



# 55º Congresso Brasileiro do Concreto

## Seminário de Grandes Construções

***Contribuição da rede sismográfica da  
ELETRONORTE para o conhecimento da  
sismicidade brasileira – natural e induzida por  
reservatórios***

***Prof. Dr. Lucas Vieira Barros <lucas@unb.br>***

*Gramado/RS, 31 de outubro de 2013.*



# SUMÁRIO

## *Um pouco de Sismologia*

- 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 – A rede sísmica da ELN;
- Conclusões;
- Recomendações.



Os terremotos e fenômenos associados: tsunamis, deslizamentos de terra, incêndios etc. respondem por cerca da metade do total de vítimas fatais causadas por desastres naturais.

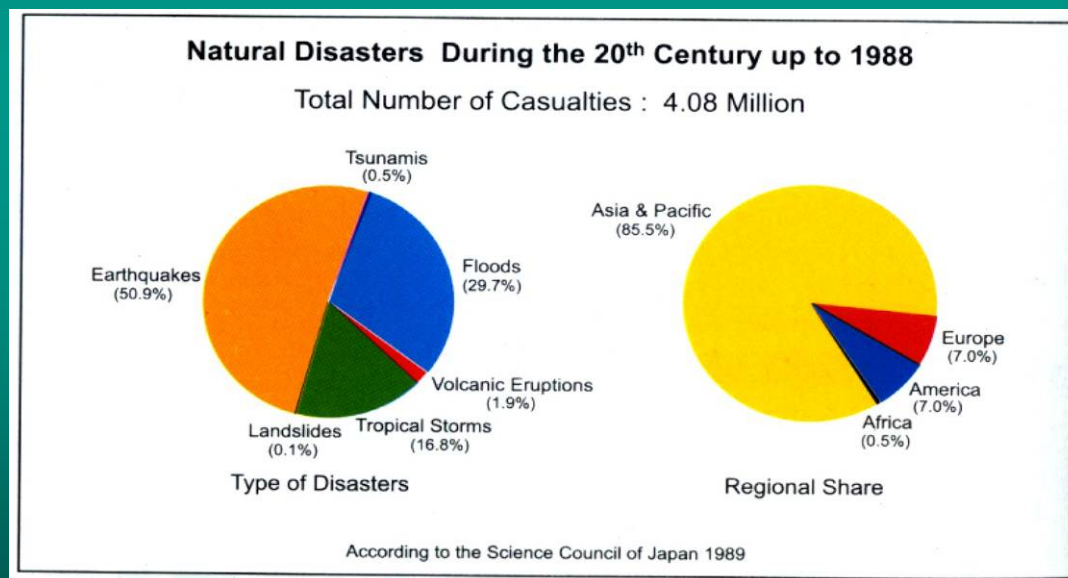
Durante o séc. 20 (entre 1901 e 1988) morreram 4080000 pessoas vitimadas por cerca de 45 000 catástrofes naturais

## Distribuição por evento

1. Terremotos + Tsunamis + Deslizamentos (51.6%) = 2,105,280
2. Enchentes (29.7%) = 1,211,760
3. Tempestades Tropicais (16.8%) = 685,440
4. Vulcões (1.9%) = 77.520

## Distribuição geográfica

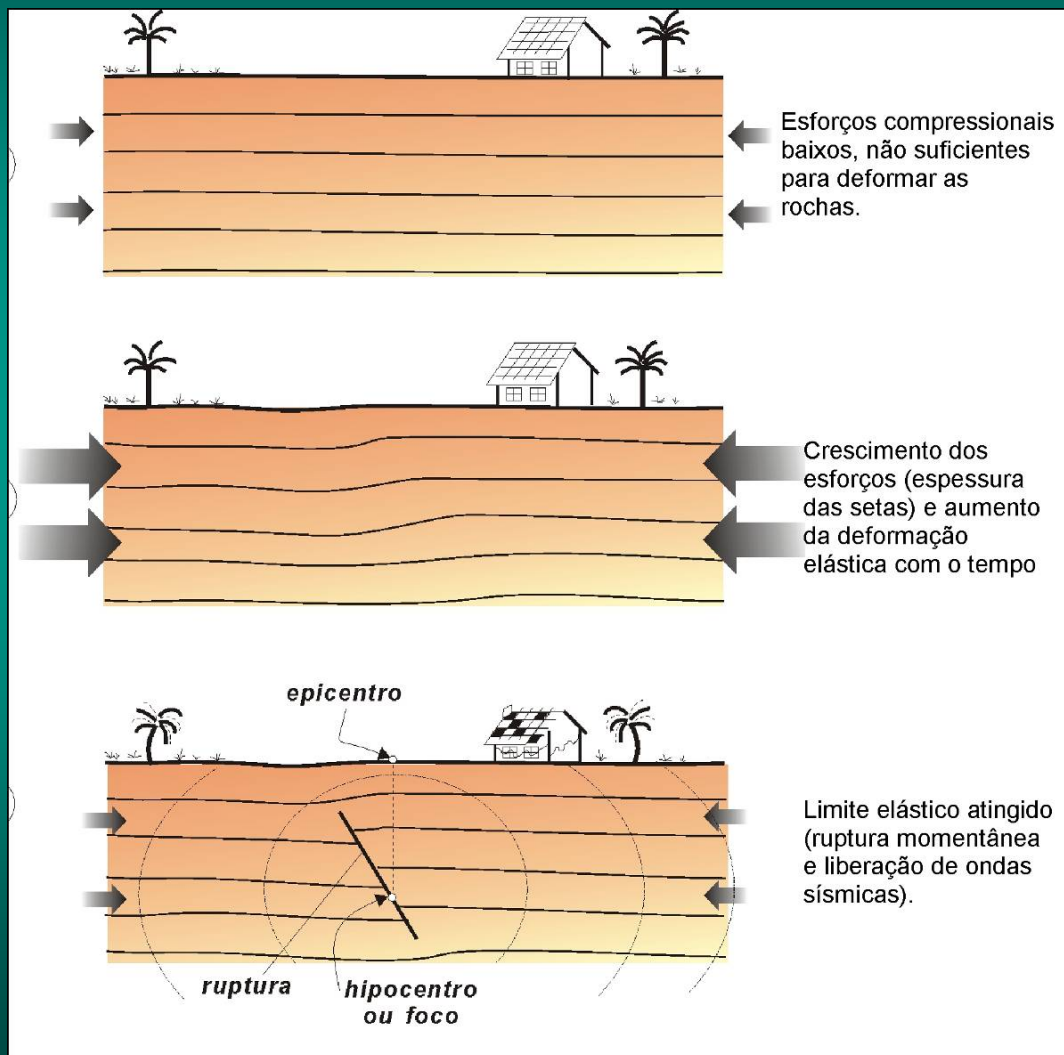
1. Ásia & Pacífico (85.5%) = 3,488,400
2. Europa (7%) = 285,600
3. Américas (7%) = 285,600
4. África (0.5%) = 20,400



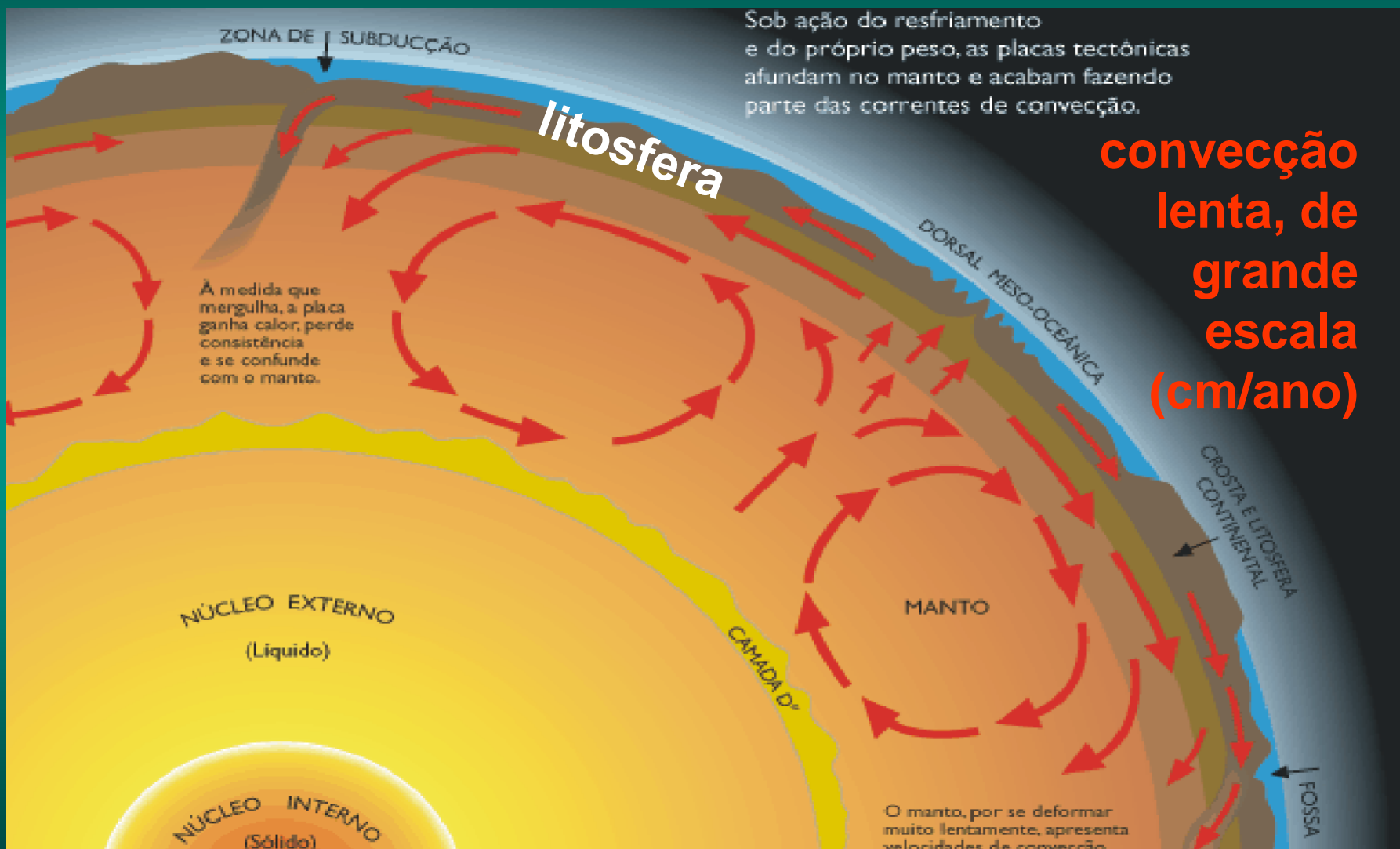
Estatística dos desastres em escala global (1901-1988)

[Credit: Asian Seismological Commission (2000)]

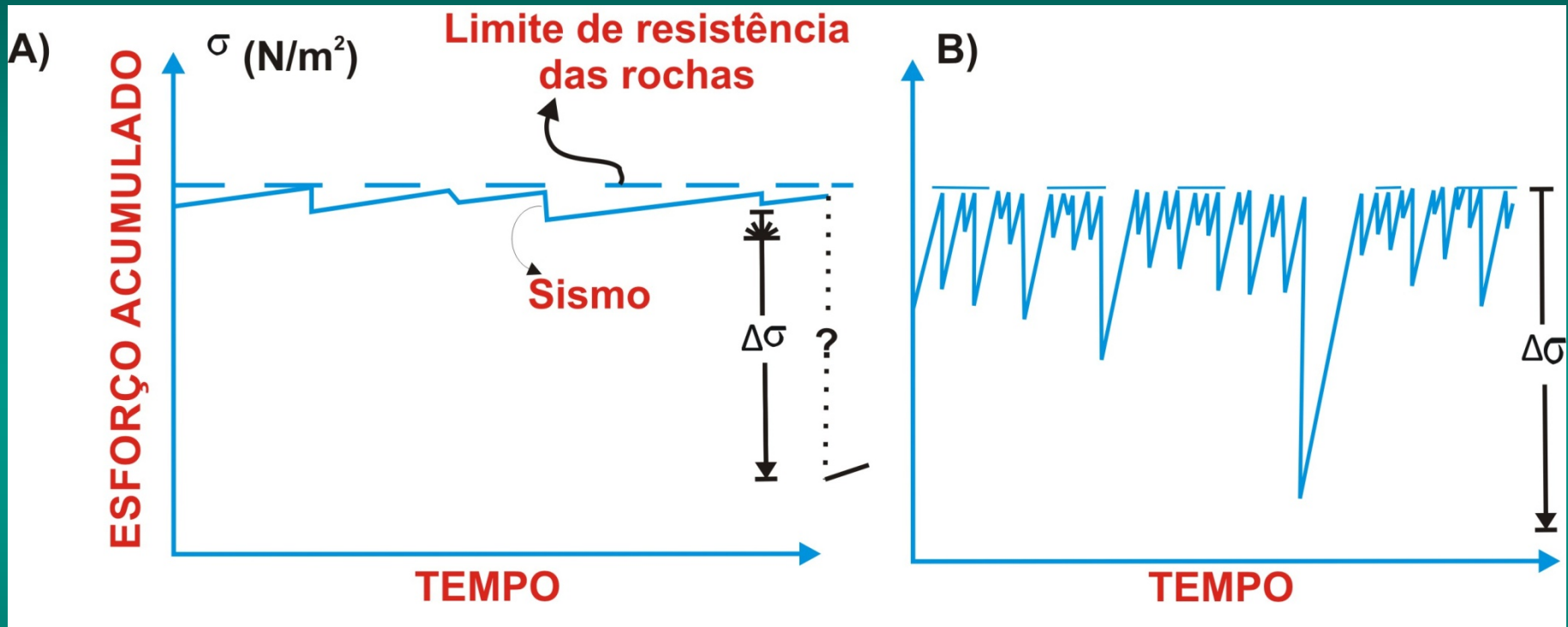
## Sismo: ruptura repentina provocada por “tensões tectônicas”.



