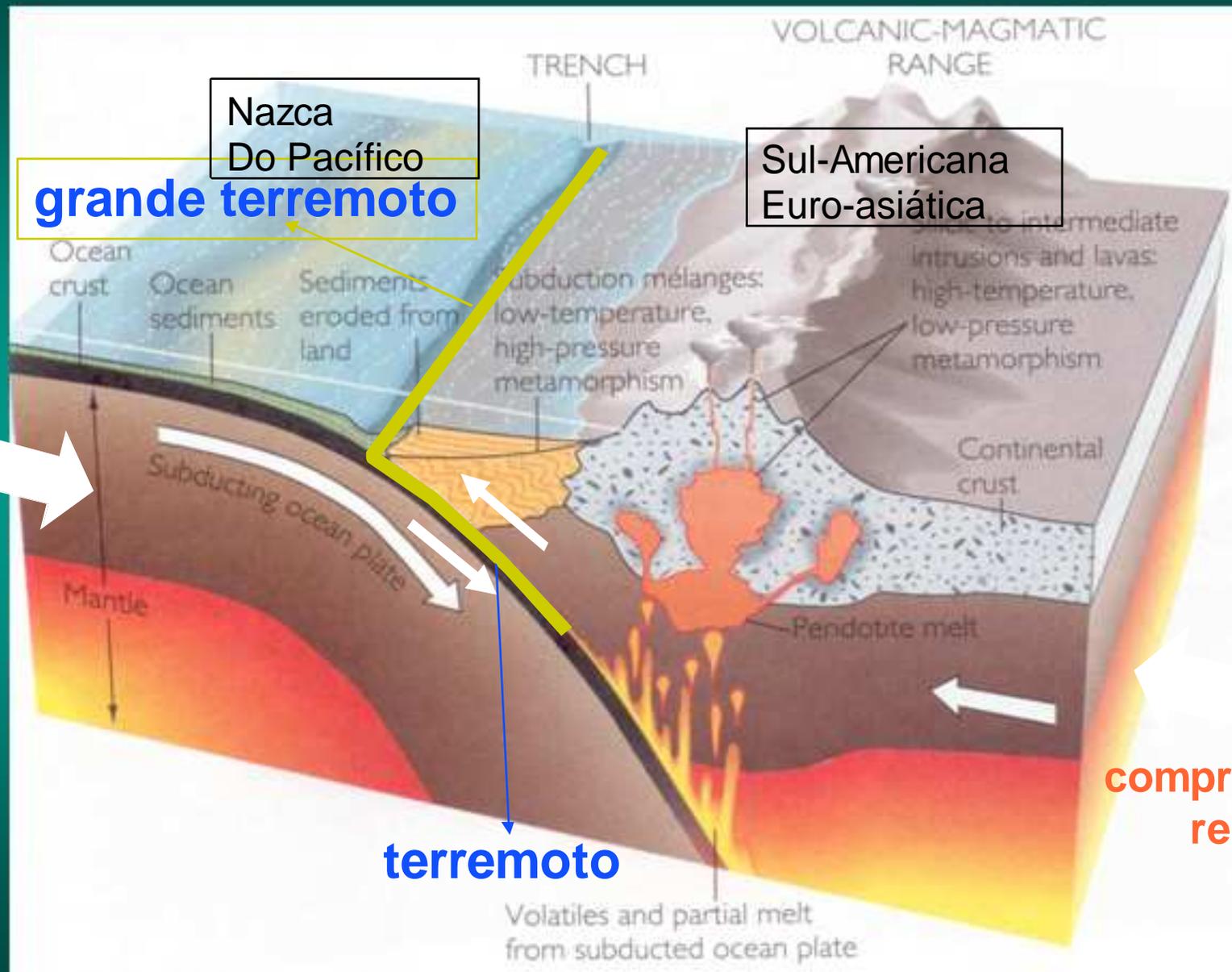
Os números representam as velocidades em cm/ano entre as placas e as setas indicam os sentidos do movimento. Por exemplo, a velocidade de 10,1 para a placa Sul-Americana indica que um ponto situado nesta placa está se aproximando de algum ponto da placa de Nazca a uma razão de 10,1 cm por ano.





Mapa da sismicidade global entre 1973 e 2011 (USGS). $M. \geq 5,0$ (brasileira 1922-2011)





Nazca
Do Pacífico
grande terremoto

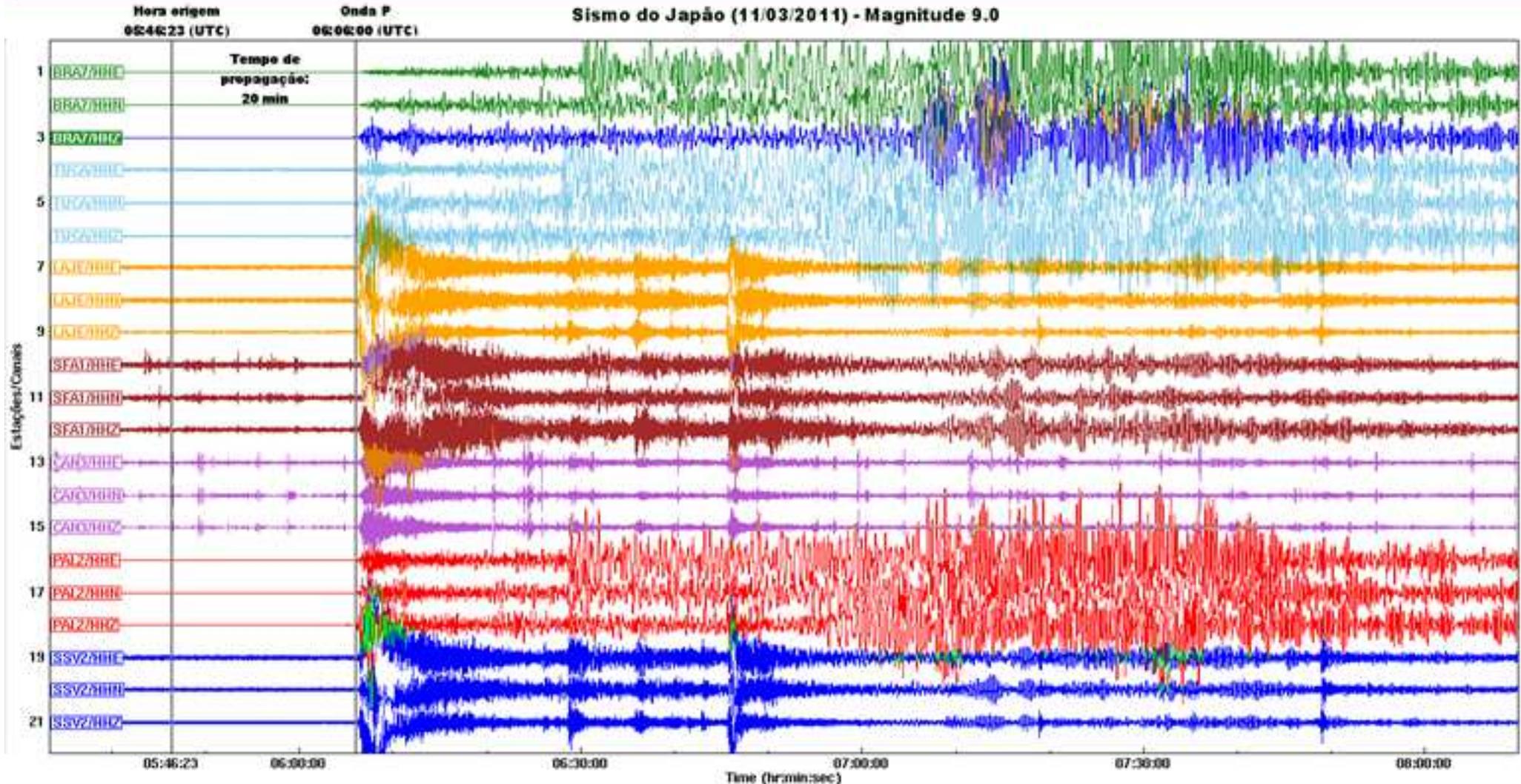
Sul-Americana
Euro-asiática

terremoto

compressão regional



Registro do terremoto do Japão, de 11/03/2011, M=9,0, cerca de 2 horas de registro



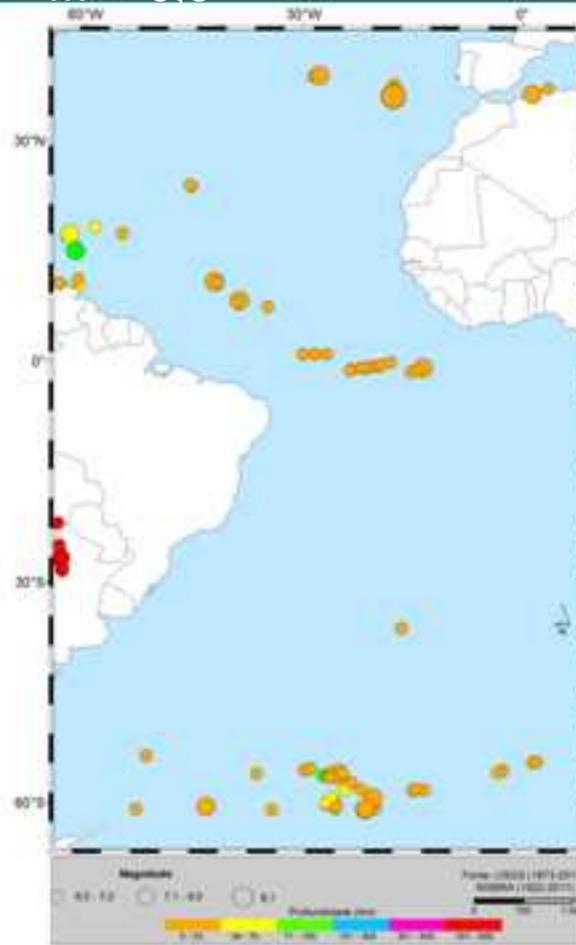


Terremotos na cordilheira meso-atlântica

M_≥5,5



M_≥6,5



M_≥7,5



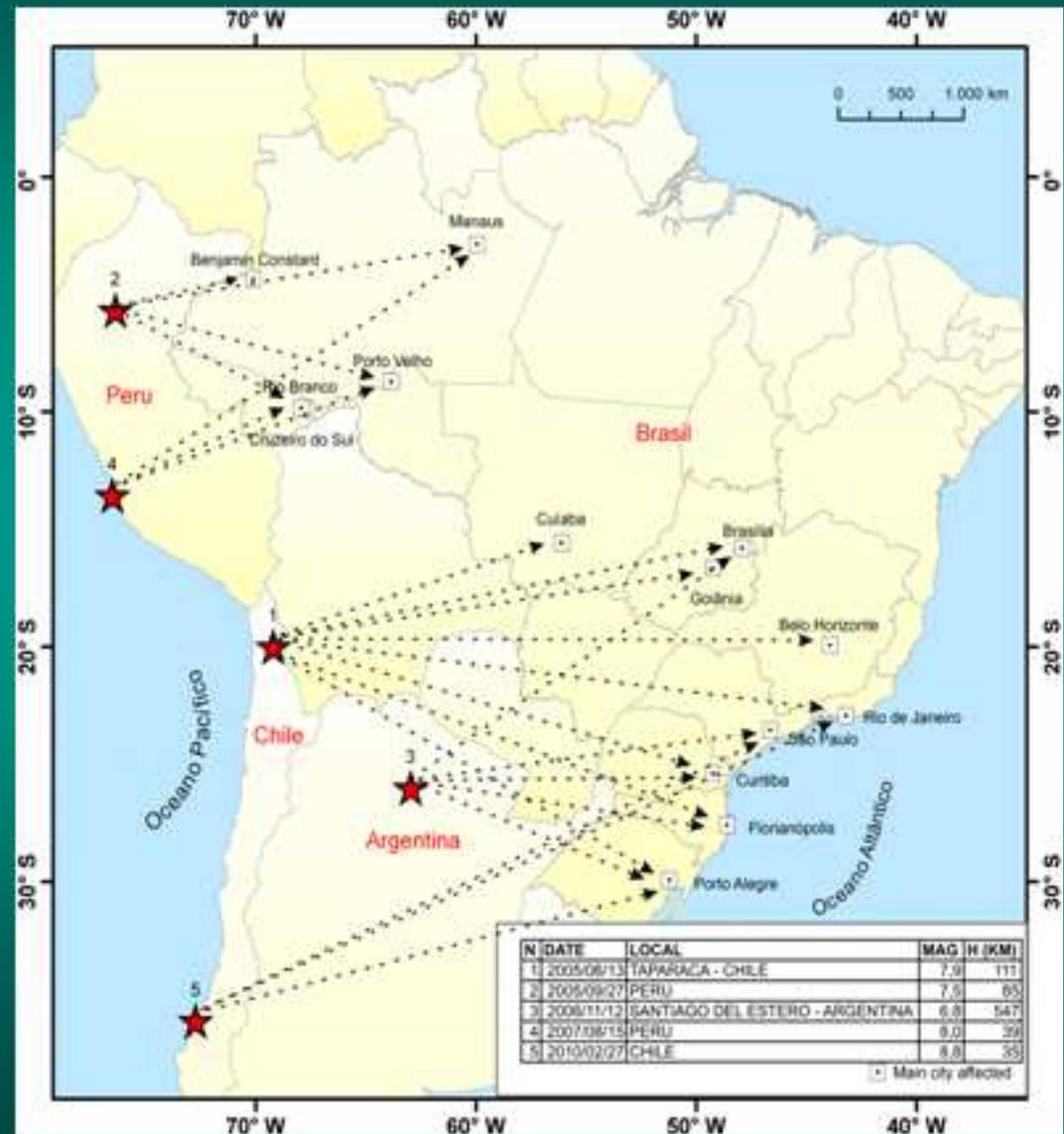


Sismos andinos sentidos no Brasil

No passado pensou-se que os sismos sentidos no Brasil eram reflexos de grandes terremotos na região dos Andes.

Hoje, com as redes sismográficas globais, esta dúvida não existe mais.

Exemplo de cinco grandes terremotos andinos sentidos em diferentes pontos do país.