## Origem das forças que movem as placas e geram terremotos



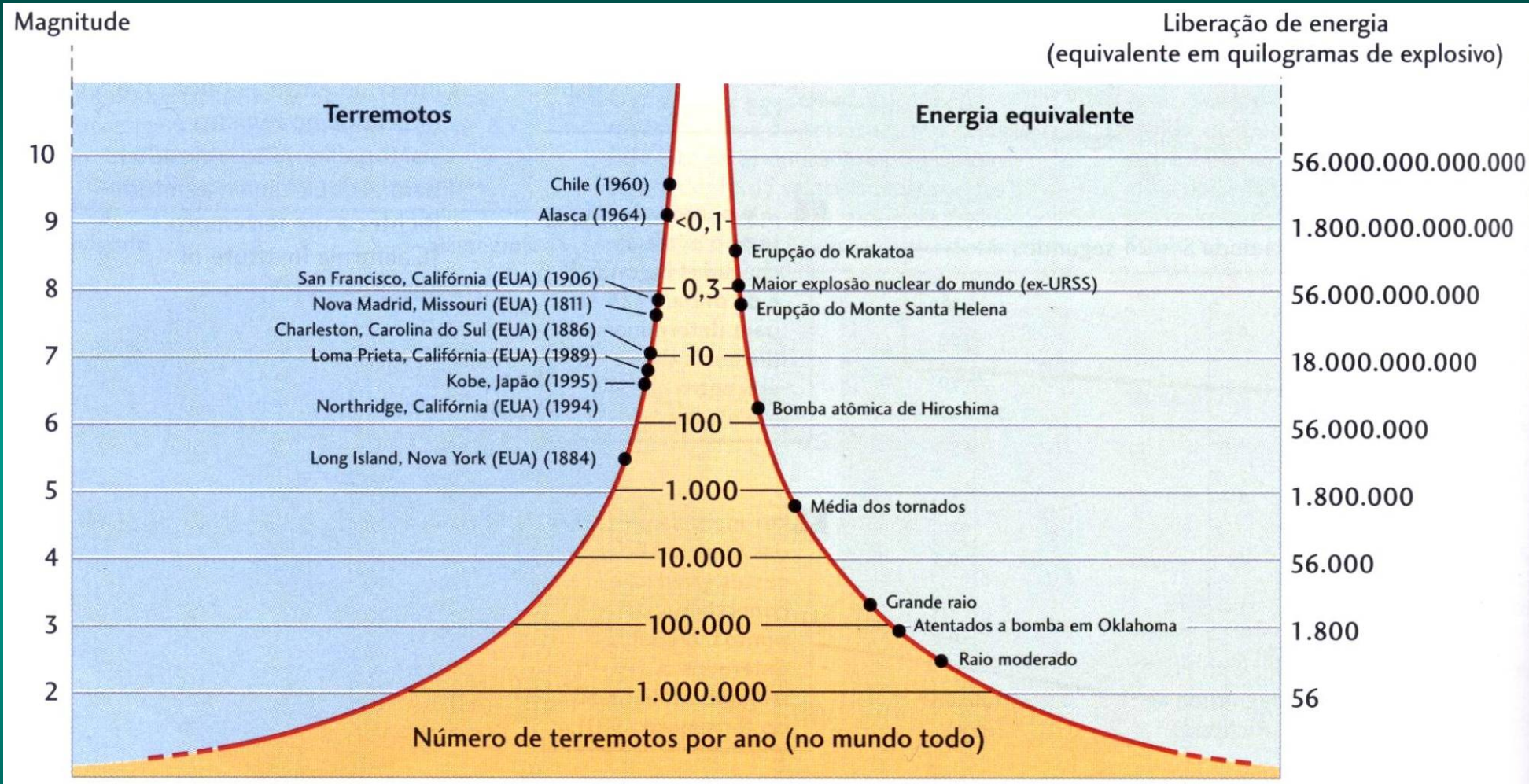
# Modelo de acumulação e liberação de esforços.



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).



## Freqüências Globais de Ocorrência dos Terremotos

Descrição	Magnitude $M_w$	Média anual	Período de repetição
Gigantesco	$\geq 9,0$	~0,05	~ 20 anos
Enorme	8,0 - 8,9	~1,5	7,7 meses
Grande	7,0 - 7,9	18	2,6 meses
Forte	6,0 - 6,9	155	2,1 dias
Moderado	5,0 - 5,9	1320	0,28 dias
Fraco	4,0 - 4,9	13000	0,028 dias
pequeno	3,0 - 3,9	130000	0,0028 dias
Muito pequeno	2,0 - 2,9	1300000	0,00028 dias



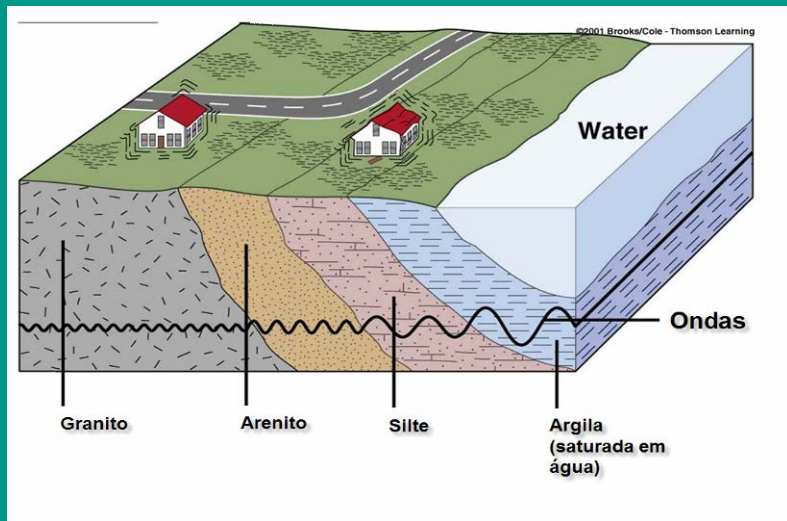


## Qual seria o maior sismo possível?

- Teoricamente a escala de magnitude não tem limites, porém, por razões físicas existem limites inferior e superior. A maior magnitude já observada foi de 9.5.
- Um terremoto de magnitude 10.5, na Califórnia causaria uma ruptura de 60.000 km (uma vez e meia a circunferência da Terra).
- Nas zonas de subducção, onde os parâmetros sismogênicos são diferentes da Califórnia e, em princípio, mais propensos a gerar super-sismos, considerando uma espessura  $W = 250$  km e um módulo de rigidez de 4.5 GPa, resultam em uma falha com  $L \approx 5,000$  km ( $D = 100$ m).
- Para  $M_w = 10.0$  teríamos  $L \approx 2.300$  km,  $D = 50$  m. Valores dificilmente encontrados nas estruturas sismogênicas conhecidas na Terra. Daí, a magnitude máxima esperada para um terremoto tectônico seria em torno de 9.5 a 10.0.
- Porém a Terra pode, em princípio, experimentar terremotos de tamanho ilimitado, gerados por impacto com um **bólide cósmico** (asteróide ou cometa), estes são os verdadeiros super/mega-terremotos e os desastres causados por eles podem ser apocalípticos.

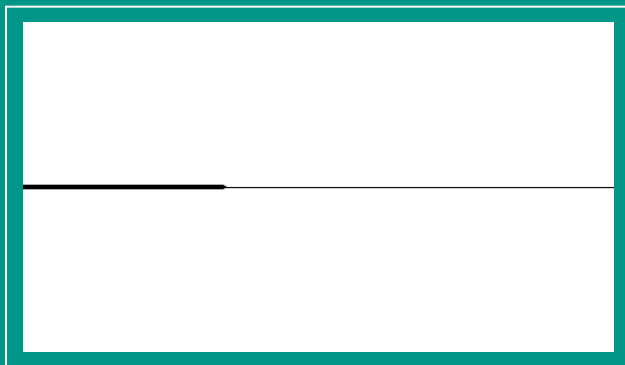
# Poder de destruição de um terremoto

## Diferença de Densidade



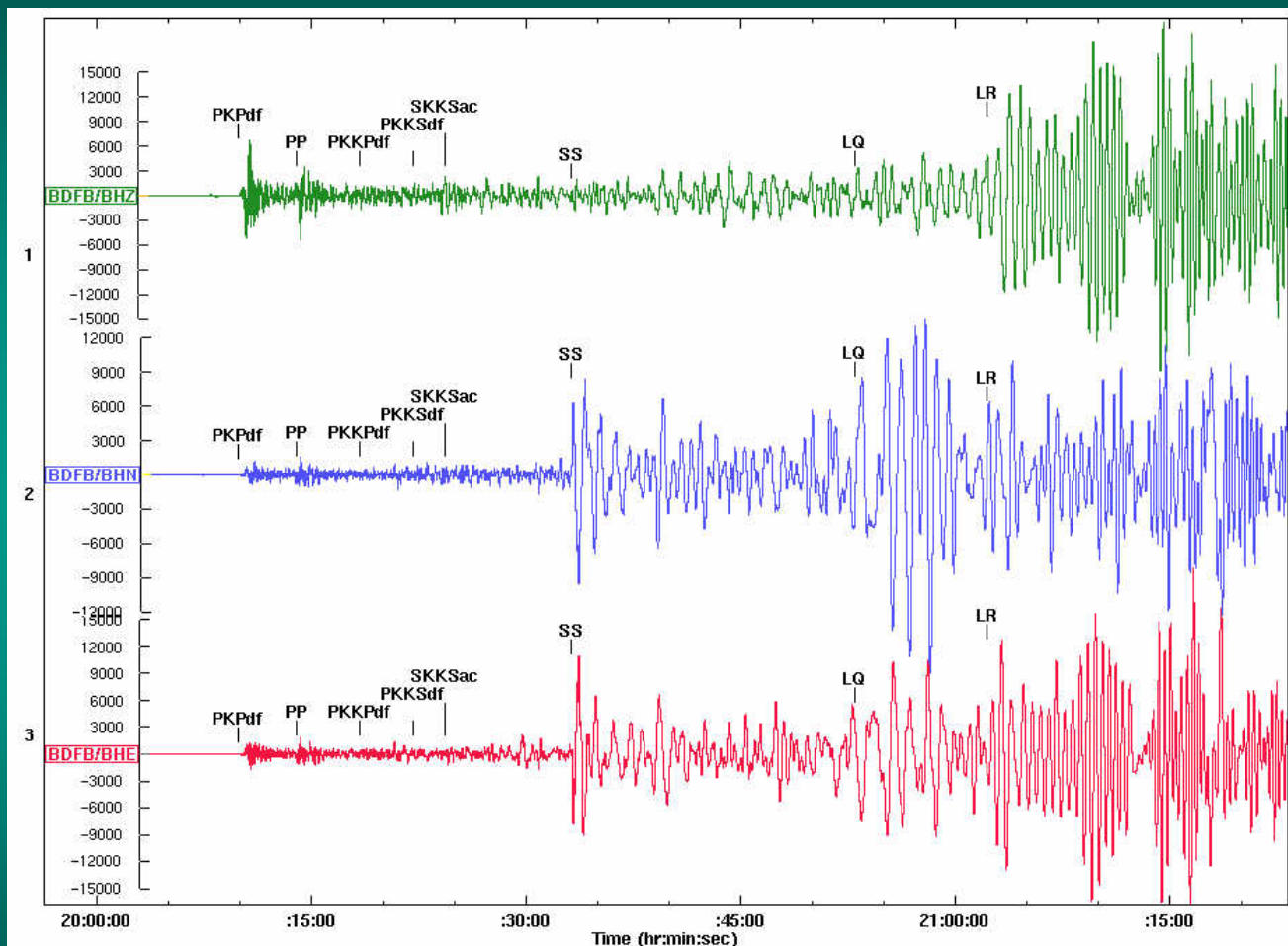
### Depende (dentre outros):

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;
8. Qualidade das construções.





## Sismograma de um terremoto no Japão



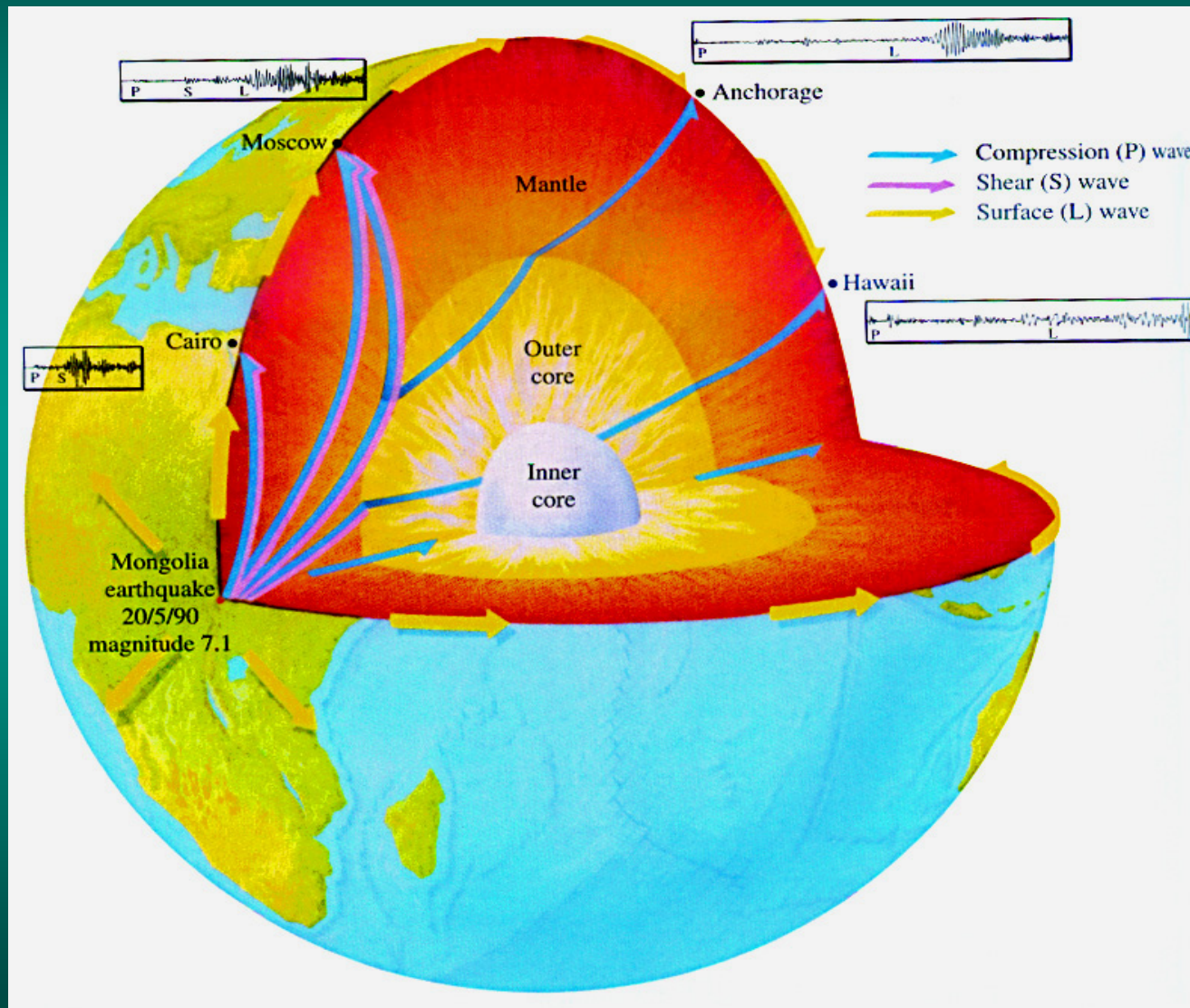
Telessismo ocorrido no dia 25/09/2003, às 19:50 (UTC) detectado pela estação sismográfica BDFB/PS07, ocorrido em Hokaido no Japão, com magnitude 8.3 Mw (HRV) e profundidade 27 km (NEIC\USGS)