Terremotos do Peru e do Chile

Distâncias

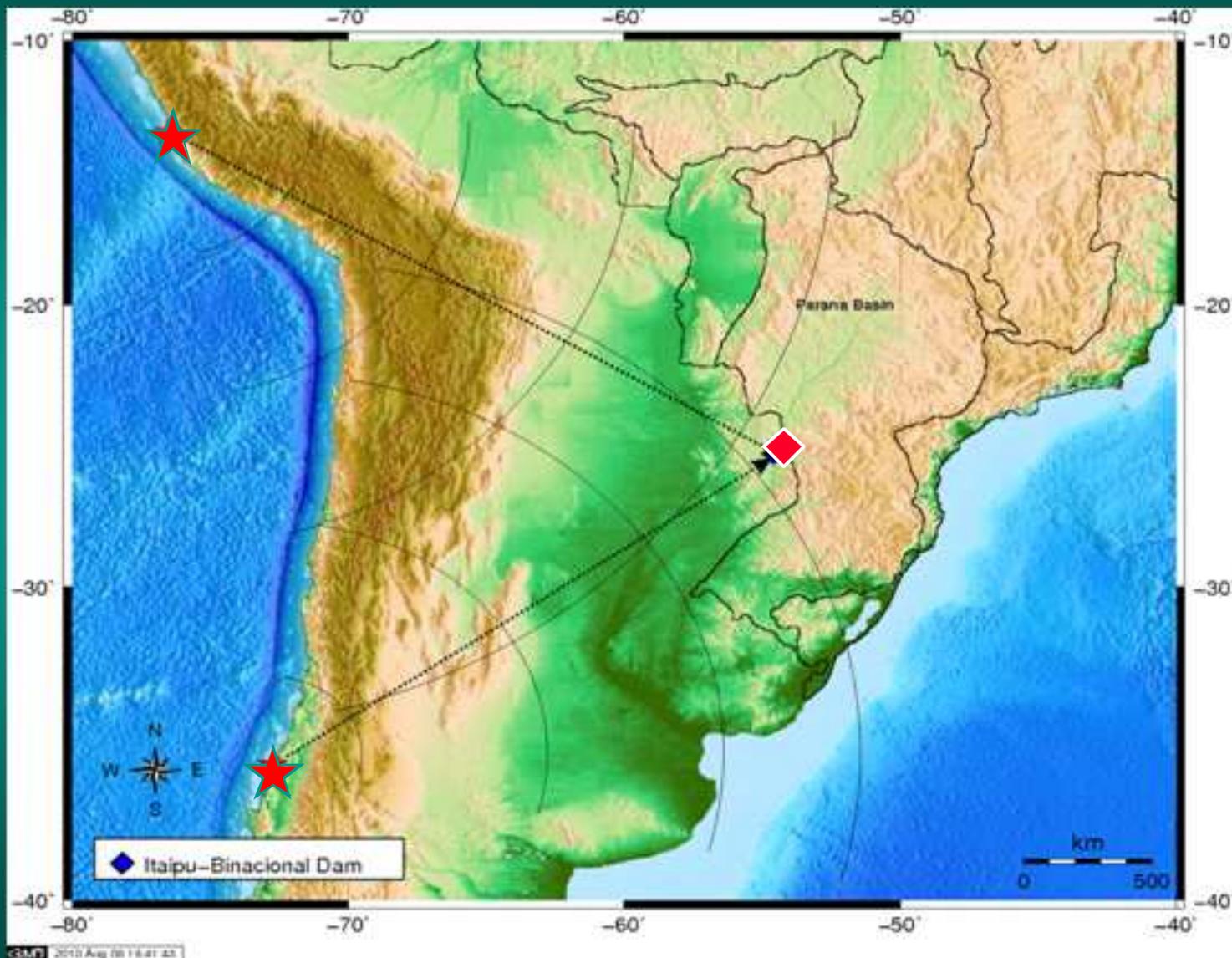
- Peru = 2,630 km
- Chile = 2,130 km

Magnitudes

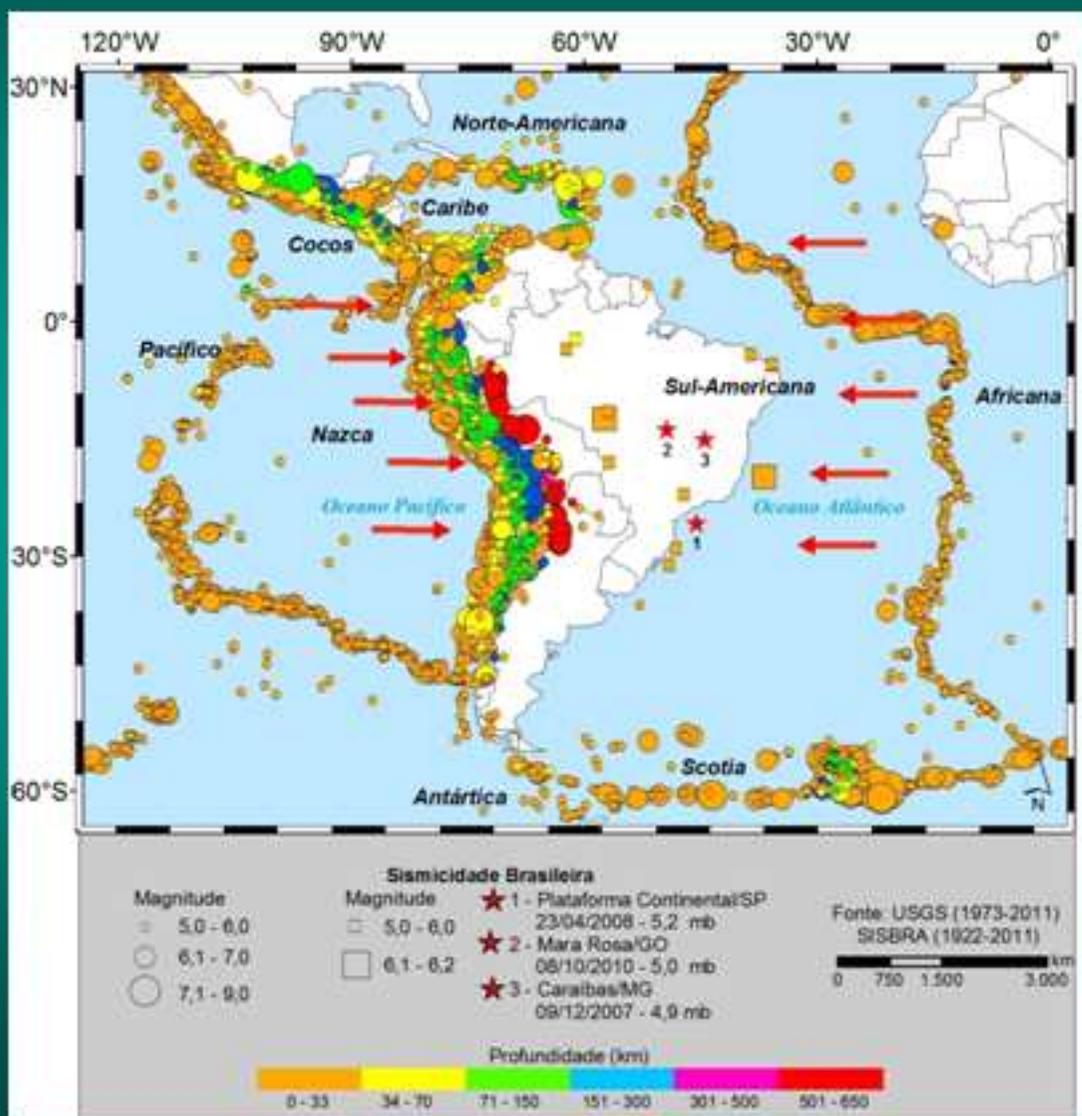
- Pisco = 8.0 Mw
- Chile = 8.8 Mw

Tempo de origem

- Pisco-Peru
15/08/2007 20h41m
(local)
- Chile
27/02/2010 03h34m
(local)



Sismicidade de Brasil em relação a áreas vizinhas



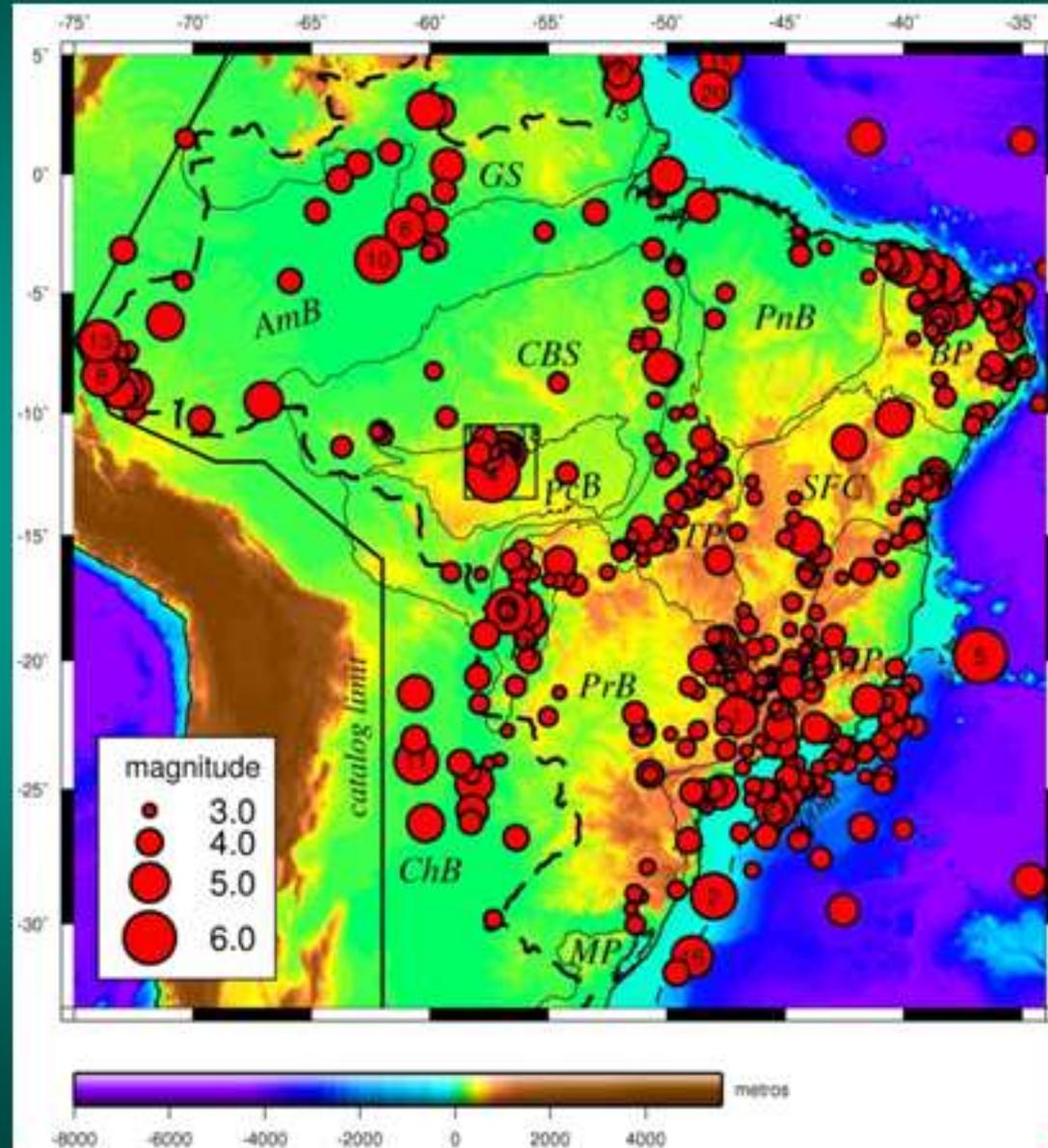
Por que ocorrem sismos no Brasil, se está localizado no interior de uma placa tectonicamente estável?

A placa Sul-Americana está sujeita às seguintes forças (dentre outras):

1. Empurrão da cadeia;
2. Colisão com as placas de Nazca e do Caribe;
3. Raspão com a placa da Scotia;
4. Forças topográficas, etc.