# A Sismologia e o conhecimento do interior da Terra

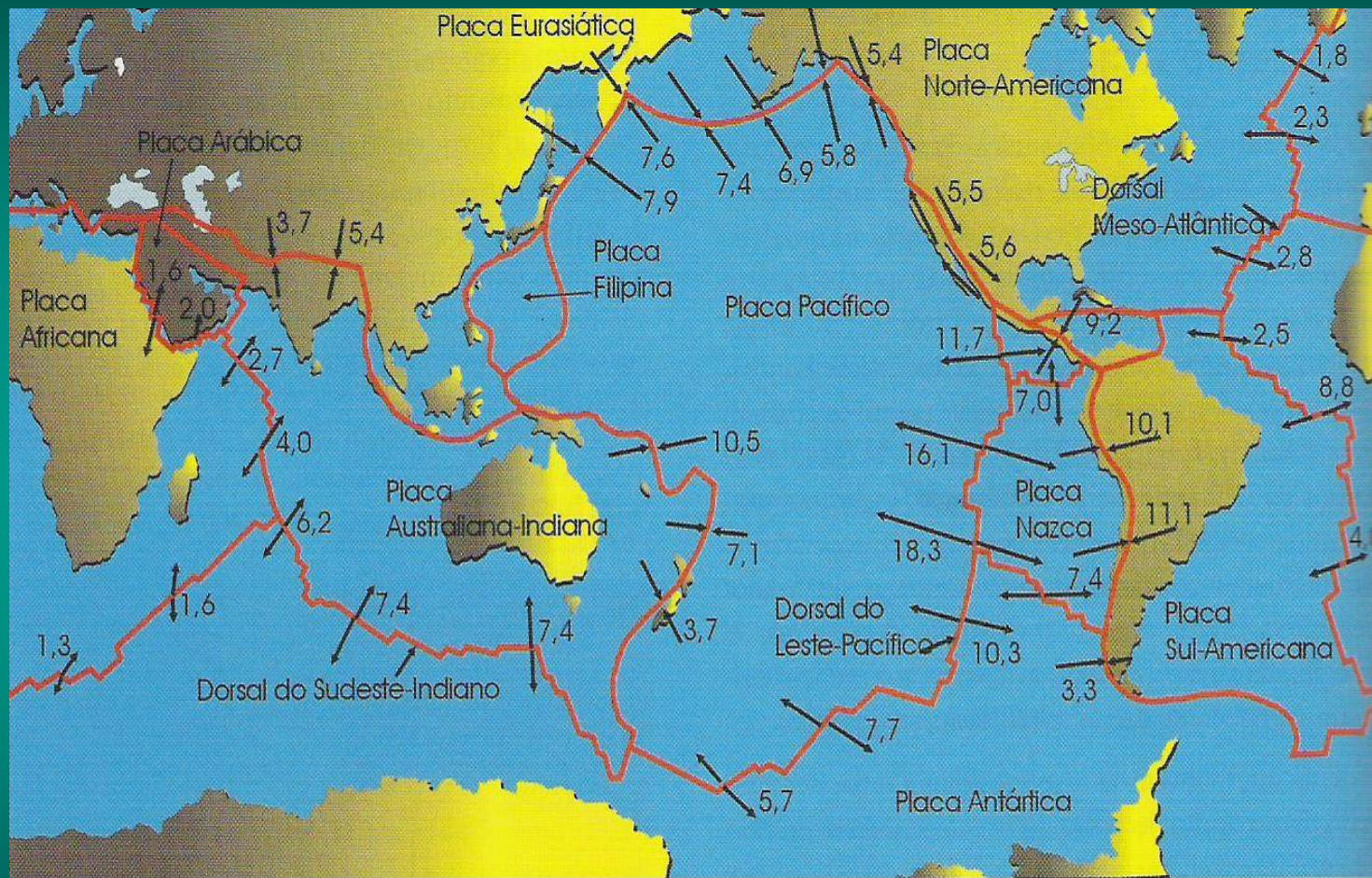
## Propagação.

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).

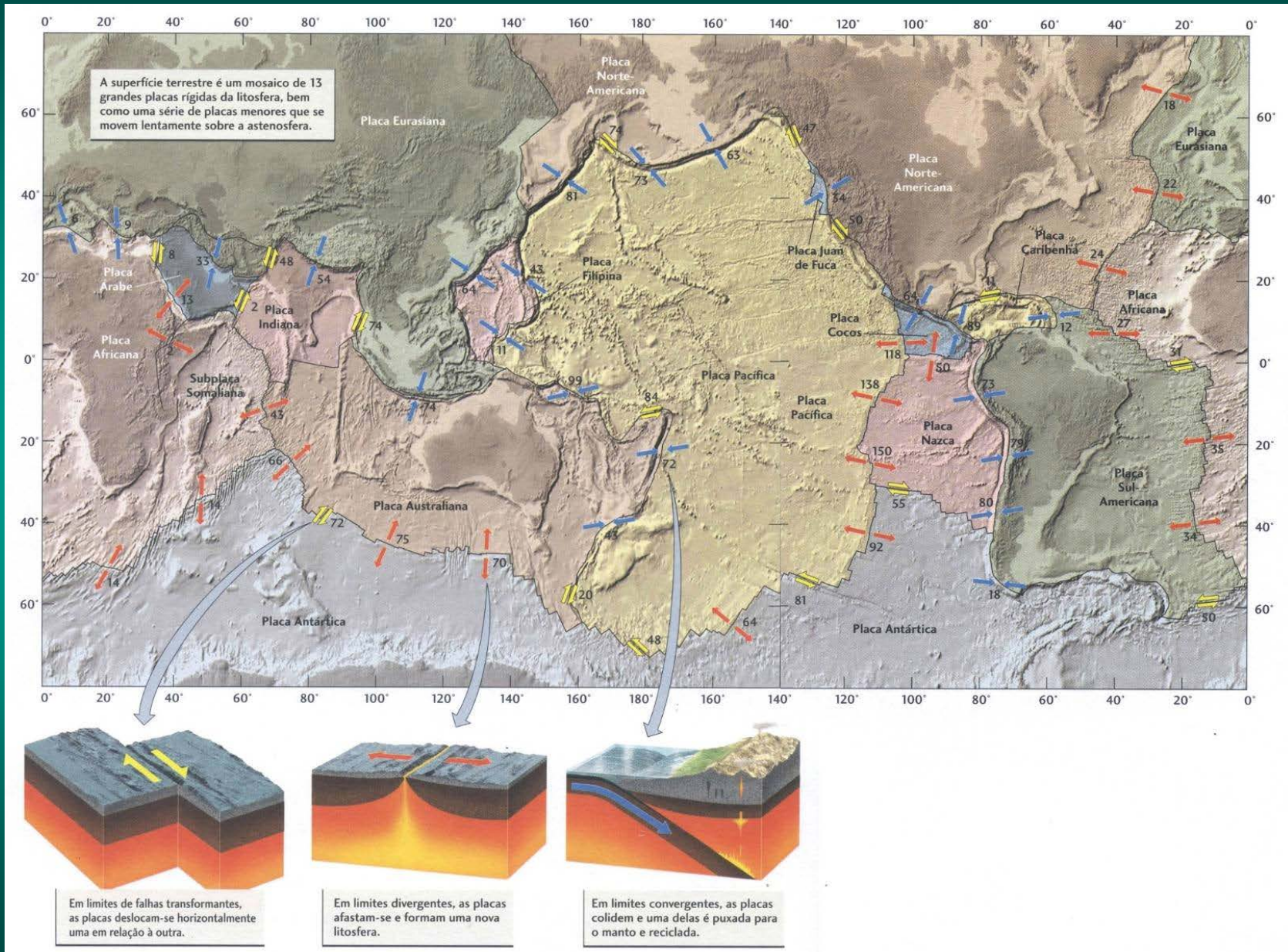


## Movimento (relativo) das placas tectônicas

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

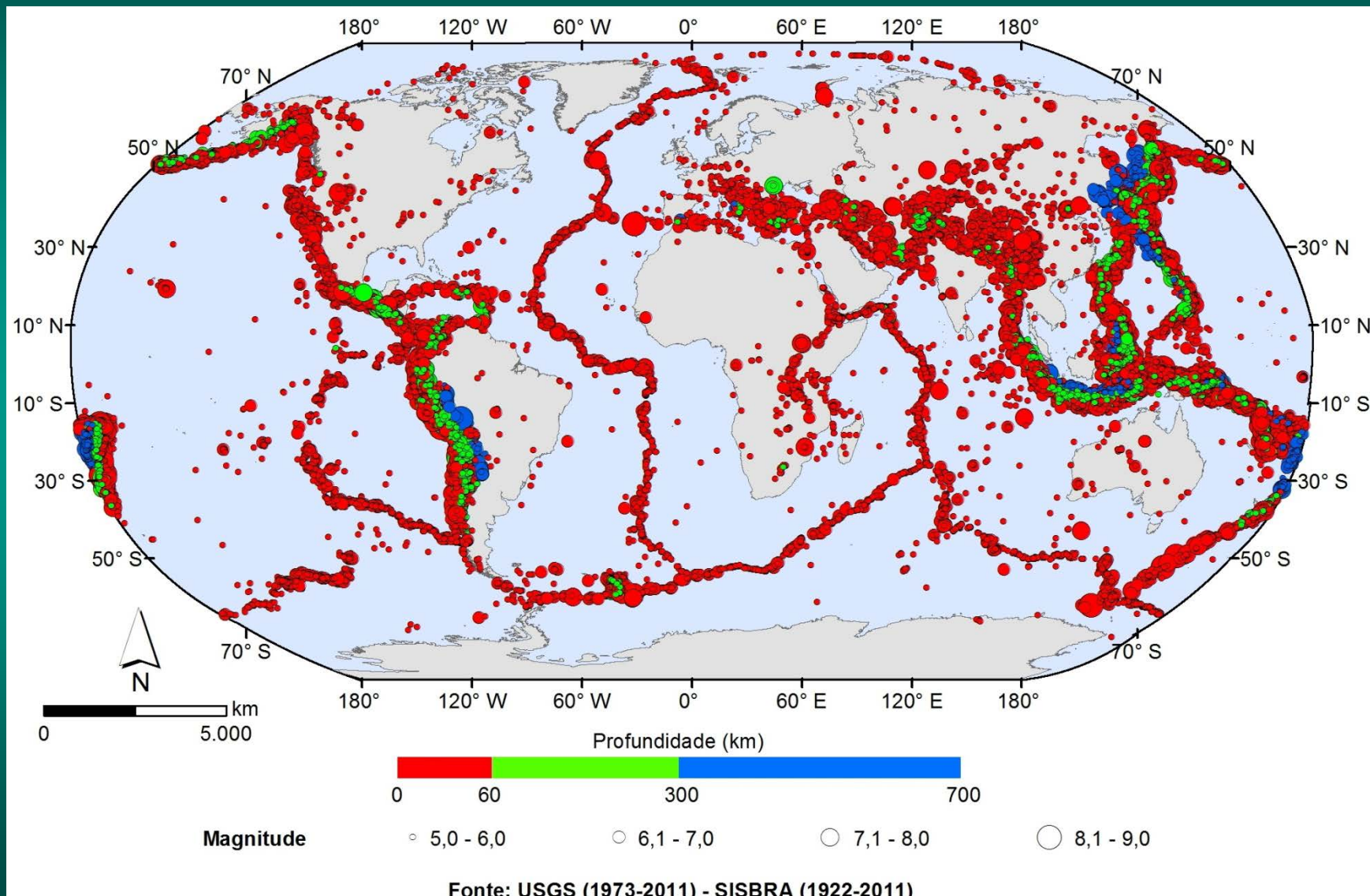


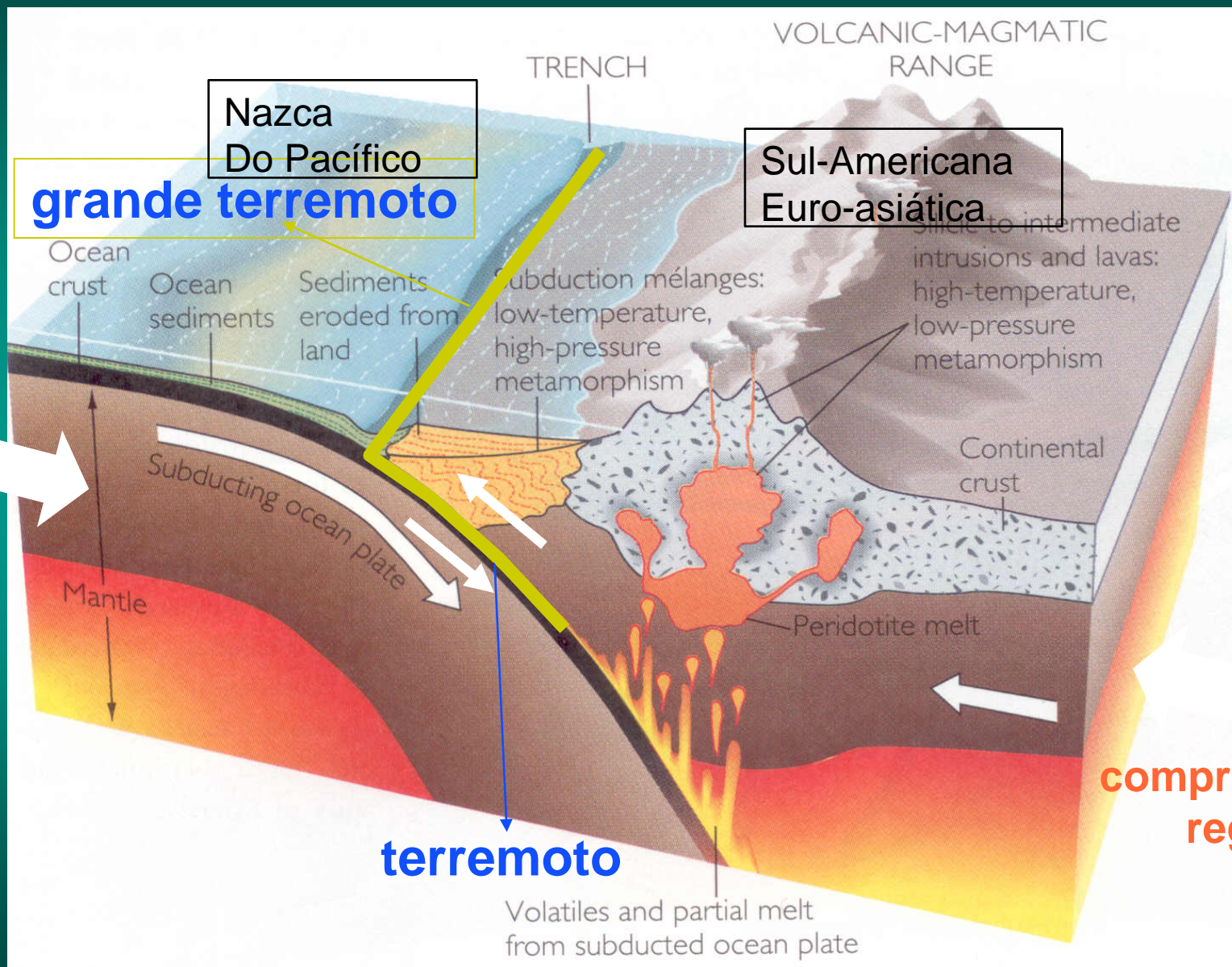
Os números representam as velocidades em cm/ano entre as placas e as setas indicam os sentidos do movimento. Por exemplo, a velocidade de 10,1 para a placa Sul-Americana indica que um ponto situado nesta placa está se aproximando de algum ponto da placa de Nazca a uma razão de 10,1 cm por ano.





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

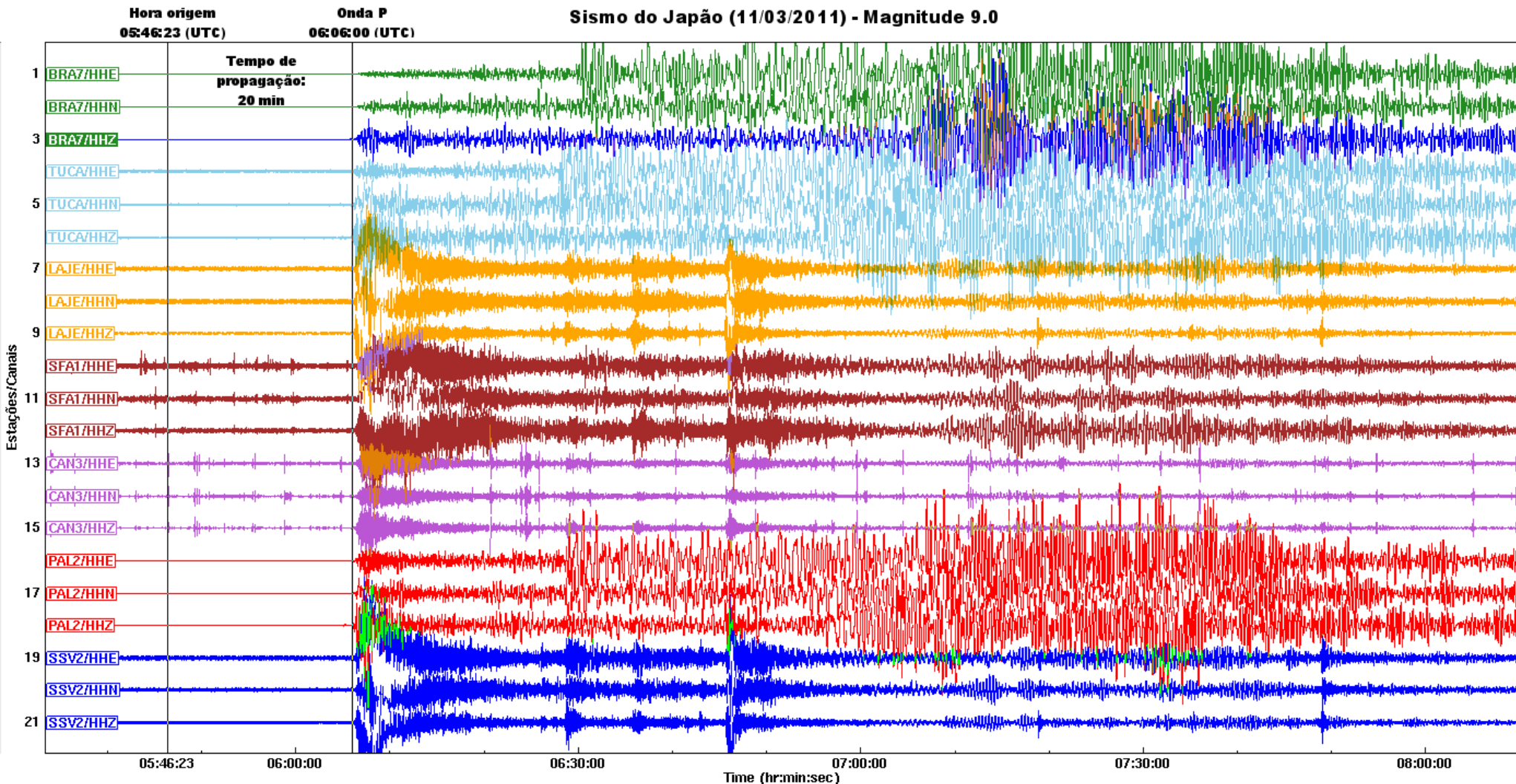






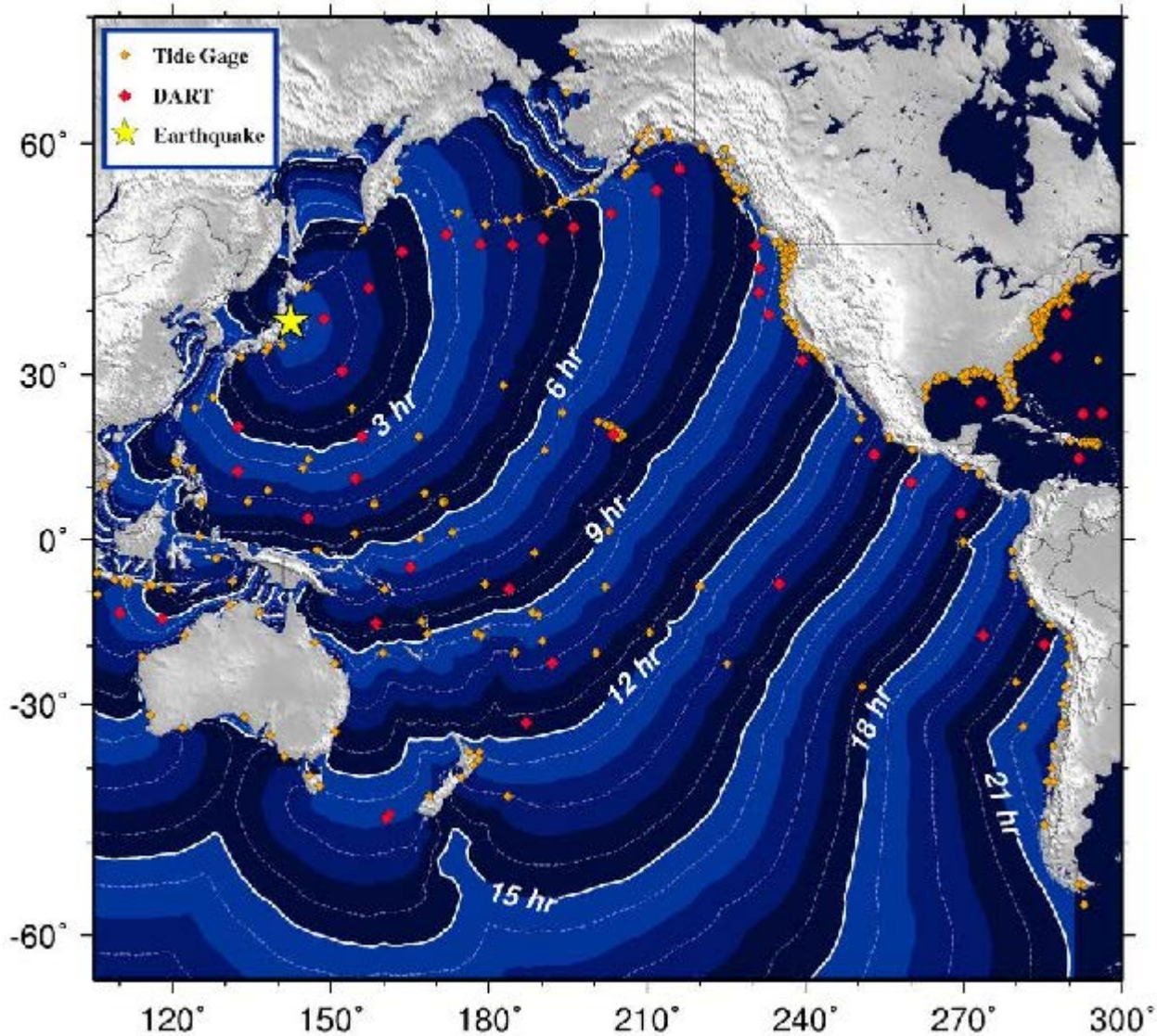


# Registro do terremoto do Japão, de 11/03/2011, M=9,0, cerca de 2 horas de registro





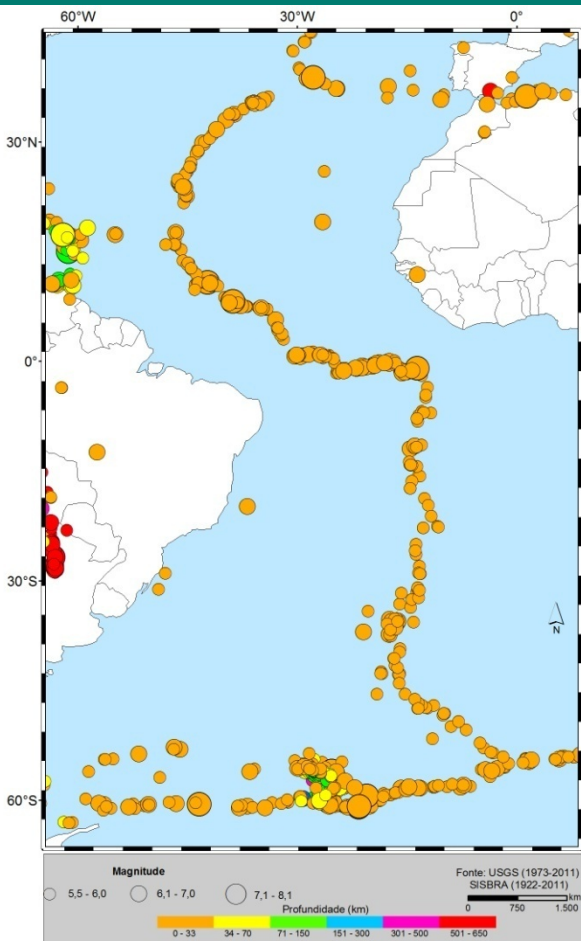
# Tsunami Travel Times



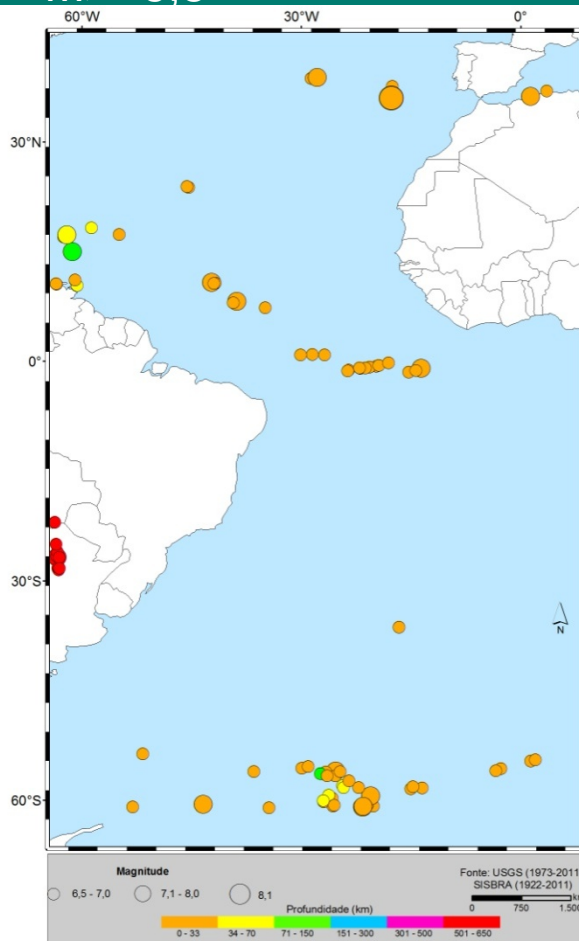


# É possível um tsunami afetar a costa a brasileira? Terremotos na cordilheira meso-atlântica

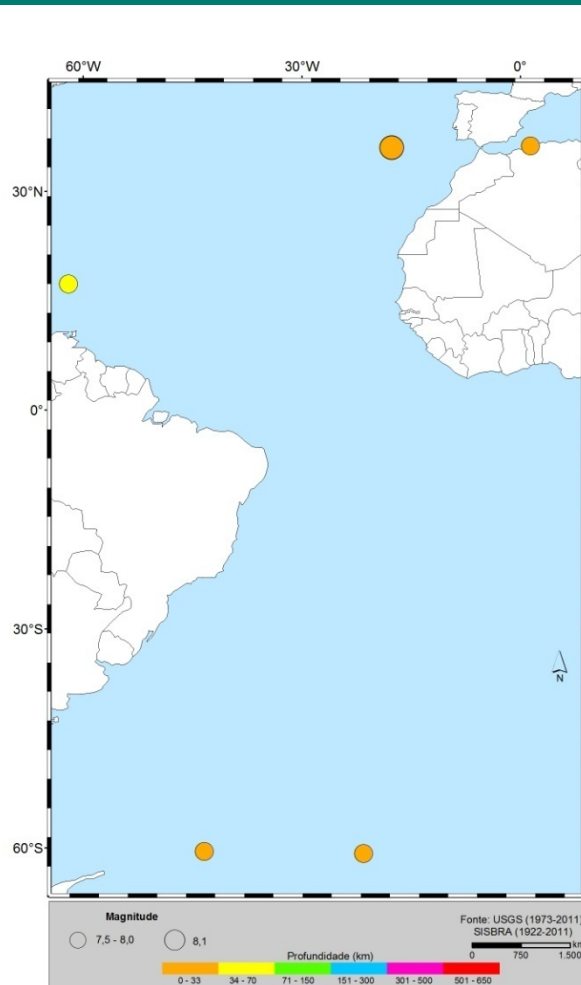
M<sub>≥</sub>5,5



M<sub>≥</sub>6,5



M<sub>≥</sub>7,5



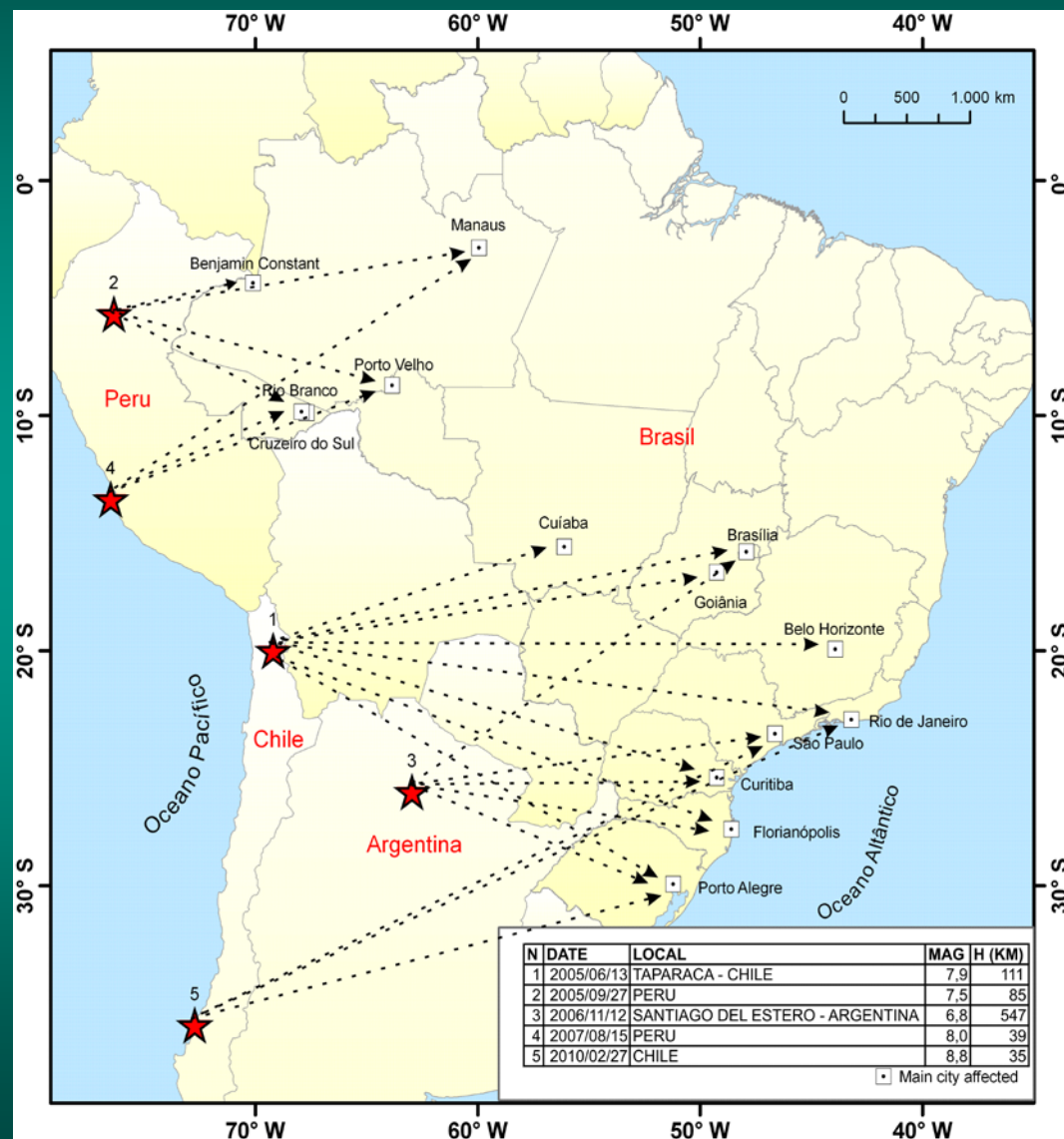


## Sismos andinos sentidos no Brasil

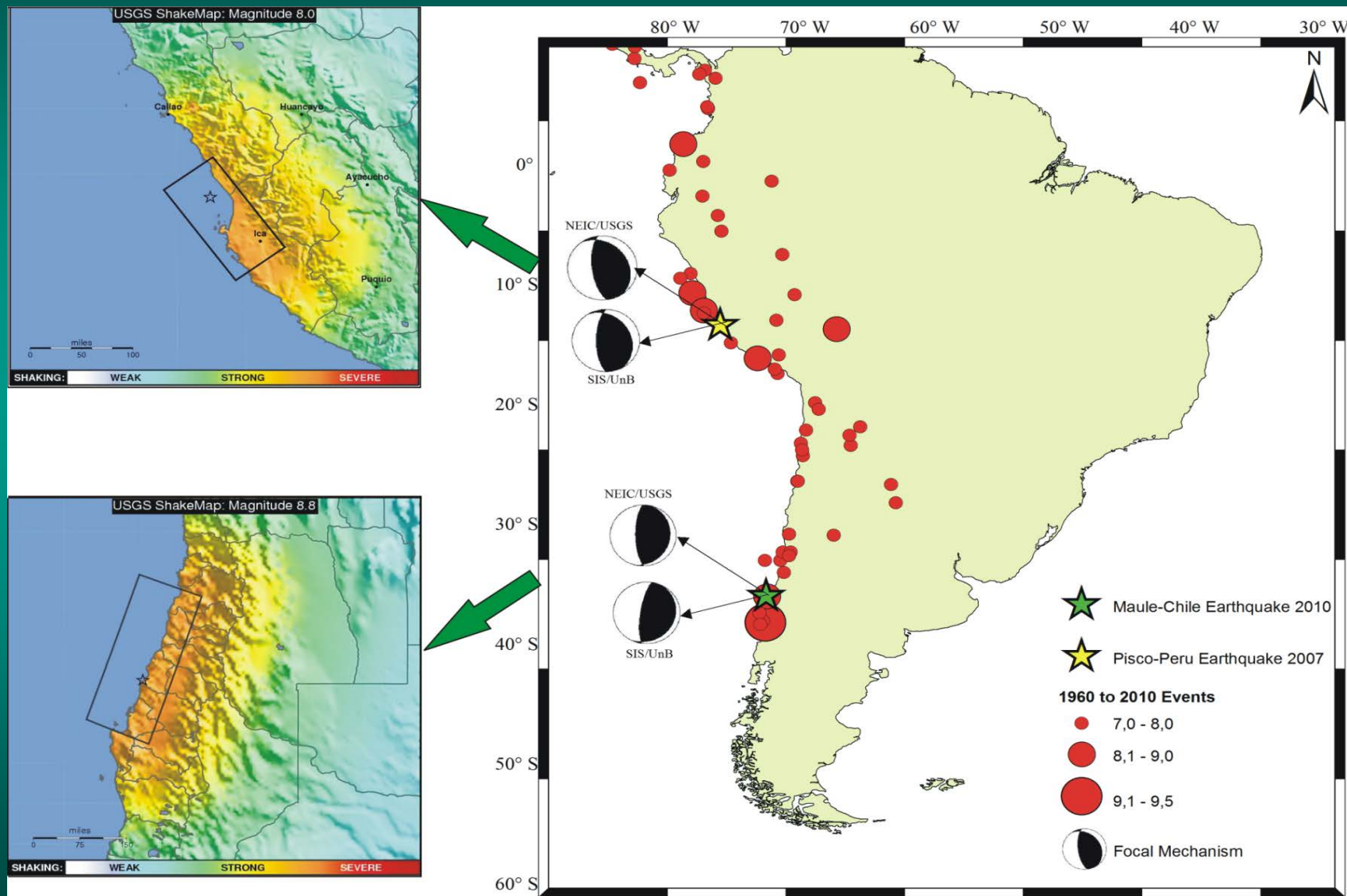