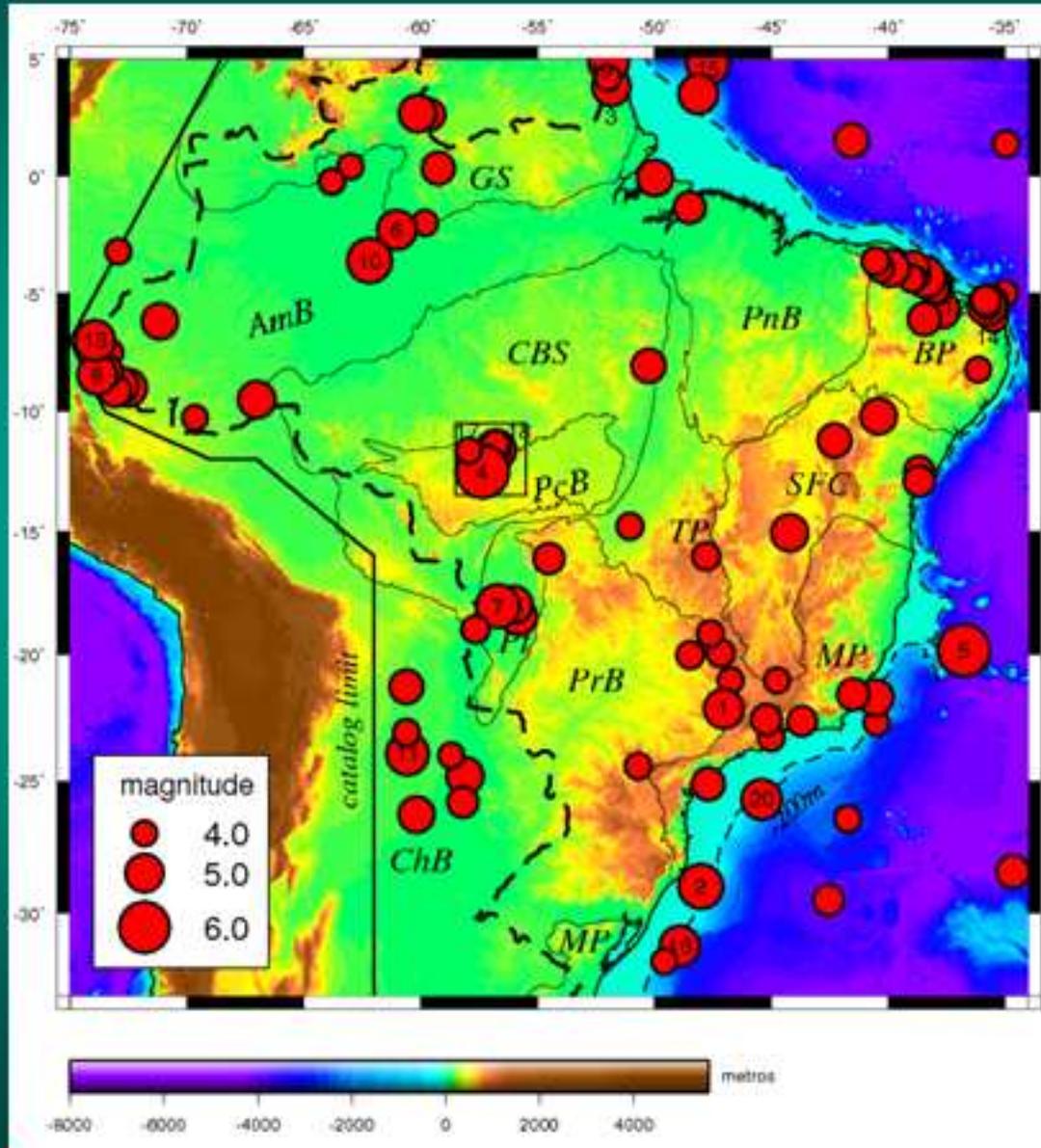


Mapa da Sismicidade Brasileira no período 1767- 2011. $M \geq 3,0$



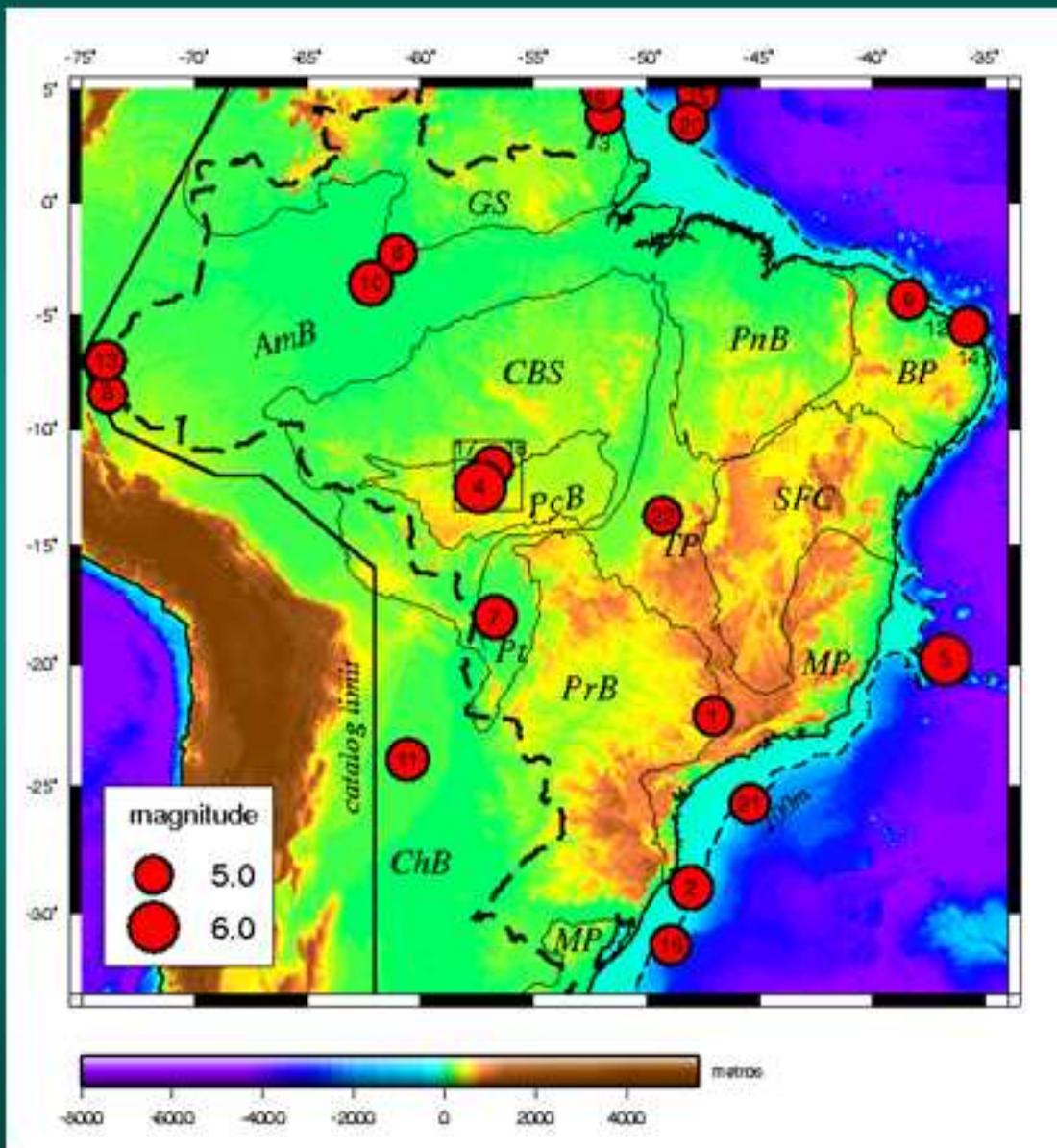


Mapa da Sismicidade Brasileira no período 1808- 2011. $M \geq 4,0$

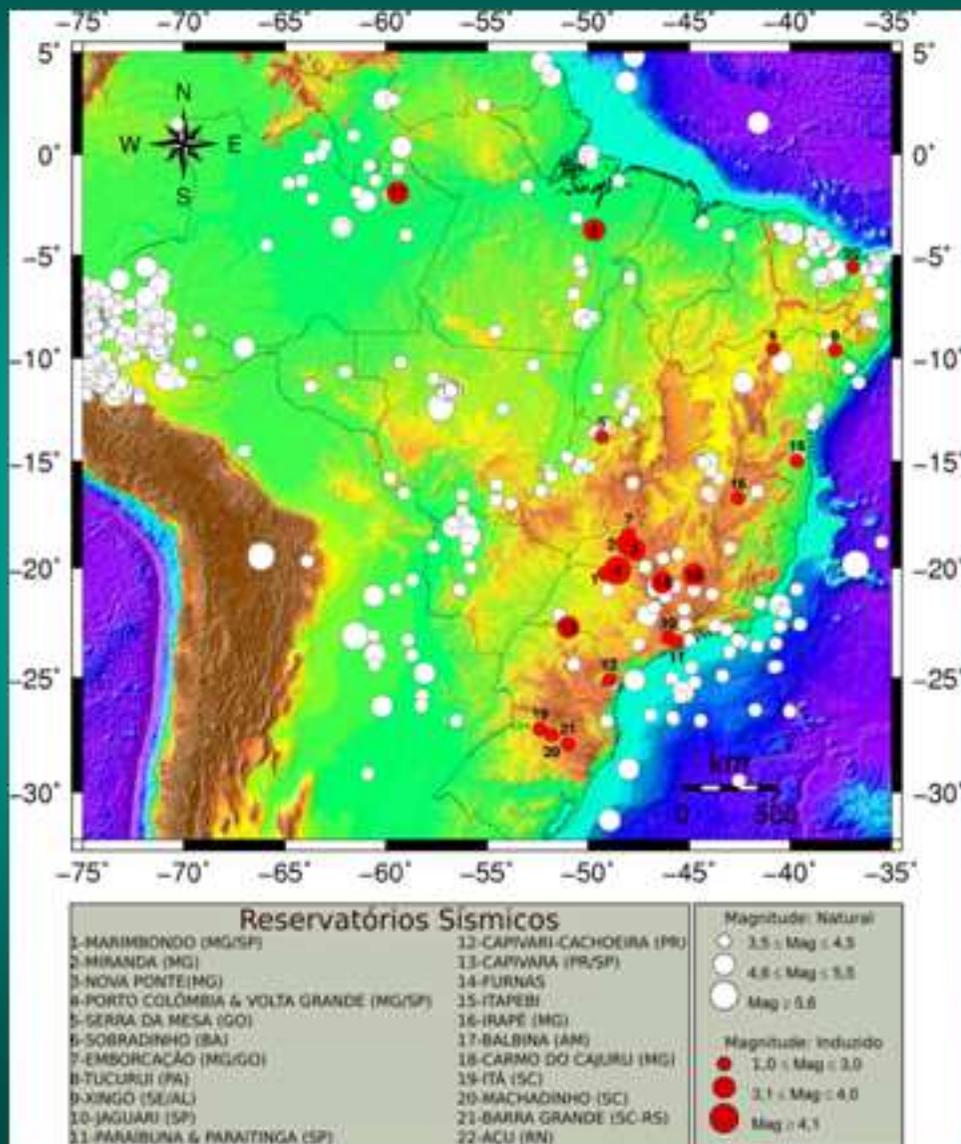




Mapa da Sismicidade Brasileira no período 1922- 2011. $M \geq 5,0$



Sismicidade Induzida por Reservatórios (SIR)



A SIR no Brasil

- 22 casos comprovados e 3 duvidosos:
2 casos na região Norte, 3 na região Nordeste;
1 na região Centro-oeste; 8 na região Sudeste e 5 na região Sul.
- 17 sismos com mag. ≥ 3 e 2 com mag. ≥ 4

Máximas intensidades observadas:

- VI-VII: Porto Colômbia/Volta Grande
- VI: Nova Ponte, Miranda, Jaguari
- V-VI: Capivara e Tucuruí

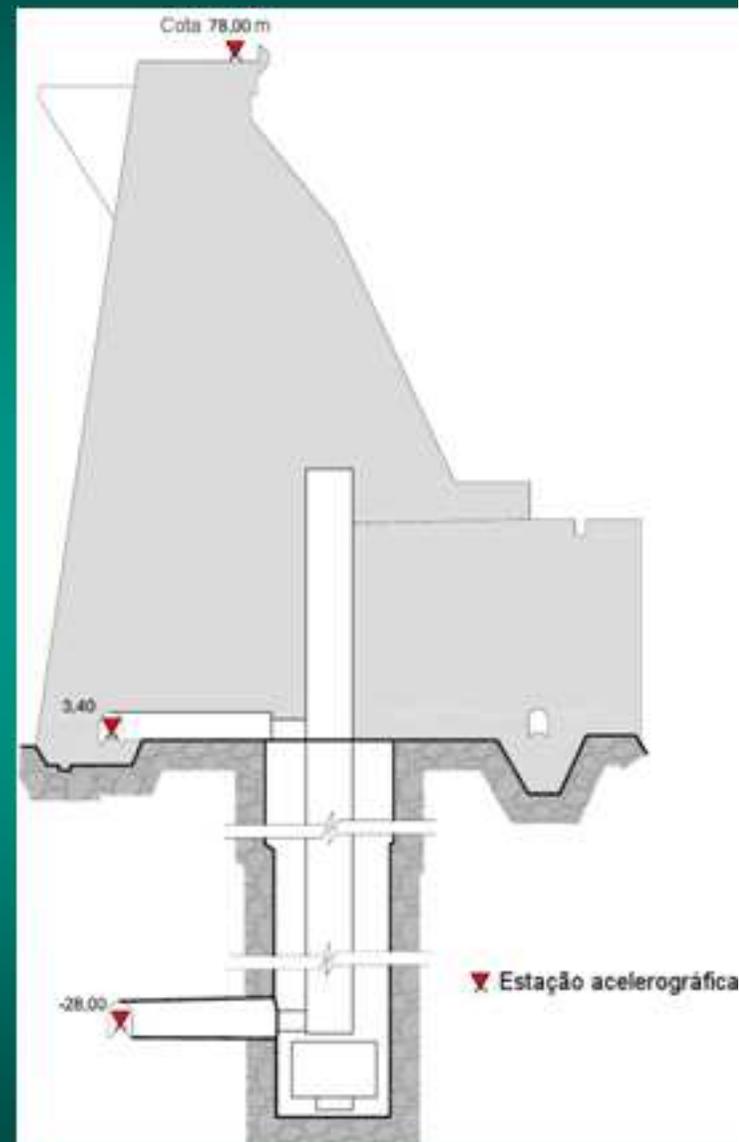
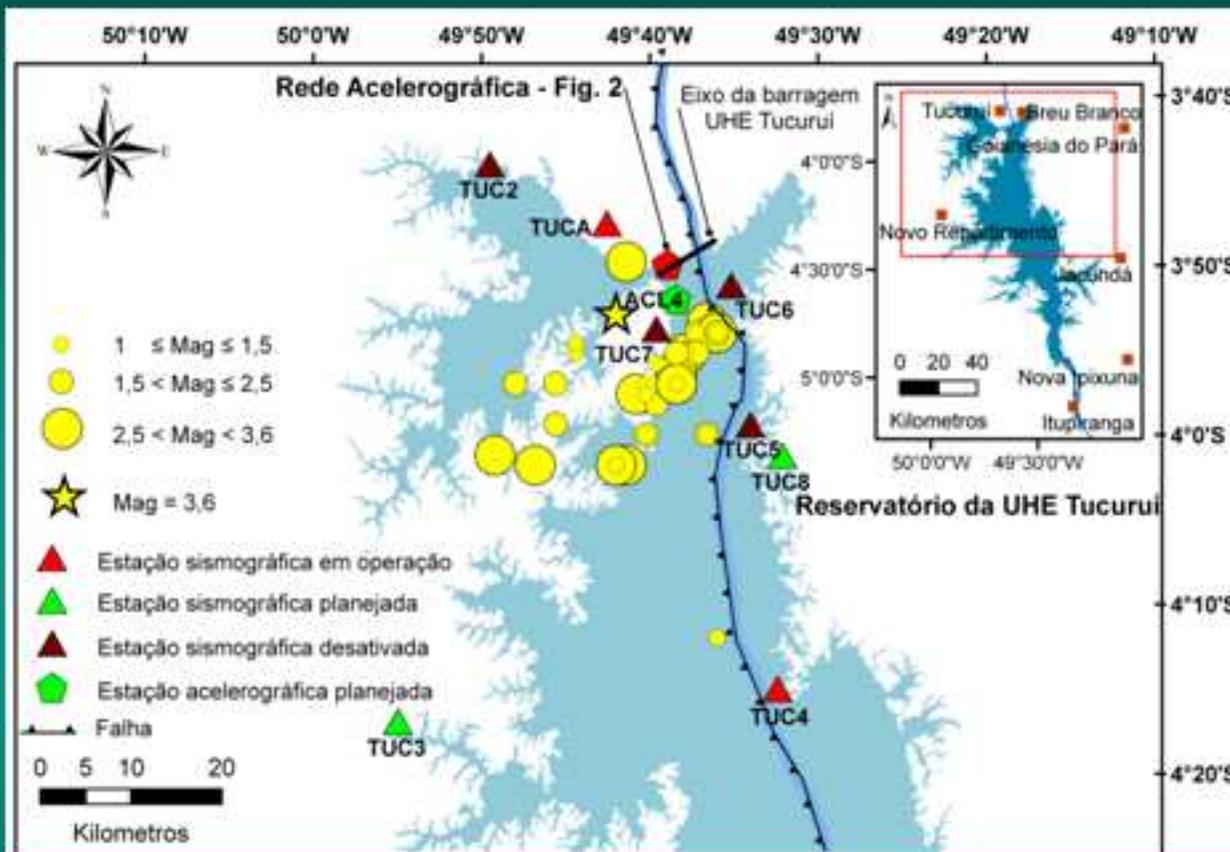
Classificação da SIR

Resposta inicial: 13 casos (81,3%)

Resposta atrasada: 3 casos (18,7%)



Reservatório de Tucuruí: Sismicidade e monitoramento sísmico



Sismicidade brasileira recente : últimos dois anos

Informes sísmicos:

2008: 24 informes

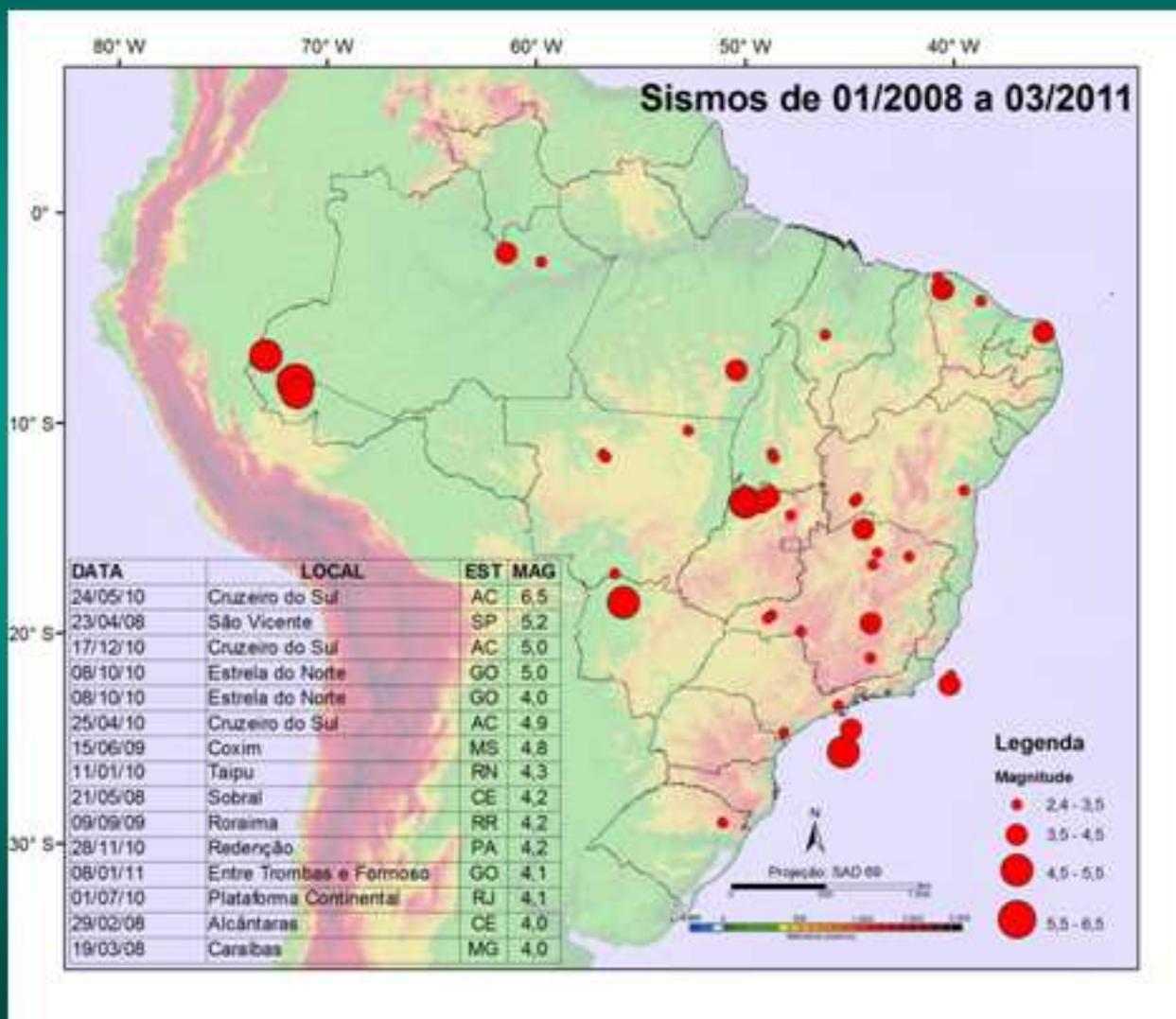
2009: 58 informes

2010: 33 informes

2011: 07 informes

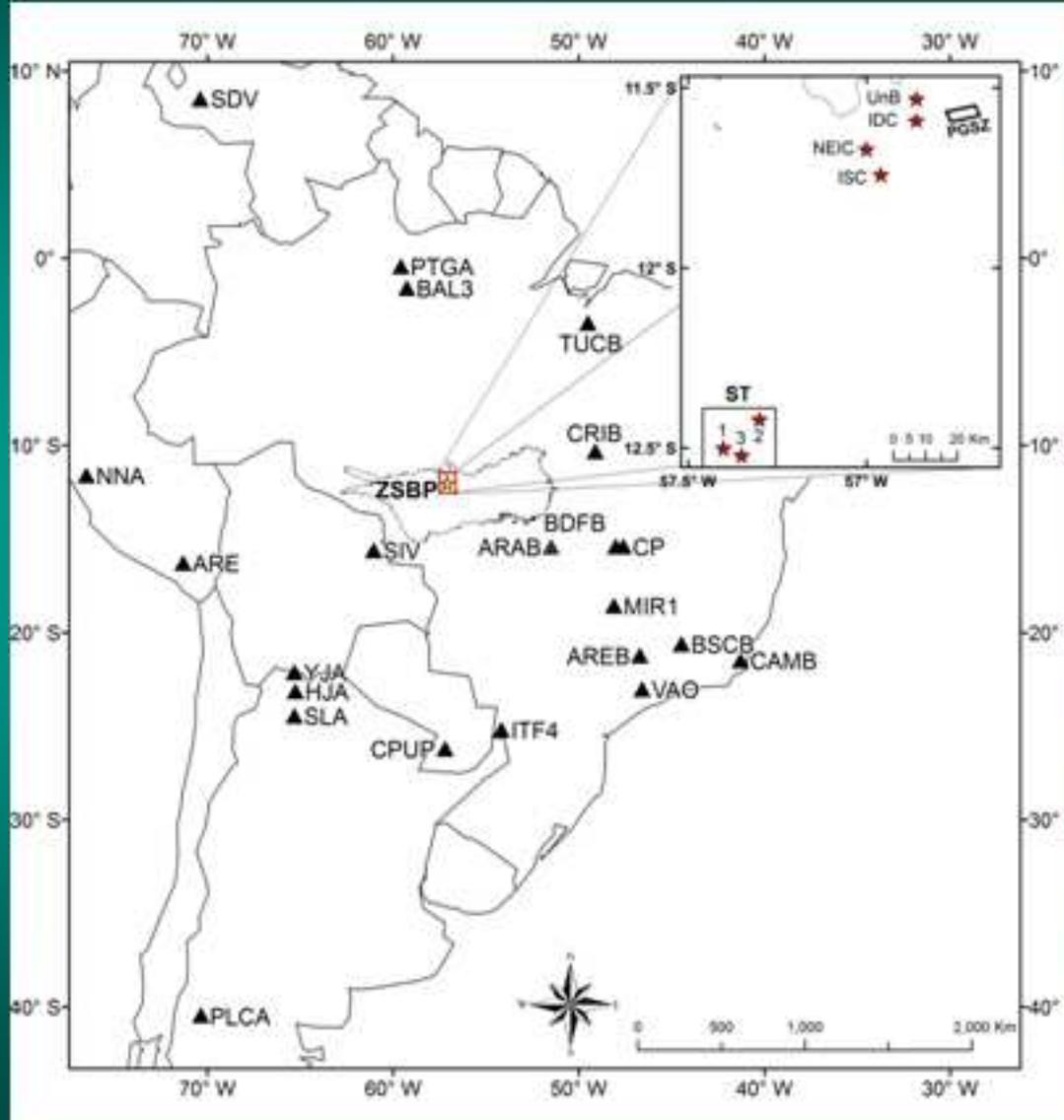
Observação:

Os sismos aconteceram, na sua grande maioria, nas mesmas estruturas sismogênicas dos mapas das figuras anteriores.





Sismicidade recente: o caso de Porto dos Gaúchos/MT.



Mapa macrossísmico do terremoto de 31/01/1955 (6.2 mb).



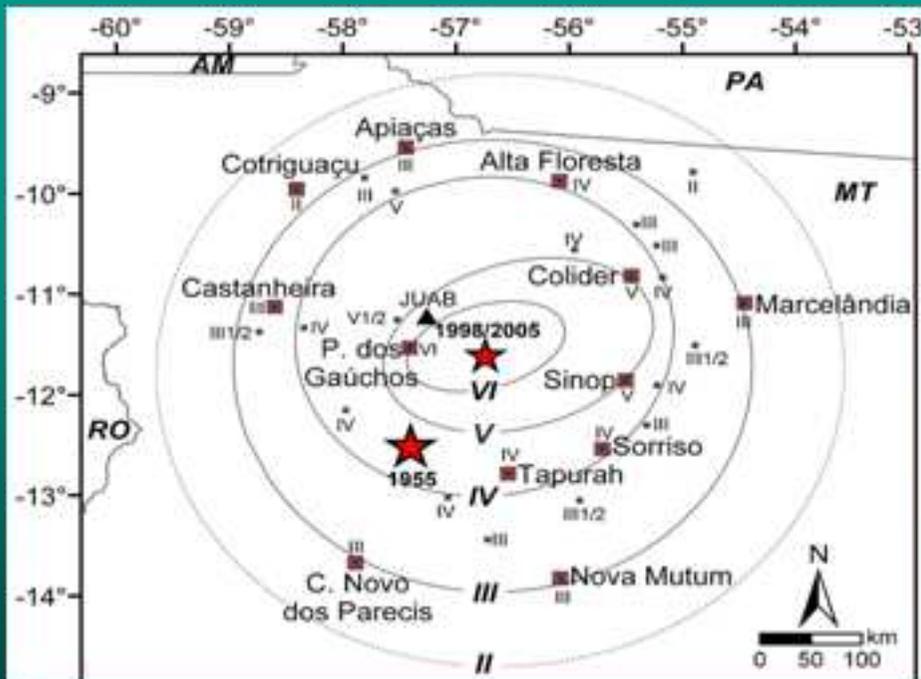


Sismicidade recente: o caso de Porto dos Gaúchos.

Escala Mercalli Modificada (MM)

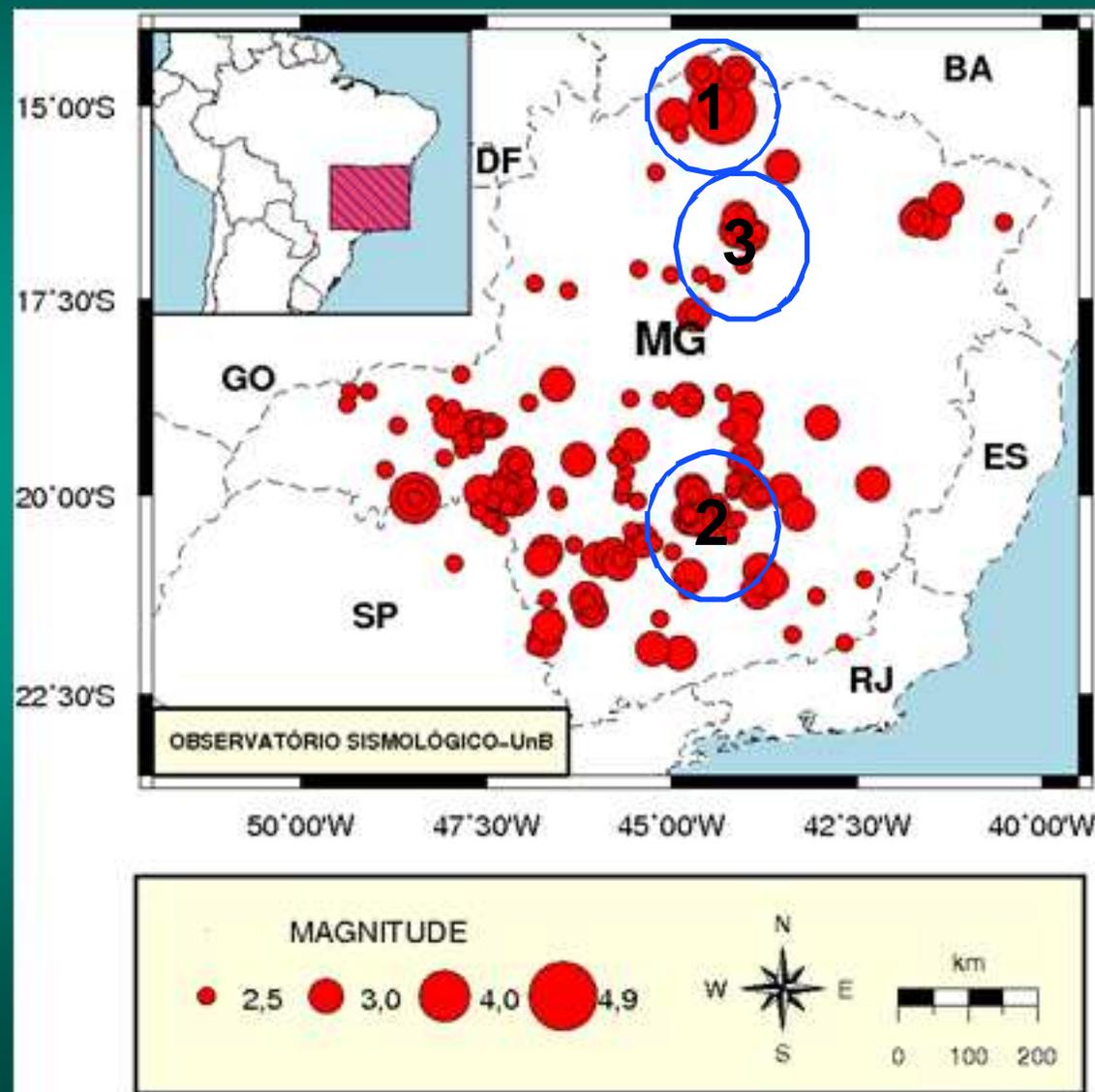
- IV *Vibração como a causada pela passagem de caminhões pesados. Chacoalhar de janelas e louças. Carros parados são balançados*
- V *Sentido fora de casa. Acorda gente. Objetos pequenos tombados. Quadros são movidos*
- VI *Sentido por todos. Deslocamento de mobília. Danos: louça e vidraria quebradas, queda de mercadorias. Rachadura no reboco*
- VII *Percebido por motoristas dirigindo. Dificuldade em manter-se em pé. Sinos tocam (igrejas, capelas, etc.). Danos: quebra de chaminés e ornamentos arquitetônicos, queda de reboco, quebra de mobília, rachaduras consideráveis em reboco e alvenaria, algumas casas de adobe tombadas/desabadas*
- VIII *Pessoas dirigindo automóveis são perturbadas. Galhos e troncos quebrados. Rachaduras em solo molhado. Destruição: torres d água elevadas, monumentos, casas de adobes. Danos severos a moderados: estruturas de tijolo, casas de madeira (quando não estão firmes com fundação), obras de irrigação, diques*
- IX *Solo conspicuamente rachado (“crateras de areia”). Desabamentos. Destruição: alvenaria de tijolo não armado. Danos severos a moderados: estruturas inadequadas de concreto armado, tubulações subterrâneas.*

Mapa macrossísmico do terremoto de 10/03/1998 (5.2 mb)