No passado pensou-se que os sismos sentidos no Brasil eram reflexos de grandes terremotos na região dos Andes.

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

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



# Sismicidade dos Andes nos últimos 50 Anos





# Efeitos dos terremotos do Peru e do Chile sobre a barragem de Itaipu

## Distâncias

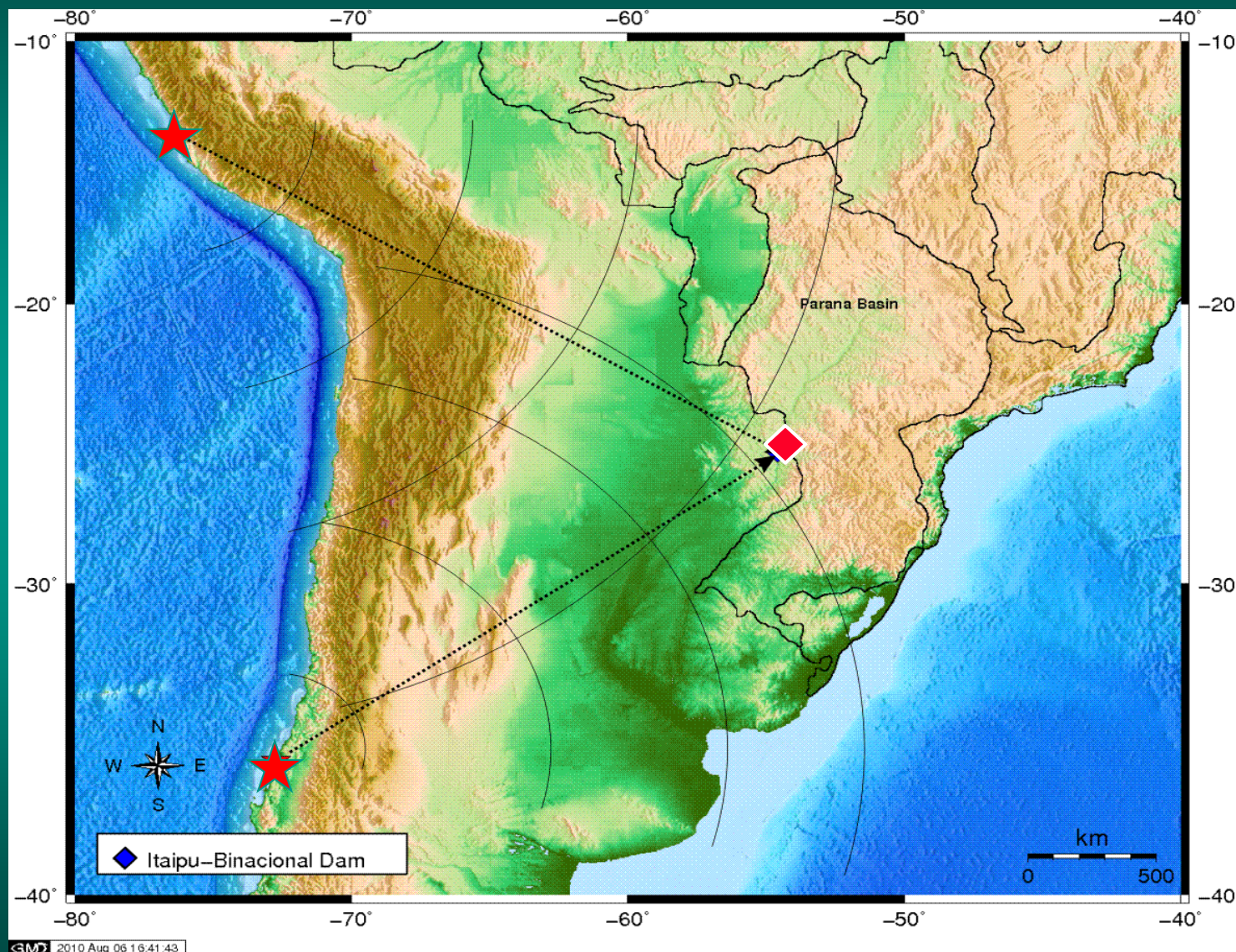
- Peru = 2,630 km
- Chile = 2,130 km

## Magnitudes

- Pisco = 8.0 Mw
- Chile = 8.8 Mw

## Tempo de origem

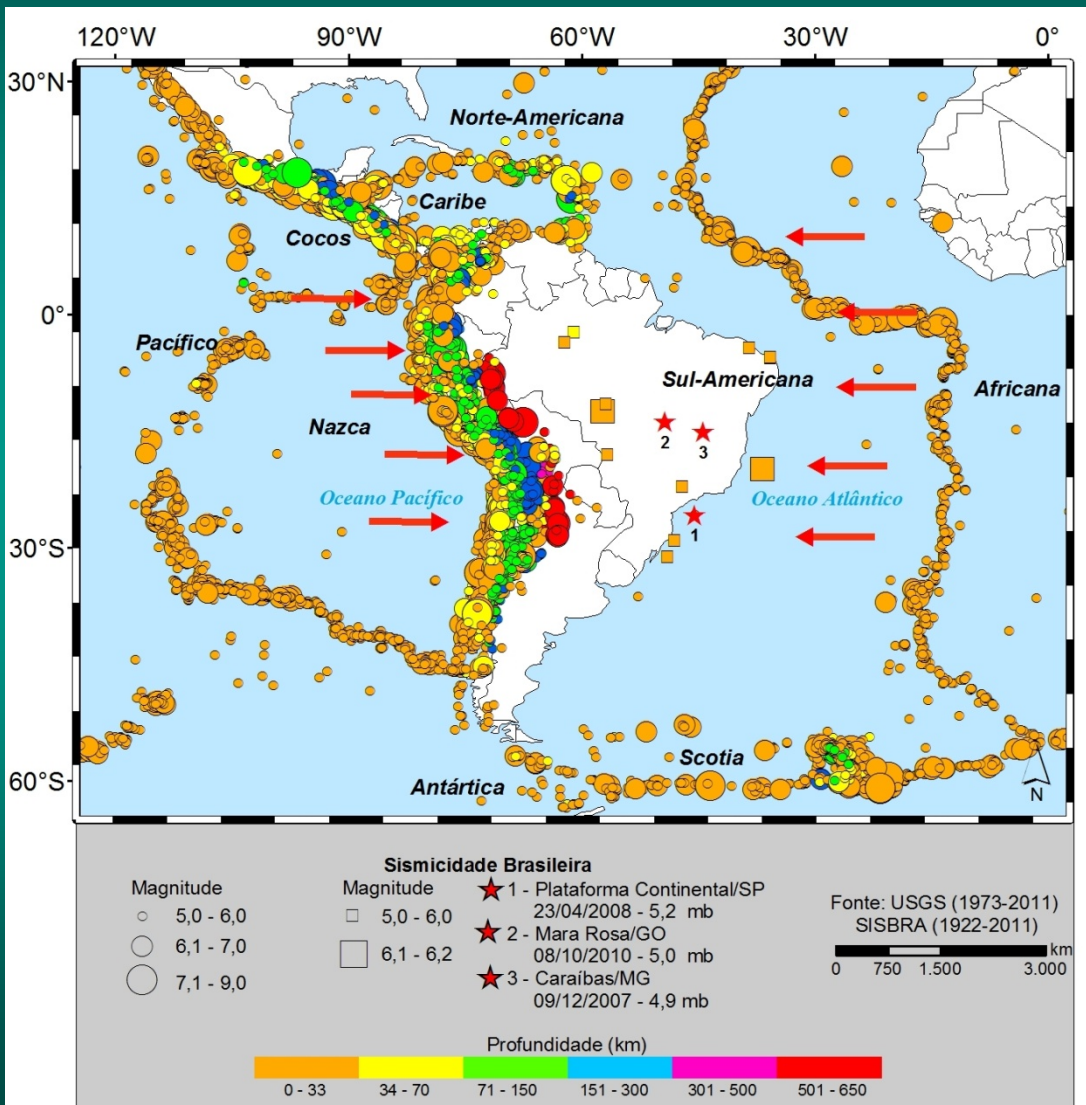
- Pisco-Peru  
15/08/2007 20h41m  
(local)
- Chile  
27/02/2010 03h34m  
(local)