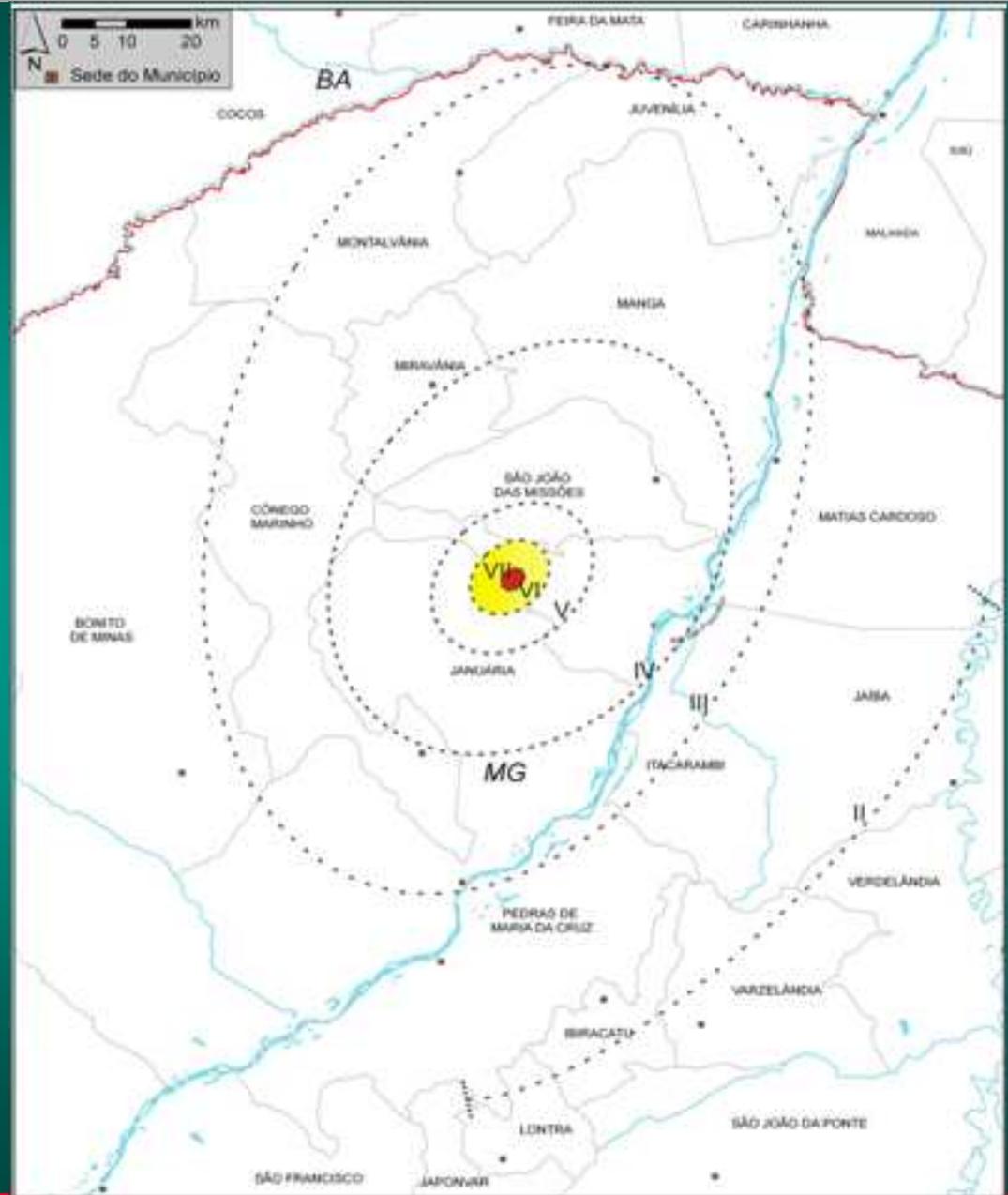
Sismicidade recente em Minas Gerais

1. Caraíbas/Itacarambi;
2. Grande Belo Horizonte;
3. Montes Claros.



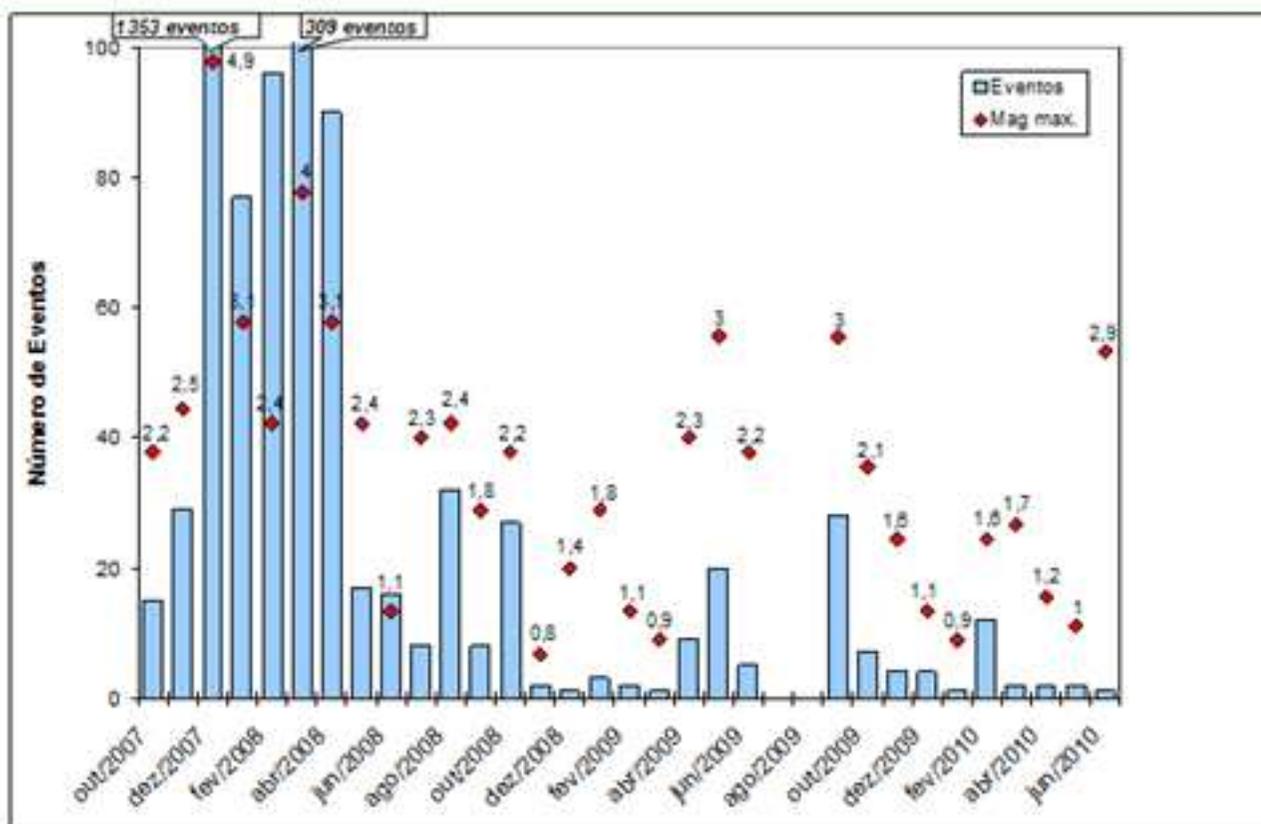


Mapa macrossísmico da área afetada pelo terremoto de Caraíbas-Itacarambi/MG, de 09/12/2007.

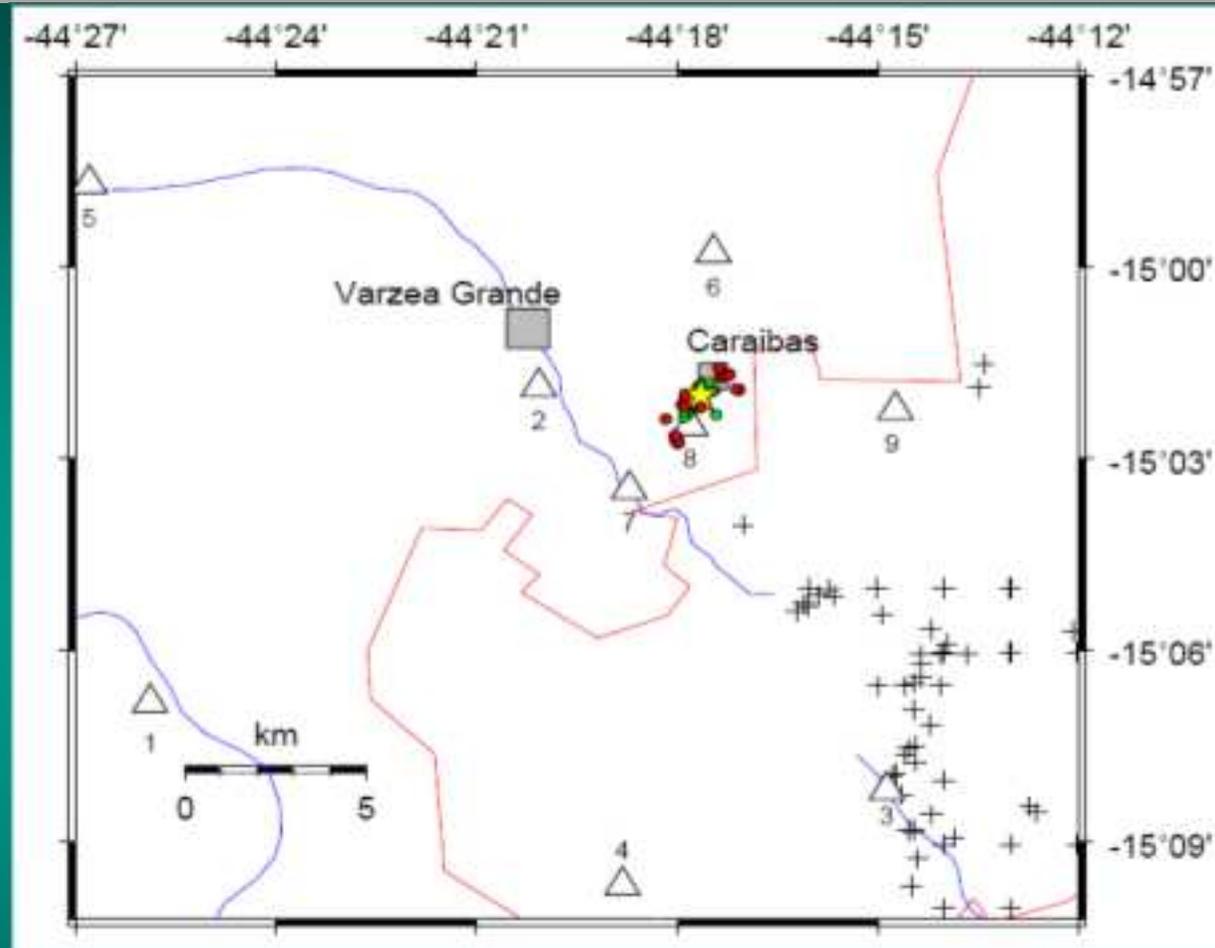




Sismicidade recente: o caso de Caraíbas – Itacarambi.



Histograma da atividade sísmica em Caraíbas-Itacarambi/MG detectada no período de 23 de Outubro de 2007 a 01 de Junho de 2010. ⁴



Mapa com a localização dos epicentros (círculos) de 45 eventos detectados pela rede local que ocorreram antes (vermelho) e após (verde) o evento principal (estrela amarela). Triângulos são estações sismográficas. As cruces indicam as cavernas (CECAV, 2007).







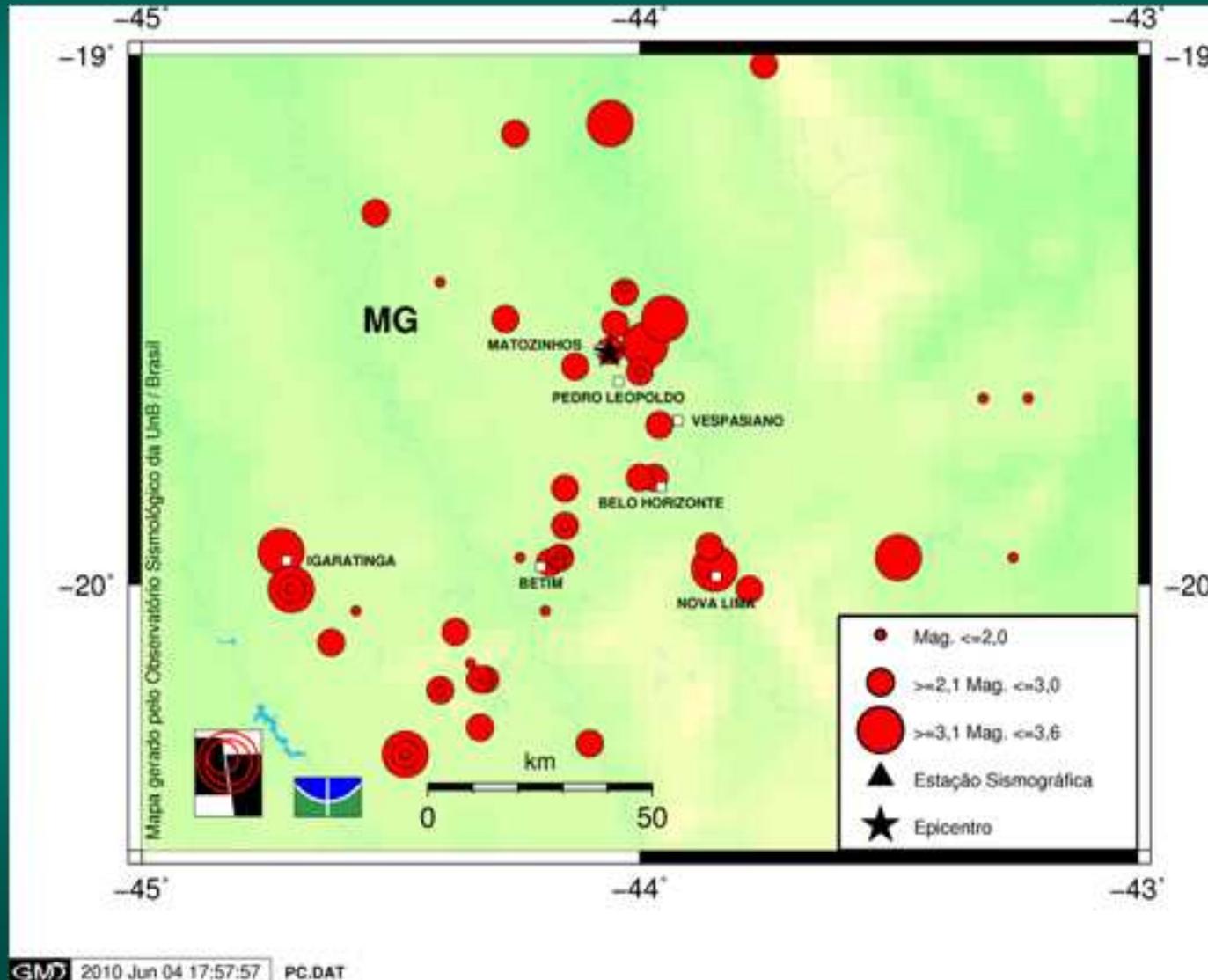






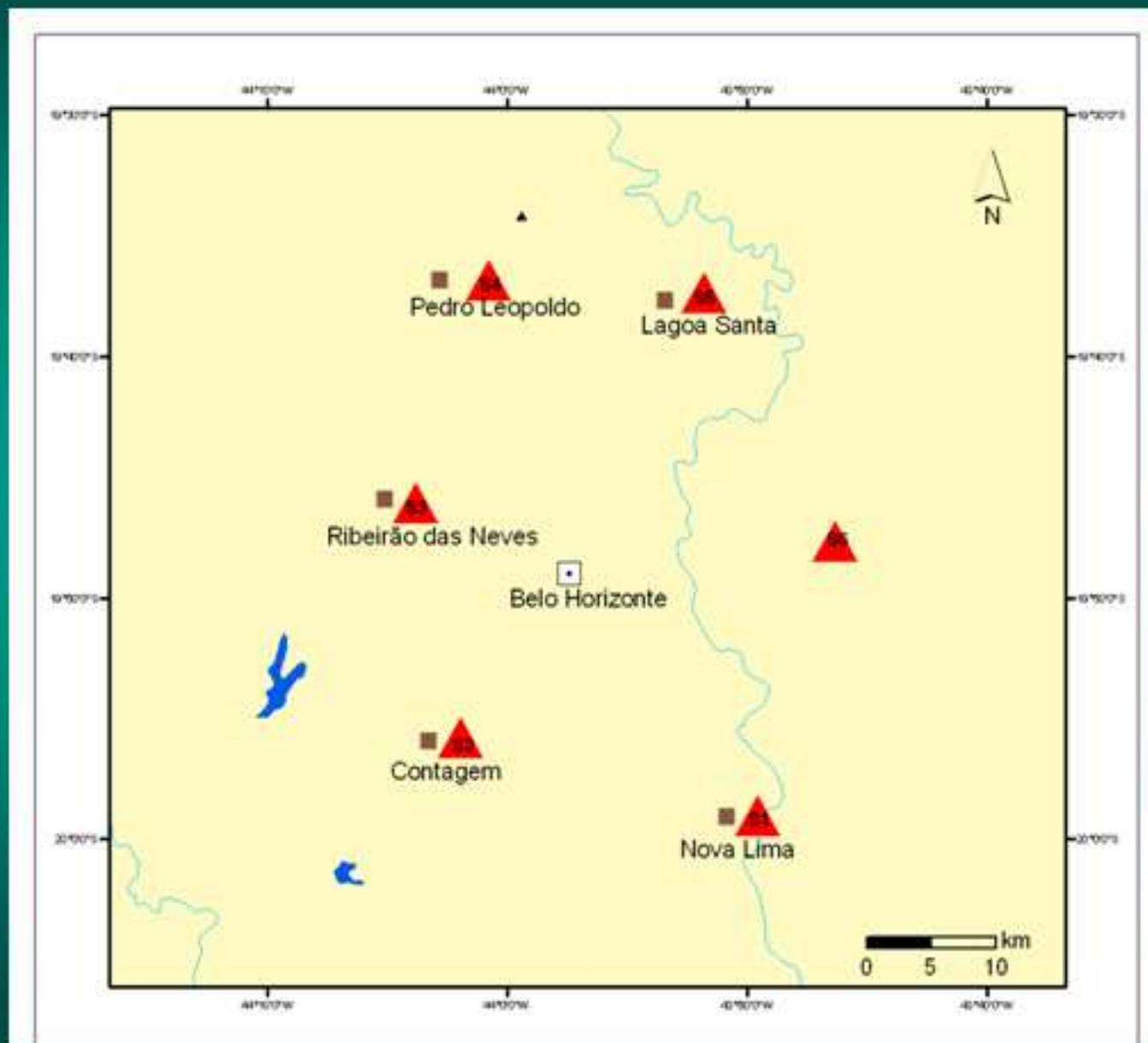


Sismicidade na área da Grande Belo Horizonte.



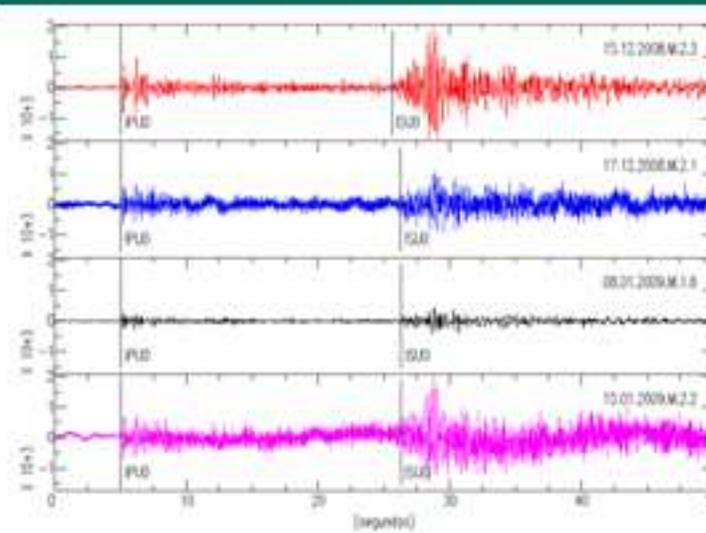
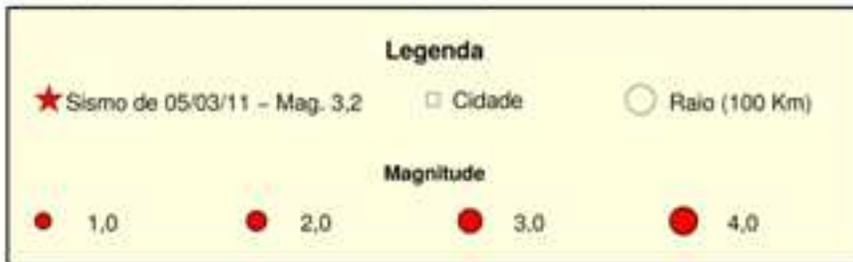
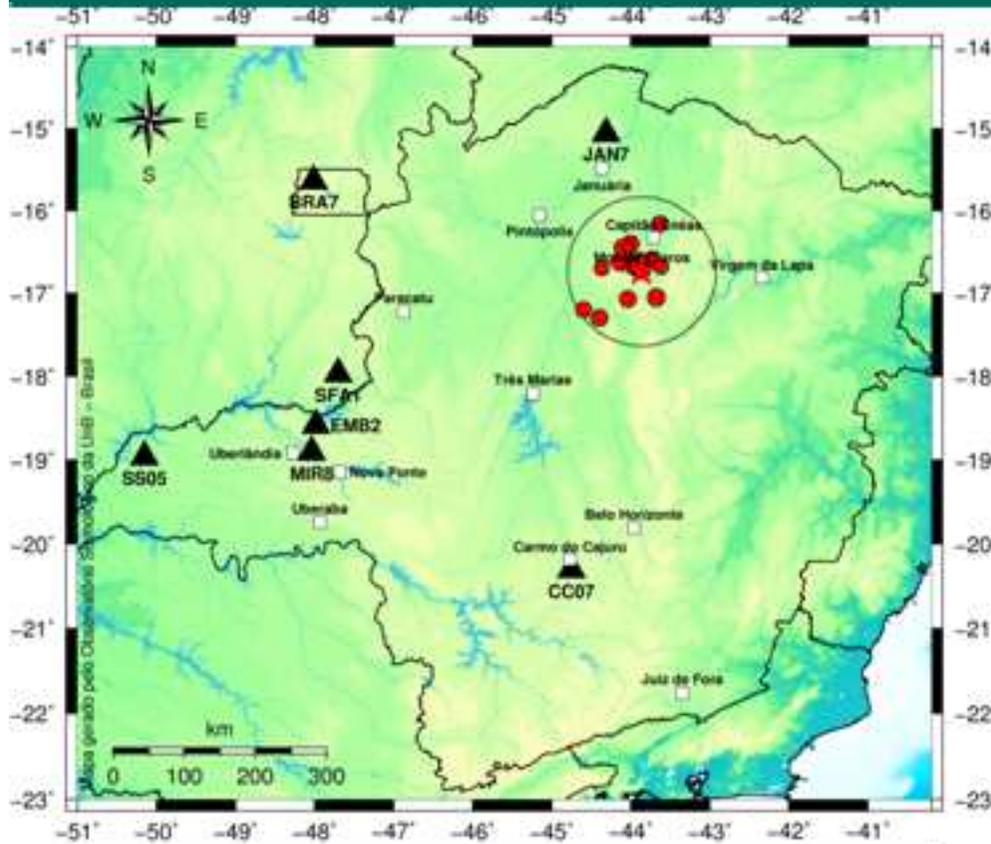


Rede sismográfica proposta para monitorar a sismicidade da Figura anterior.

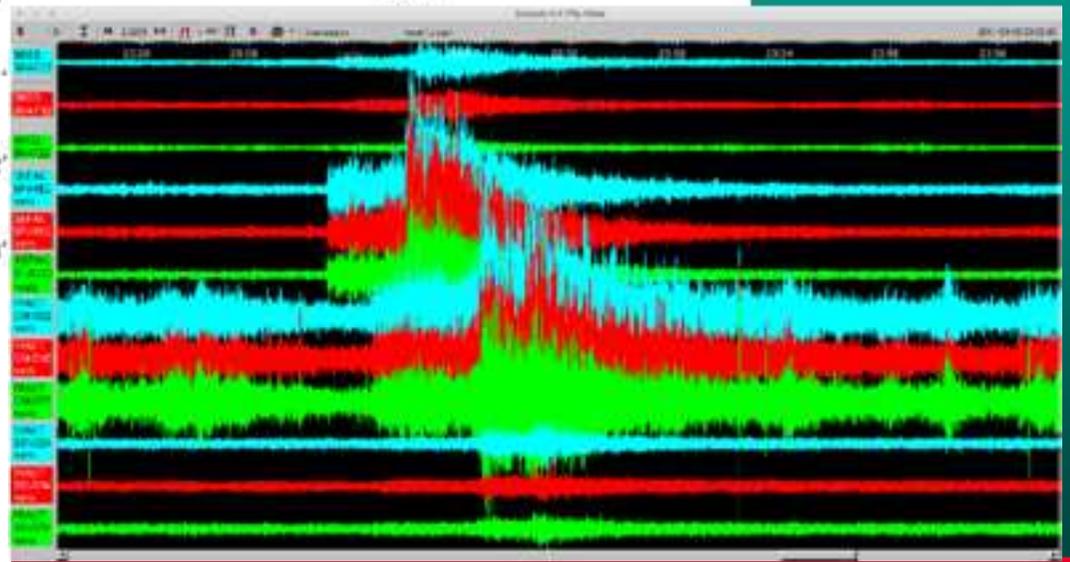




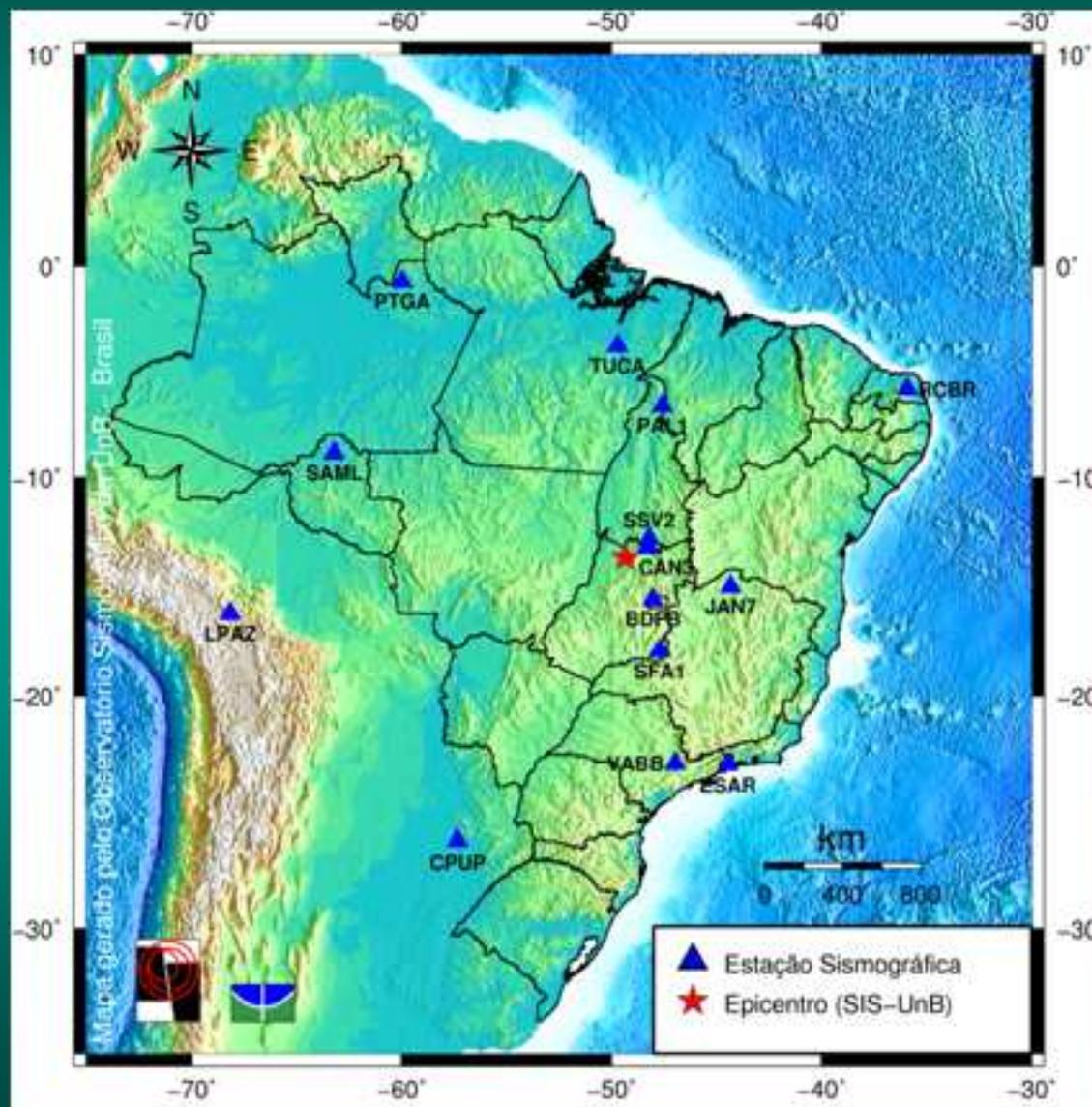
Sismicidade de Montes Claros e localização das estações da CEMIG em MG



- 1978: sismo histórico
- 1995. M = 3,7.
- 1997, M = 3,5
- 15/12/08, M = 2,3
- 17/12/08, M = 2,1
- 08/01/09, M = 1,8
- 15/01/09, M = 2,2
- 05/03/11, M = 3,2

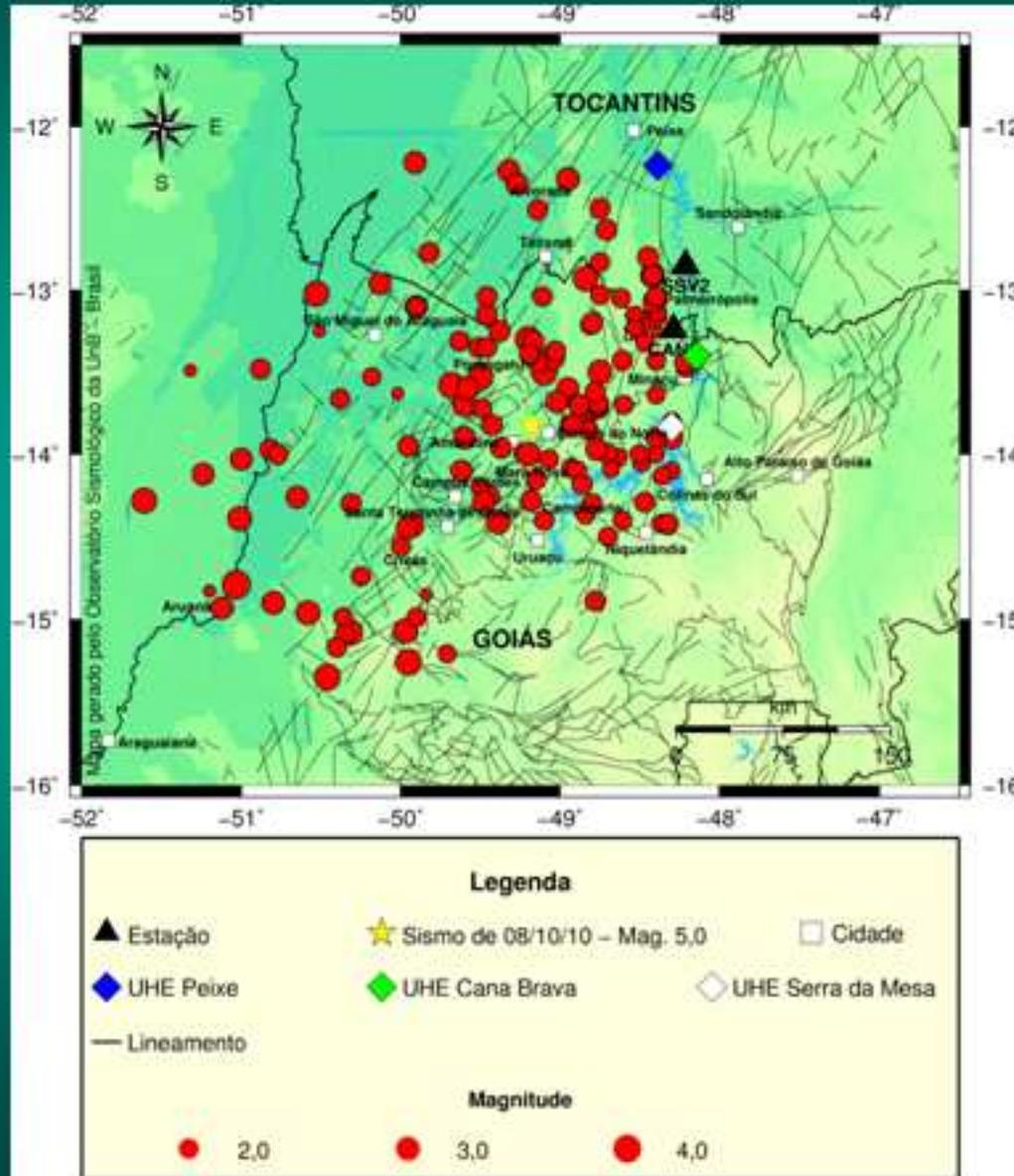


Sismicidade recente: o caso de Mara Rosa/GO, 08/10/10, $M=5,0$ às 17:17 h (local).