GM 2010 Aug 06 16:41:43



## Sismicidade de Brasil em relação a áreas vizinhas



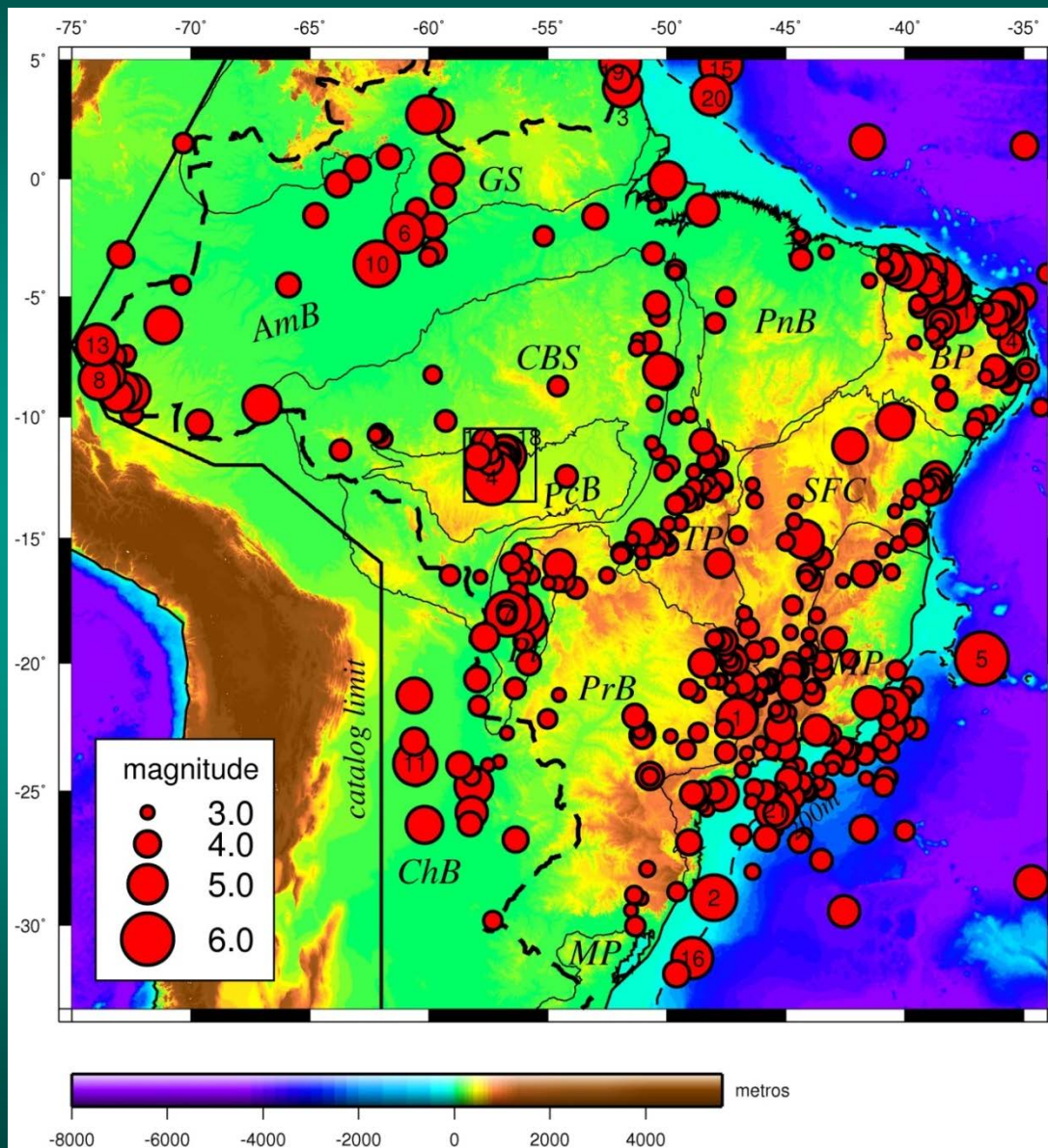
Por que ocorrem sismos no Brasil, se está localizado no interior de uma placa tectonicamente estável?

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.



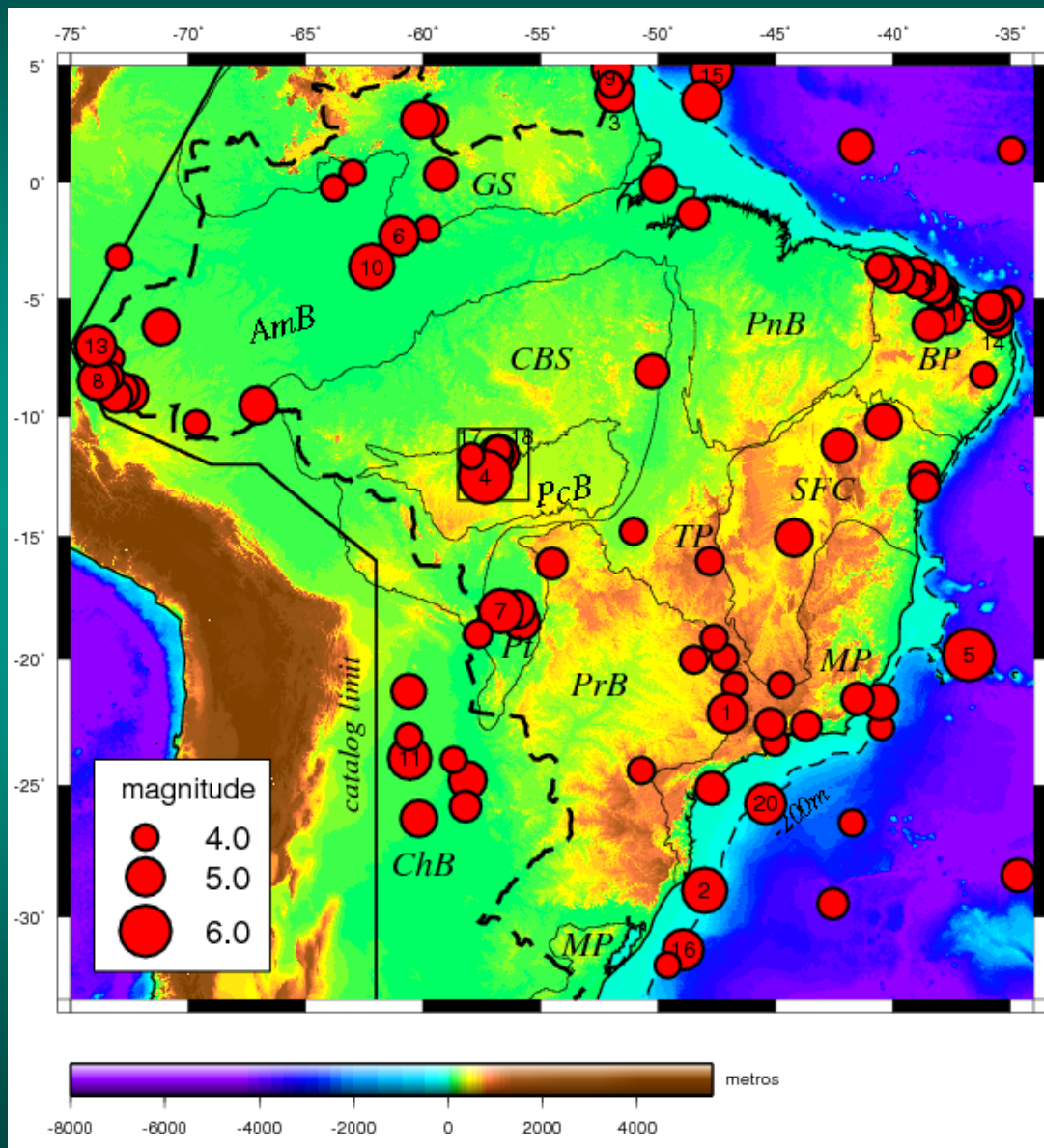
# Mapa da Sismicidade Brasileira no período 1767- 2011. $M \geq 3,0$



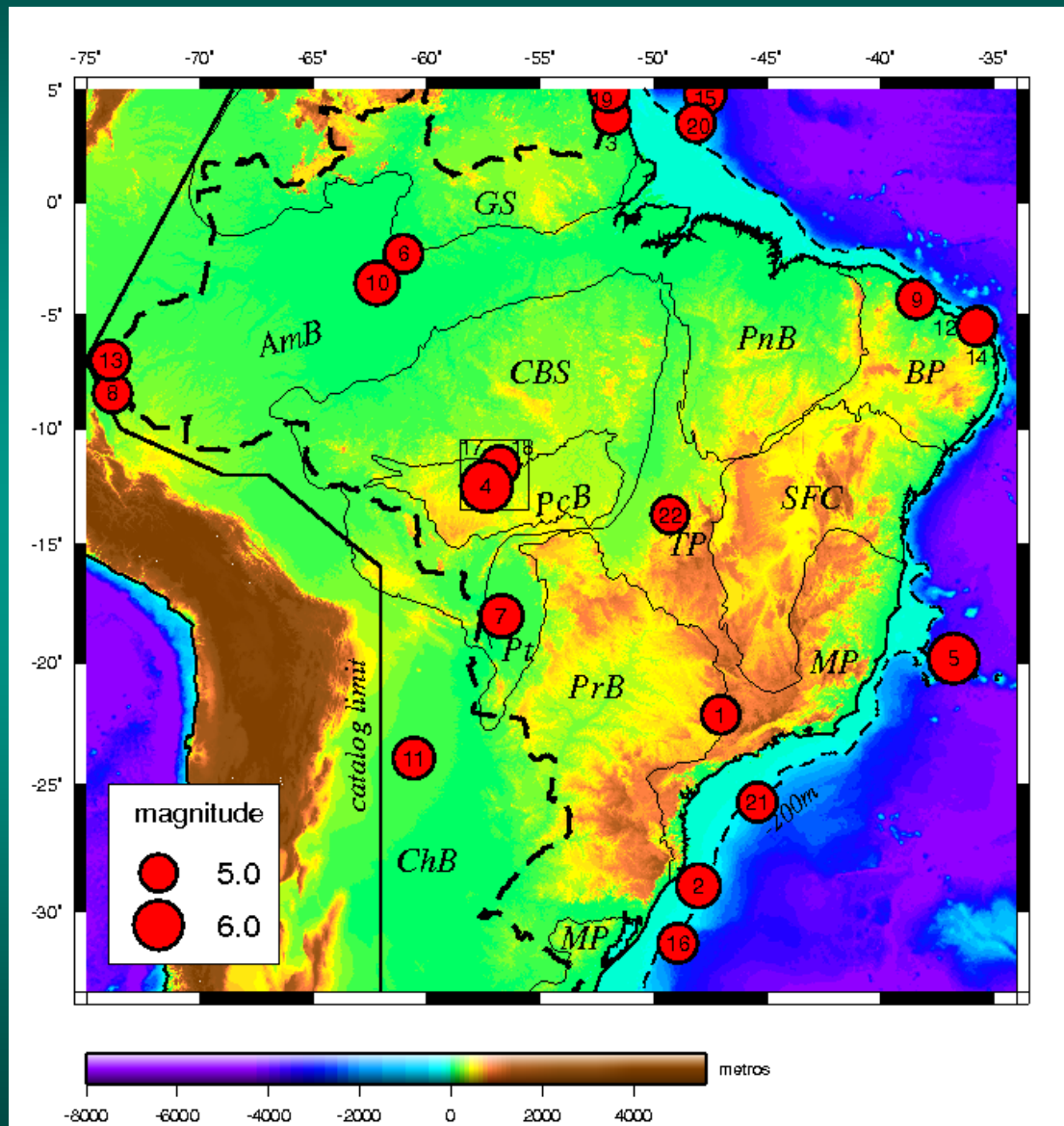




# Mapa da Sismicidade Brasileira no período 1808- 2011. $M \geq 4,0$



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





## Freqüência de ocorrências sísmicas no Brasil

Ruptura (km)	Magnitude Richter	Efeitos possíveis	Freqüência no Brasil
1	4	apenas sentido	~1 por ano
5	5	poucos danos	a cada 5 anos
10	6	danos	1 em 50 anos ?
30	7	muitos danos	1 em 500 anos??
100	8	destruidor	quase impossível
1000	9	catastrófico	nunca

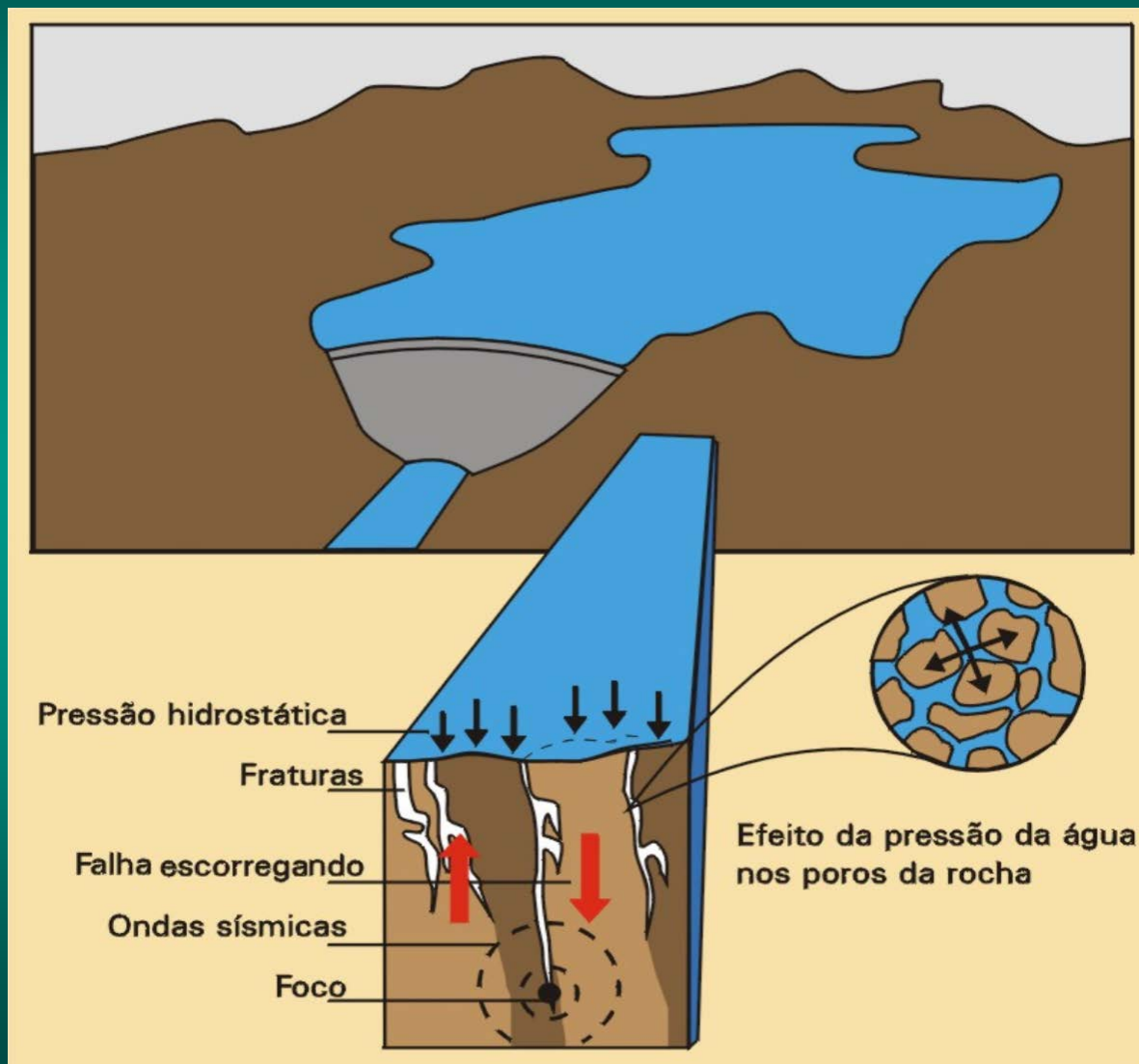


## *- Sismos Induzidos pelo homem - man made earthquakes -*

### Tipos de atividades que podem induzir sismos

- Atividade de mineração e pedreiras
- Injeção profunda de fluídos sob alta pressão
- Extração de líquidos
- Explosões subterrâneas
- Enchimento de reservatórios

## Ação da água sobre o ambiente geológico

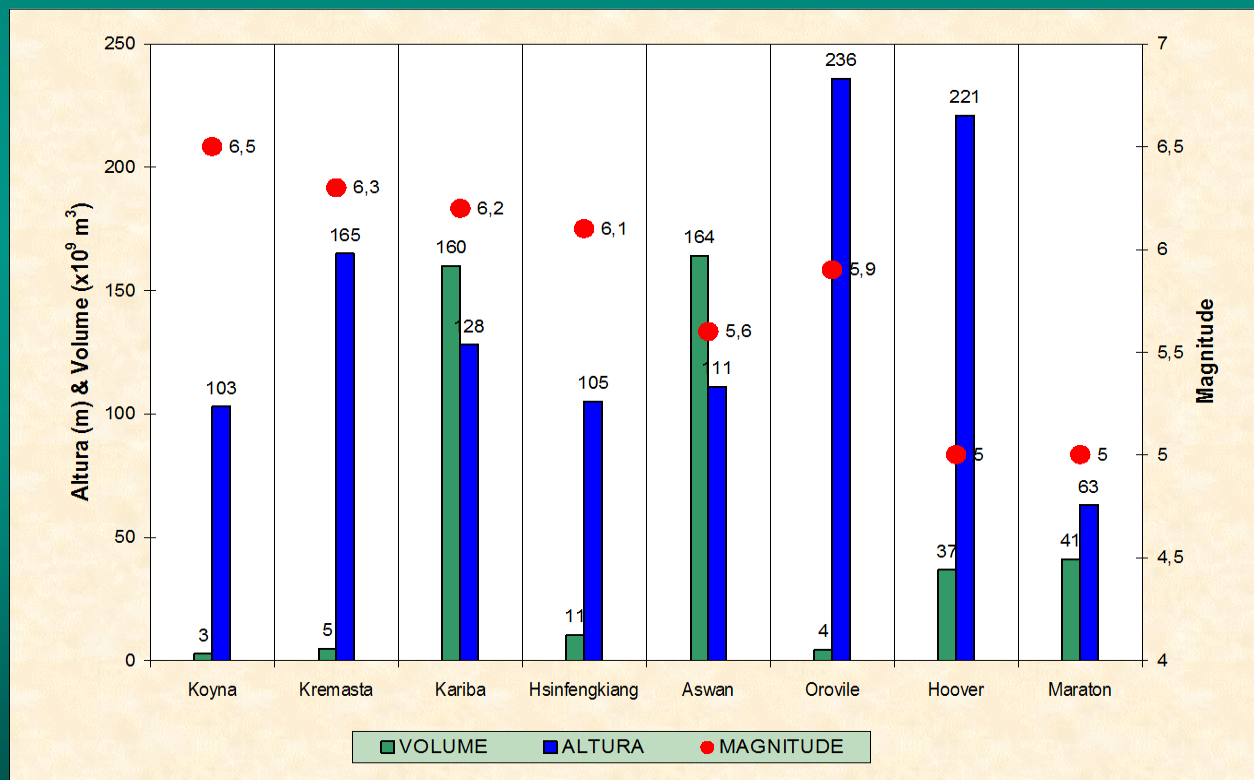


A água pressionada para baixo preenche os poros das rochas ou infiltra-se lentamente pelas fraturas existentes na região abaixo do reservatório, afetando o estado das tensões preexistentes. A Figura mostra o papel lubrificante da água para a movimentação da falha que ocasiona o terremoto (Veloso, .



## Relação entre o reservatório e a sismicidade

Tem sido observado que a profundidade da coluna d'água é mais importante do que o volume total do reservatório e que a atividade sísmica induzida é mais comum em reservatórios com profundidade maior ou igual a 100 m. Apesar disso, existem muitos reservatórios com altura superior a 100 m que nunca apresentaram SIR, e outros com altura bem inferior a 100 m, em que foi observada SIR.

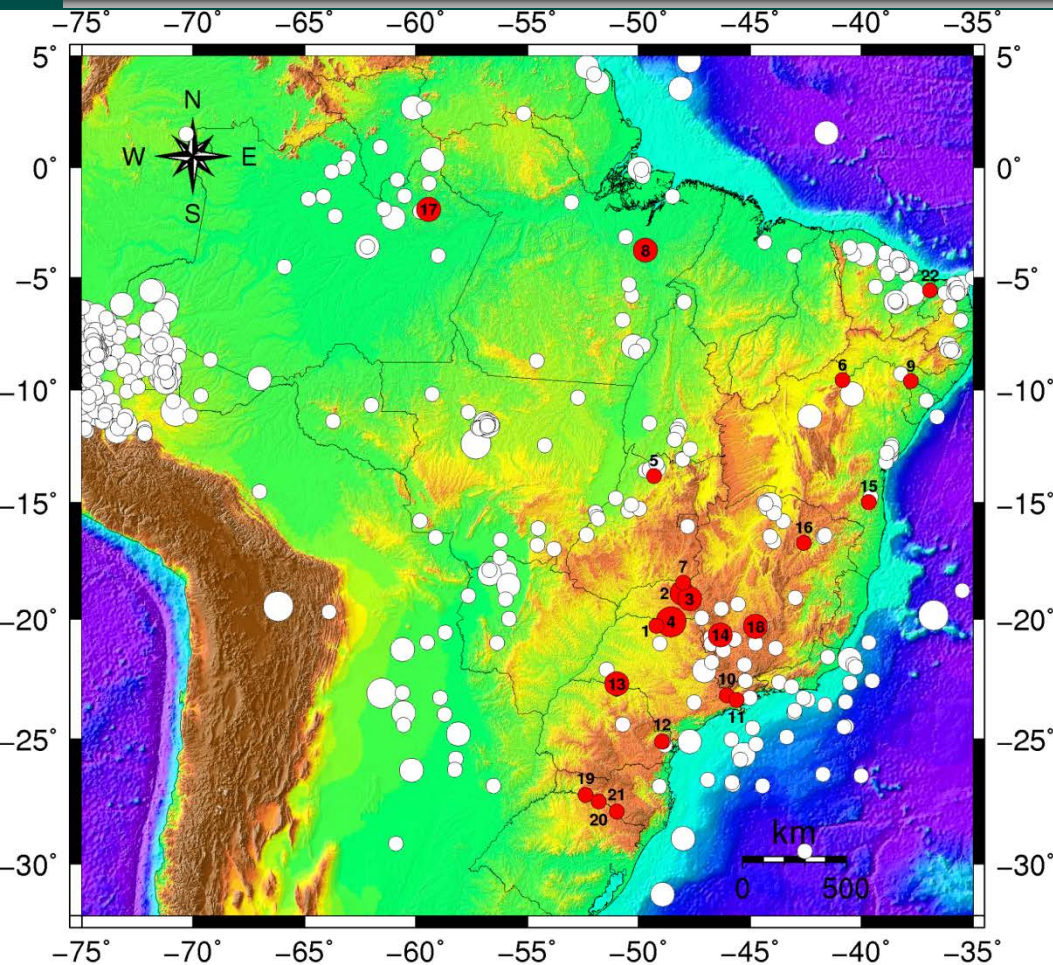


*Relação entre as magnitudes, volumes e alturas de reservatórios para os casos mais importantes de SIR no mundo.*



## A SIR no Brasil

- O interesse pela SIR no Brasil foi despertado após a ocorrência, em 1972, de um sismo de magnitude 3,7 (VI MM), no pequeno Reservatório de Carmo do Cajuru/MG.
- Entretanto, o marco no estudo da SIR foi estabelecido pelo sismo de 24/12/1974 ocorrido na região dos reservatórios de Porto Colômbia/MG e Volta Grande/SP. Foi a maior magnitude observada no Brasil (4,2 VII MM). A partir de então, iniciaram-se as pesquisas sobre SIR no Brasil por grupos da UnB, da USP e IPT e de companhias energéticas (CEMIG, ELETRONORTE, FURNAS, ITAIPU Binacional, CESP e ELETROSUL).
- A instrumentação sismográfica em áreas de barragens iniciou-se no reservatório de Carmo do Cajuru/MG, em 1975.



Reservatórios Sísmicos		Magnitude: Natural	
1-MARIMBONDO (MG/SP)	12-CAPIVARI-CACHOEIRA (PR)	○ 3,5 ≤ Mag ≤ 4,5	○ 4,6 ≤ Mag ≤ 5,5
2-MIRANDA (MG)	13-CAPIVARA (PR/SP)	○ 4,6 ≤ Mag ≤ 5,5	
3-NOVA PONTE (MG)	14-FURNAS	○ Mag ≥ 5,6	
4-PORTO COLÔMBIA & VOLTA GRANDE (MG/SP)	15-ITAPEBI		
5-SERRA DA MESA (GO)	16-IRAPÉ (MG)		
6-SOBRADINHO (BA)	17-BALBINA (AM)		
7-EMBORÇAÇÃO (MG/GO)	18-CARMO DO CAJURU (MG)	● 1,0 ≤ Mag ≤ 3,0	● 3,1 ≤ Mag ≤ 4,0
8-TUCURUÍ (PA)	19-ITÁ (SC)	● 3,1 ≤ Mag ≤ 4,0	
9-XINGÓ (SE/AL)	20-MACHADINHO (SC)	● Mag ≥ 4,1	
10-JAGUARI (SP)	21-BARRA GRANDE (SC-RS)		
11-PARAÍBUNA & PARAITINGA (SP)	22-AÇU (RN)		

## 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 e Tucuruí
- V-VI: Capivara

## Classificação da SIR

Resposta inicial: 13 casos (81,3%)

Resposta atrasada: 3 casos (18,7%)

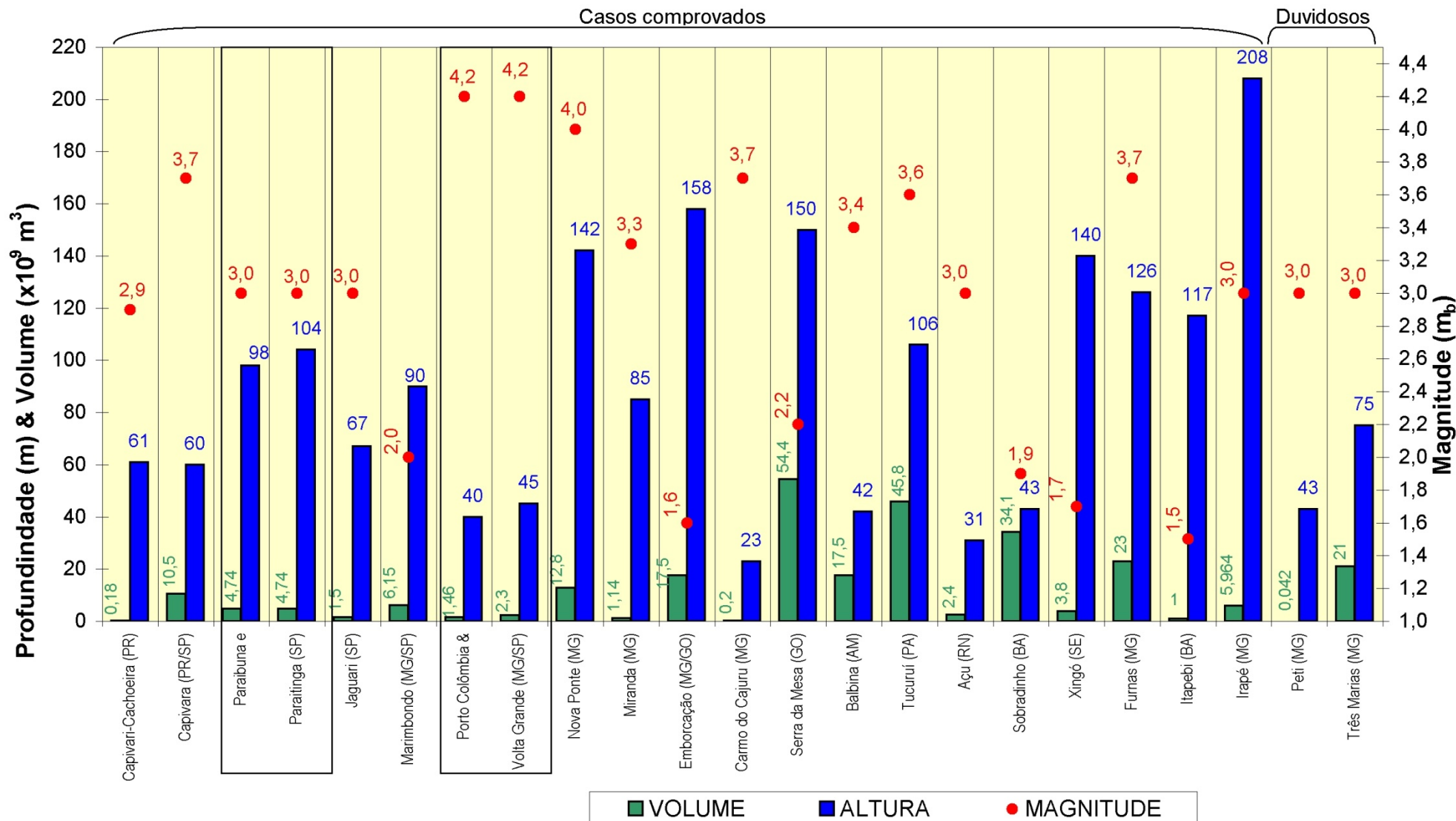
Casos com mais de um sismo principal:

- Tucuruí, 95 (3,5) e 98 (3,6);
- Nova Ponte, 95 (3,35) e 98 (4,0); e
- C. do Cajuru, 71 (3,5), 72 (3,7) e 76 (3,2)





### Casos de sismicidade induzida por reservatórios no Brasil





## Conclusão

- sismicidade baixa, mas não desprezível: magnitude 6 (7?) é raro, mas possível.
- distribuição não uniforme: afinamento da litosfera, outros fatores ainda desconhecidos.
- estudo das tensões é necessário para melhor definir regiões sísmicas .
- A sismologia ainda não consegue prever os terremotos e, mesmo se o fizesse, não poderia evitá-los. Eles podem acontecer a qualquer hora e lugar, sem mandar nenhum aviso. O melhor que se pode fazer é aprender a conviver com eles, identificando as possíveis fontes sismogênicas e seus potenciais sísmicos.