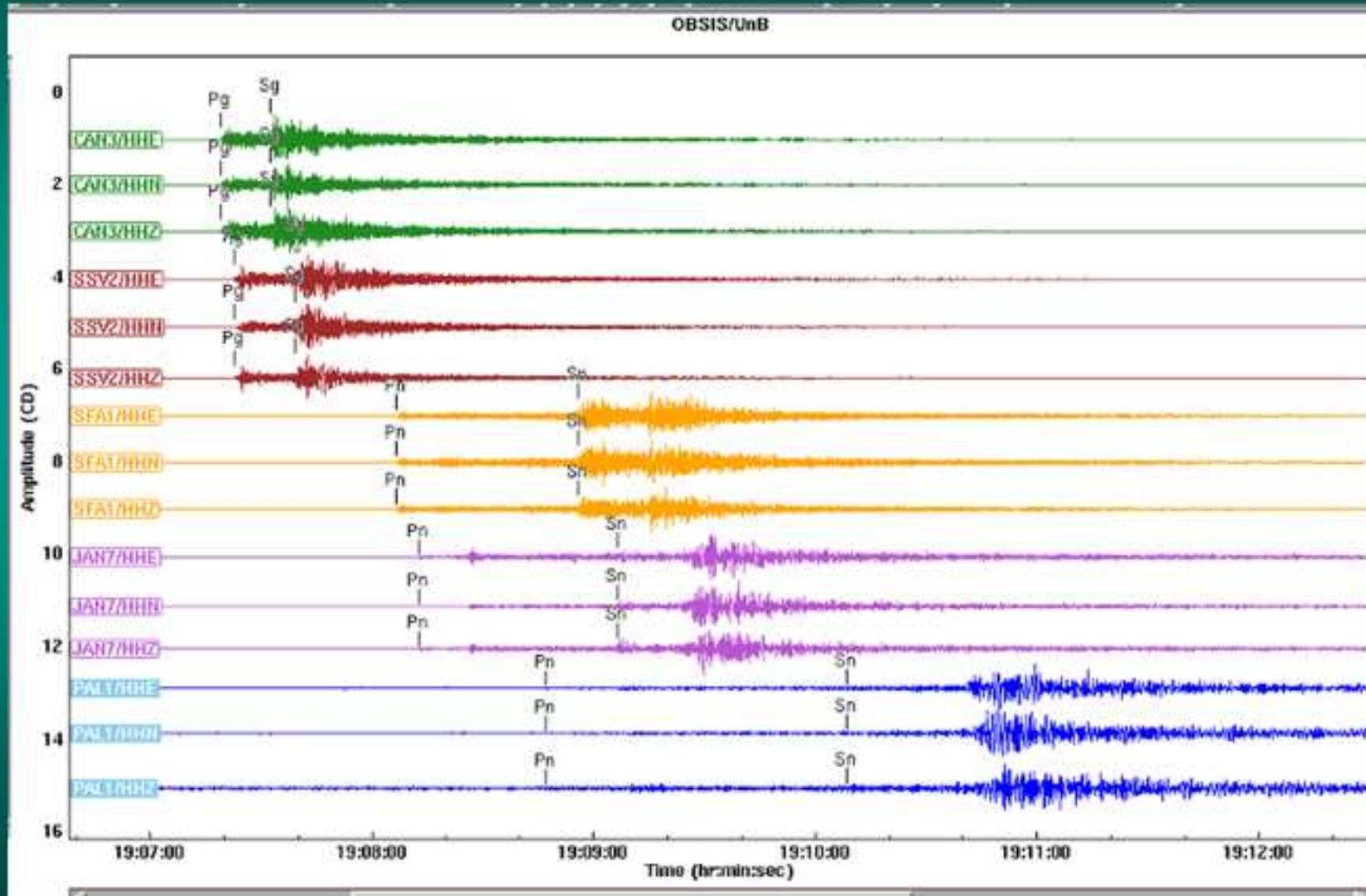


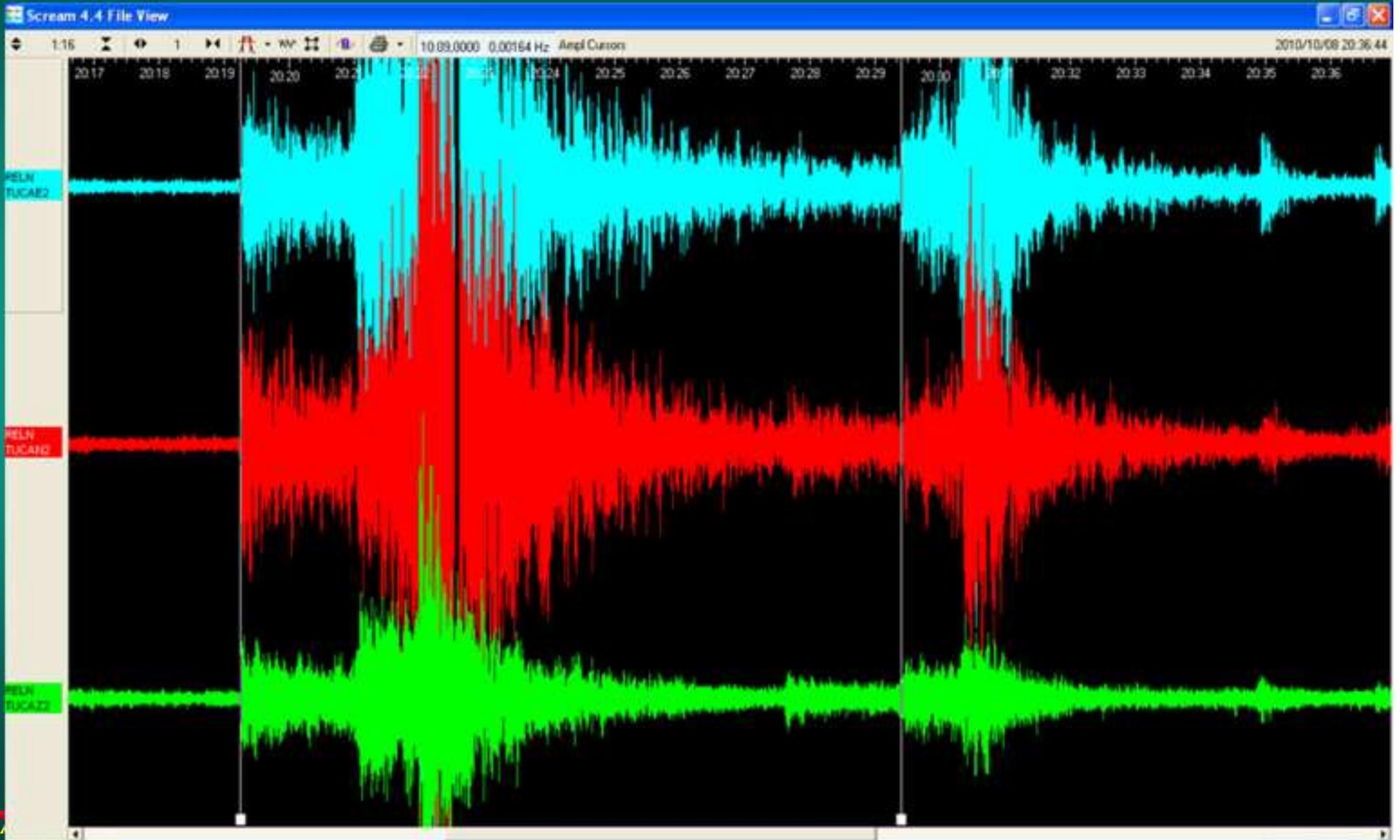
Sismicidade da Faixa Sísmica Goiás-Tocantins, desde 1948.





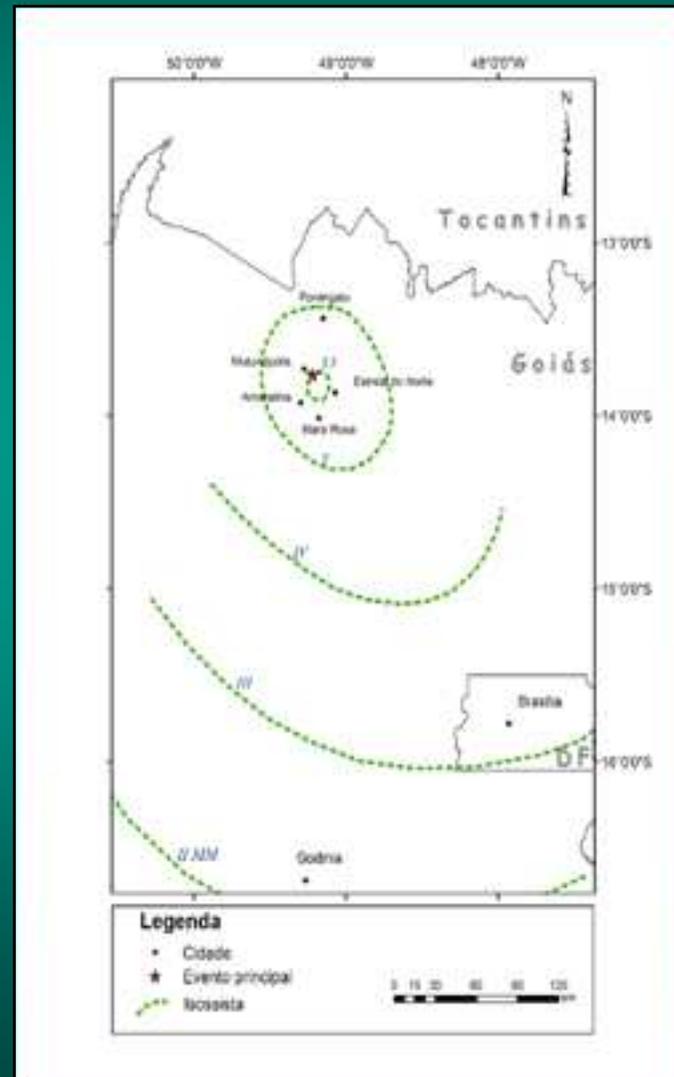
Sismicidade de Goiás e Tocantins desde 1948.





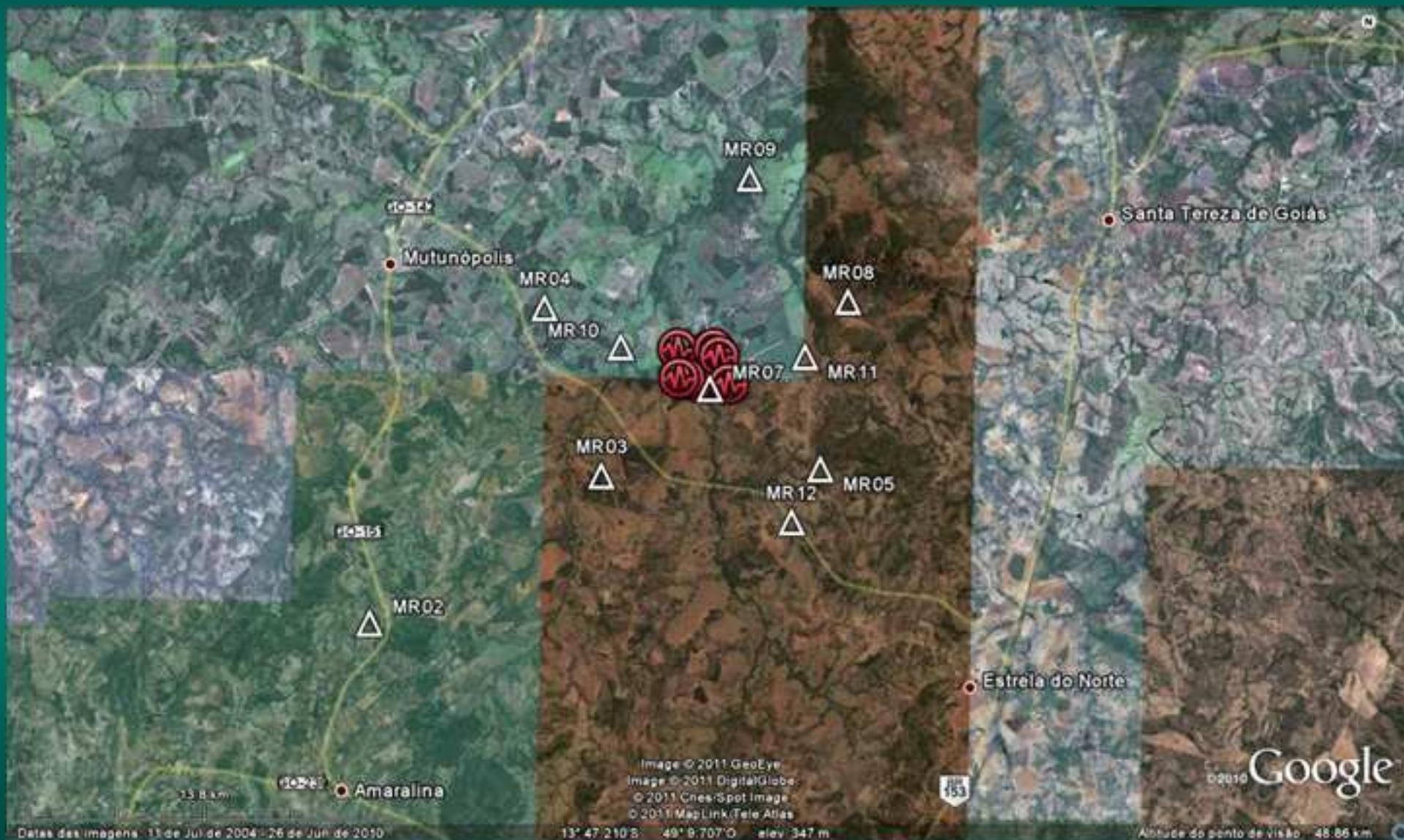


Mapa microssísmico do sismo de Mara Rosa.





Rede sismográfica de Mara Rosa





Efeitos do sismo de Mara Rosa: rachaduras em fazendas próximas ao epicentro.





Efeitos do sismo de Mara Rosa: queda de reboco em fazendas próximas ao epicentro.





Efeitos do sismo de Mara Rosa: destelhamento em fazendas próximas ao epicentro.

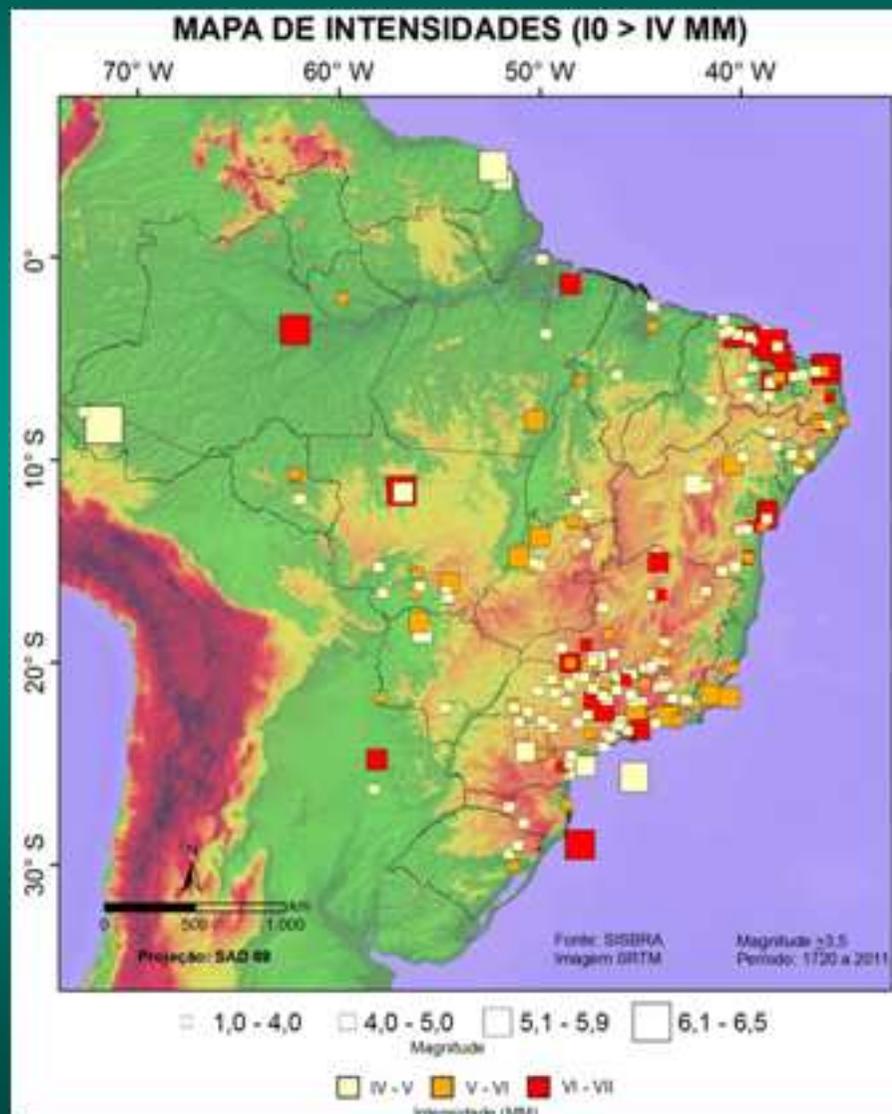




Intensidades sísmicas observadas no Brasil, Escala MM (preliminar)

Particularidades:

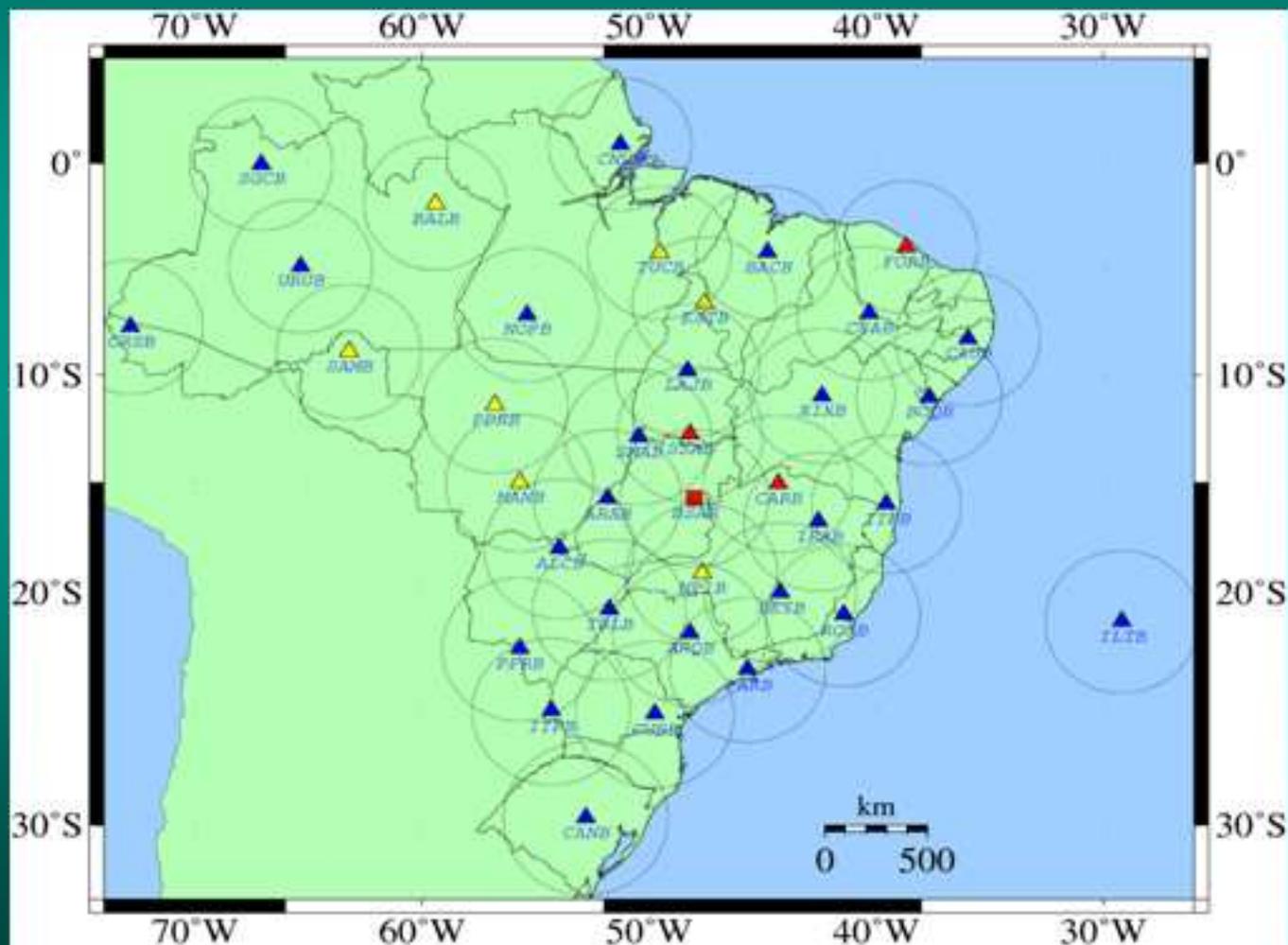
1. Sismos de baixas magnitudes produzem intensidades expressivas;
2. Intensidades avaliadas quando da ocorrência do sismo;
3. Hoje, as mesmas magnitudes podem produzir intensidades maiores, dado que as pessoas passaram a morar mais próximas das fontes desses sismos..





Monitoramento sismográfico do Brasil

Objetivo: detectar, localizar, calcular magnitudes e emitir, automaticamente, boletins, com limiar de magnitude 3,5 na Escala Richter.



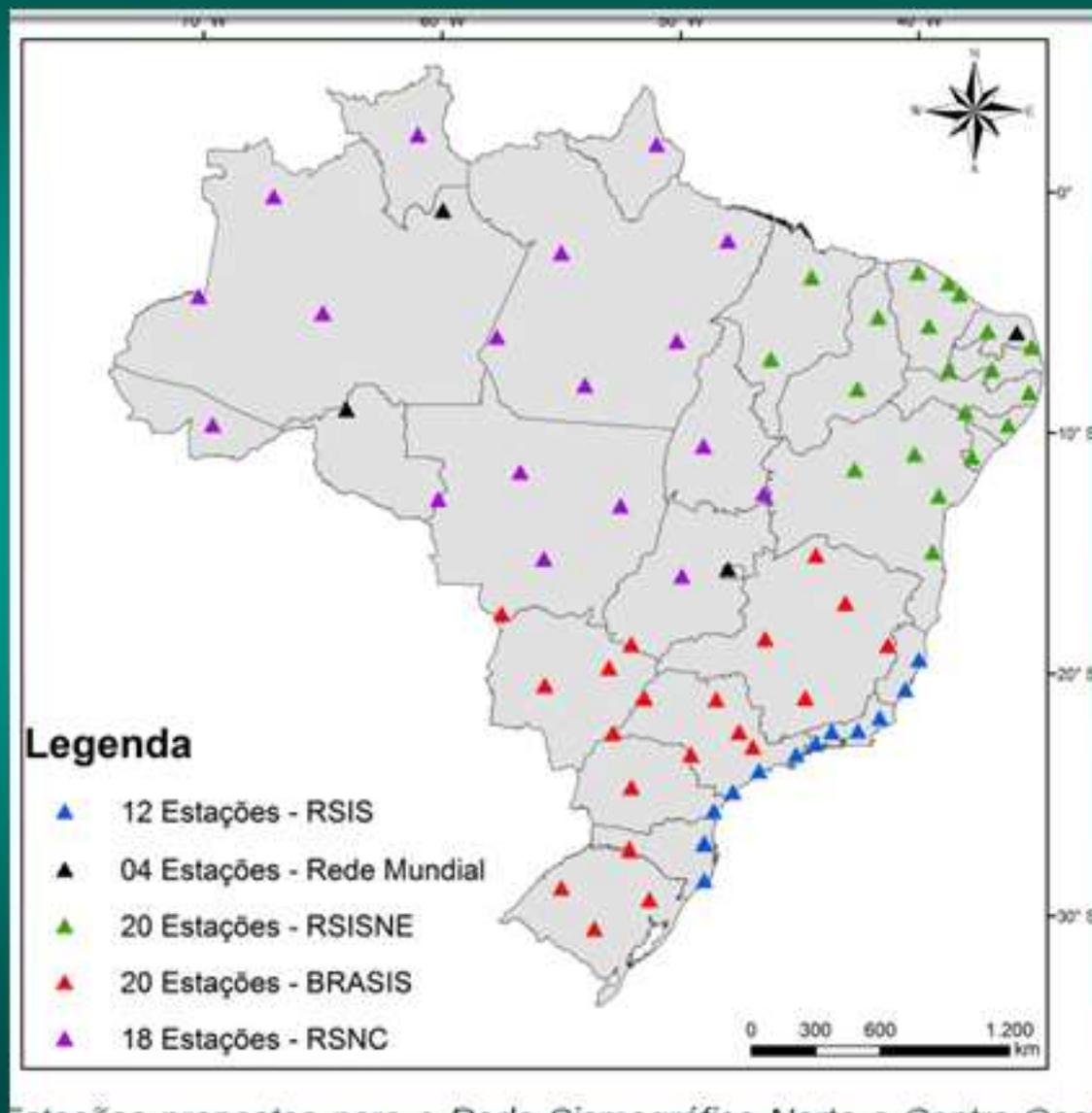
Rede sismográfica brasileira, rede GEOTEC - PETROBRAS

Distribuição espacial das estações previstas, algumas já instaladas.

Estimativa inicial:

1. USP: 20 estações no sul e sudeste;
2. ON: 12 estações no litoral sudeste;
2. UFRN: 20 estações no nordeste;
3. UnB: 18 estações no centro-oeste e norte;
4. Rede Mundial: 4 estações

74 Estações





Conclusões:

- 1. O Brasil apresenta uma sismicidade baixa, mas não desprezível: 15 sismos com $M > 5$ e 2 com $M > 6$. Intensidade VI e VII (MM) observadas em vários lugares;
- 2. A distribuição da sismicidade é não uniforme, refletindo a existência de espaços estruturas geológicas potencialmente sismogênicas;
- 3. Os sismos ocorrem devido à existência de zonas de fraqueza, mobilizadas por forças geológicas regionais, somadas a tensões locais;
- 4. Estudos recentes de tomografia sísmica indicam que os sismos podem ocorrer devido ao afinamento da litosfera;
- 5. Estudos adicionais da distribuição das tensões são necessários para melhor definir e caracterizar as regiões sísmicas; .



-
- 6. Um melhor acompanhamento da sismicidade é recomendado, através de uma rede sismográfica nacional com transmissão em tempo real;
- 7. No último ano observou-se um aumento significativo da sismicidade, com vários casos de sismos sentidos pela população;
- 8. A sismicidade intraplaca, embora menos intensa e frequente do que a sismicidade interplaca, pode causar terremotos de magnitudes expressivas;



Recomendações:

Fundamentados no fato de que os terremotos são imprevisíveis e que podem ocorrer em qualquer lugar, até mesmos onde não se observou ainda nenhuma atividade sísmica, como foi o caso de Caraíbas, e considerando que os estudos sismológicos feitos até então no Brasil apontam para a existência de fontes sismogênicas no norte do Estado de Mato Grosso, nos estados do Ceará, do Rio Grande do Norte, Pernambuco, nordeste do Estado de São Paulo e, agora, no norte do Estado de Minas Gerais e de Goiás (todos com potencial para gerar terremotos de magnitudes 5 ou maior); e, ainda, reforçando algumas recomendações feitas por ocasião do evento de 31/01/2005, data do cinquentenário do maior terremoto brasileiro (terremoto da Serra do Tombador - 6,2 m_b), apresentamos as recomendações que se seguem:



1. que se promova uma maior integração entre a comunidade sismológica nacional e os órgãos e instituições envolvidas em prevenção e respostas aos desastres naturais;
2. que seja melhor avaliado o risco sísmico brasileiro, particularmente nas áreas de maior sismicidade;
3. que se promova uma maior aproximação entre as comunidades técnicas e científicas de engenharia e sismologia por meio de reuniões periódicas, incluindo o grupo de estudo da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que recentemente elaborou as normas sísmicas brasileiras;
4. que a implantação da Rede Sismográfica Brasileira (financiada pela Petrobras), em execução nas universidades de São Paulo, Rio Grande do Norte, Brasília e Observatório Nacional, receba apoio efetivo das instituições de âmbito federal;
5. que a Rede Sismográfica Brasileira amplie a integração dos diversos centros sismológicos nacionais e contribua para a formação de outros, por meio da criação de um banco de dados e sua disponibilização em tempo real para toda a comunidade científica nacional.
6. Que seja dado apoio a estudos sismológicos mais detalhados em todos os lugares potencialmente sísmicos.



■ **OBRIGADO**



Tsunami Travel Times