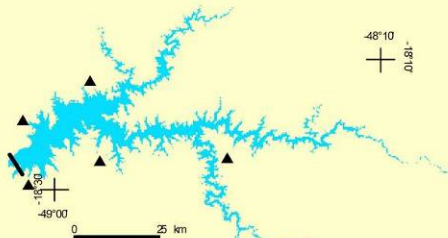
## ***Discussões e conclusões***

Os estudos de SIR no mundo nas últimas três décadas têm mostrado algumas particularidades:

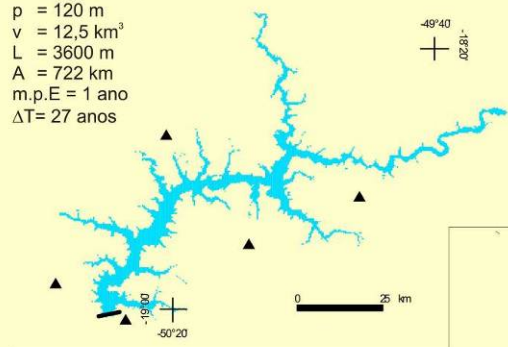
1. Somente uma pequena porcentagem de reservatórios induz SIR. A existência de dezenas de milhares de reservatórios em todo o mundo, que não têm causado nenhuma sismicidade observável, indica que a probabilidade do reservatório induzir sismicidade é muito baixa e, além disto, que condições muito especiais são necessárias para a ocorrência de SIR.
2. Os efeitos do reservatório (o peso da água e a pressão nos poros em profundidade) no campo de esforços tectônicos é pequeno, comparativamente com os esforços liberados por alguns grandes terremotos induzidos por reservatório. Isto implica que SIR somente pode ocorrer se a área já estiver submetida a esforços tectônicos quase críticos. Por esta razão, alguns autores preferem o termo Sismicidade Trigada, ao invés de Sismicidade Induzida, já que é necessário um esforço próximo do crítico para a ocorrência de tremores de terra.

**UHE - ITUMBIARA (FURNAS)**

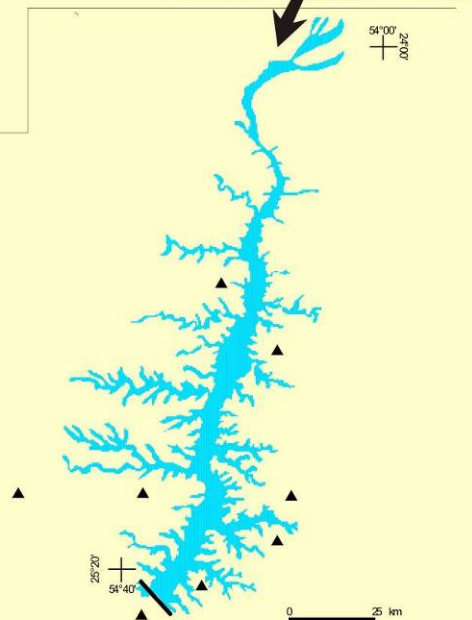
h = 124 m  
l = 6 km  
p = 95 m  
v = 17 km<sup>3</sup>  
L = 6.808 m  
A = 760 km<sup>2</sup>  
m.p.E = 1 ano  
 $\Delta T = 25$  anos

**UHE - SÃO SIMÃO (CEMIG)**

h = 128 m  
l = 3,6 km  
p = 120 m  
v = 12,5 km<sup>3</sup>  
L = 3600 m  
A = 722 km<sup>2</sup>  
m.p.E = 1 ano  
 $\Delta T = 27$  anos

**UHE - ITAIPU (ITAIPU Binacional)**

h = 196 m  
l = 7 km  
p = 180 m  
v = 29 km<sup>3</sup>  
L = 170 km  
A = 1350 km<sup>2</sup>  
m.p.E = 4 anos  
 $\Delta T = 21$  anos

**LEGENDA**

h = ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM  
l = COMPRIMENTO DA BARRAGEM  
p = PROFUNDIDADE MÁXIMA DO LAGO  
v = VOLUME DO RESERVATÓRIO  
A = ÁREA DO RESERVATÓRIO  
L = COMPRIMENTO DO RESERVATÓRIO  
m.p.E = MONITORAMENTO PRÉ-ENCHIMENTO (EM ANOS)  
 $\Delta T$  = TEMPO APÓS ENCHIMENTO

Três grandes reservatórios assísmicos no Brasil, todos localizados na Bacia do Paraná. As configurações das redes de monitoramento sismográfico apresentadas nesta Figura dizem respeito ao período logo após o enchimento dos reservatórios. Atualmente está diferente, por exemplo, o Reservatório de Itaipu Binacional conta atualmente com seis estações (modificado de Veloso e Assumpção, 1989).



3. *Um baixo nível de sismicidade natural não necessariamente implica em menor risco de SIR. A identificação de vários casos de SIR em regiões assísmicas mostra que existe uma pequena correlação entre a sismicidade natural e a probabilidade de um reservatório produzir sismicidade induzida.*
4. *É consenso que o máximo sismo induzido possível não pode exceder o máximo sismo natural possível na região.. No Brasil, a SIR de maior magnitude (4,2) ocorreu na província sísmica do sudeste, onde a maior magnitude natural já observada foi de 5,1  $m_b$ .*
5. *O aspecto principal do mecanismo da SIR envolve a perturbação dos esforços em profundidade, causado pelo peso do reservatório e pela difusão da pressão intersticial. Estudos têm mostrado que os fatores controladores deste processo são os esforços tectônicos preexistentes e a pressão nos poros, a permeabilidade das rochas e o sistema de fraturas, a orientação relativa entre o esforço tectônico e o sistema de falha.*



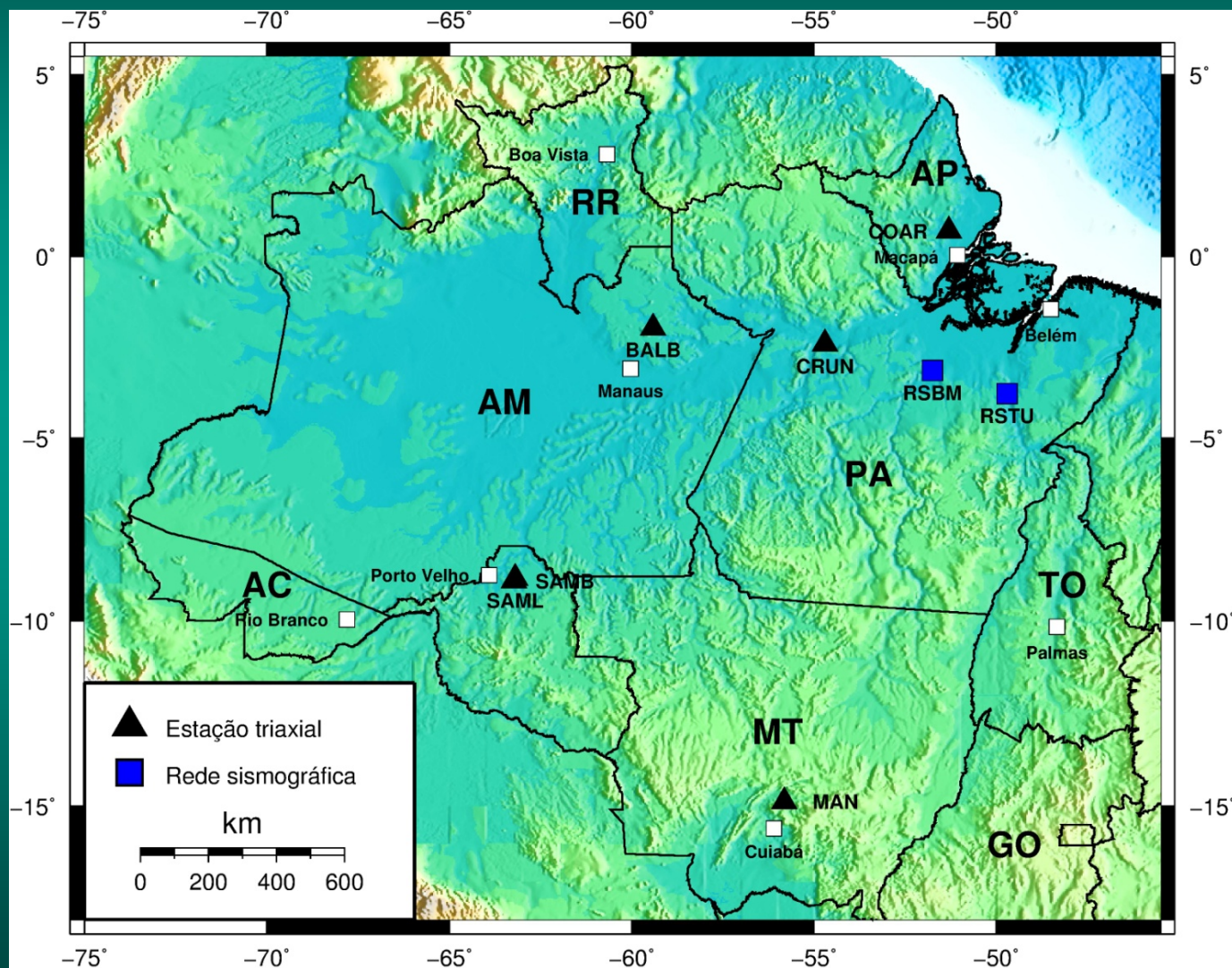
6. *Devido à falta de homogeneidade das propriedades das rochas abaixo de um reservatório (permeabilidade, o sistema de fraturas e o campo de esforço), a SIR pode apresentar padrões temporal e espacial complexos, em resposta à história do enchimento do reservatório. P.E, migração da sismicidade.*
7. *A despeito do progresso obtido em explicar a SIR, ainda não é possível prever a ocorrência de SIR em futuros reservatórios,*
6. Devido à falta de homogeneidade das propriedades das rochas abaixo de um reservatório (permeabilidade, o sistema de fraturas e o campo de esforço), a SIR pode apresentar padrões temporal e espacial complexos, em resposta à história do enchimento do reservatório. Por exemplo, migração da atividade sísmica reservatório.
7. A despeito do progresso obtido em explicar a SIR, ainda não é possível prever a ocorrência de sismicidade induzida em futuros reservatórios



8. *No Brasil, felizmente, os sismos até agora registrados atingiram magnitudes reduzidas e as acelerações alcançadas não foram suficientes para produzir nenhum dano às estruturas das barragens, embora suas intensidades máximas já tenham atingido os valores de acelerações máximas estabelecidas em sismos de projetos, como é o caso daqueles sismos que produziram  $I_0 = VI$  (MM).*
  
9. *A SIR no Brasil tem a particularidade que, apesar de estar associada, em muitos casos ( 50%), com reservatórios de baixa profundidade ( $h < 50$  m) ou pequeno volume ( $\sim 0,2$  km<sup>3</sup>), a respectiva SIR é bastante expressiva (mag.  $\geq 3$ ) ou, pelo contrário, alguns reservatórios grandes ( $h > 100$  m ou  $v > 1$  km<sup>3</sup>) tem uma SIR inexpressiva (mag.  $\leq 2$ ).*

# Rede sismografica da ELETRONORTE

1. Reservatório de TUCURUI  
4 est. sísmicas + 1 reserva  
4 est. acelerográficas
2. Reservatório de Belo Monte  
3 est. sísmicas + 1 reserva
3. Reservatório de Balbina  
1 sísmica + 1 reserva
4. Reservatório de Samuel  
1 est + est. IRIS + 1 reserva
5. Reservatório de C. Nunes  
1 est. Sísmica + 1 reserva
6. Reservatório Curuauna  
1 est. + 1 reserva





## Reservatório de Tucuruí

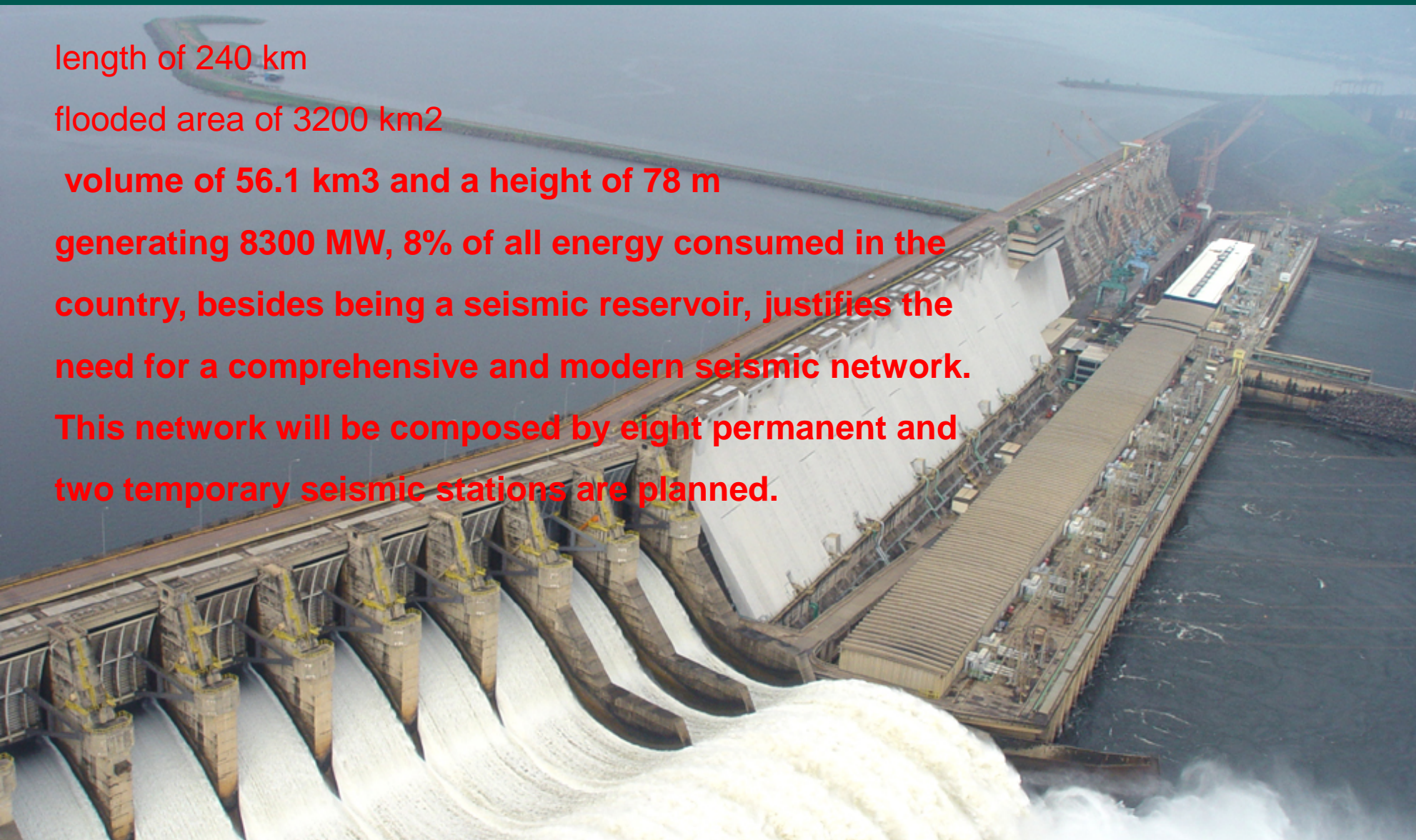
length of 240 km

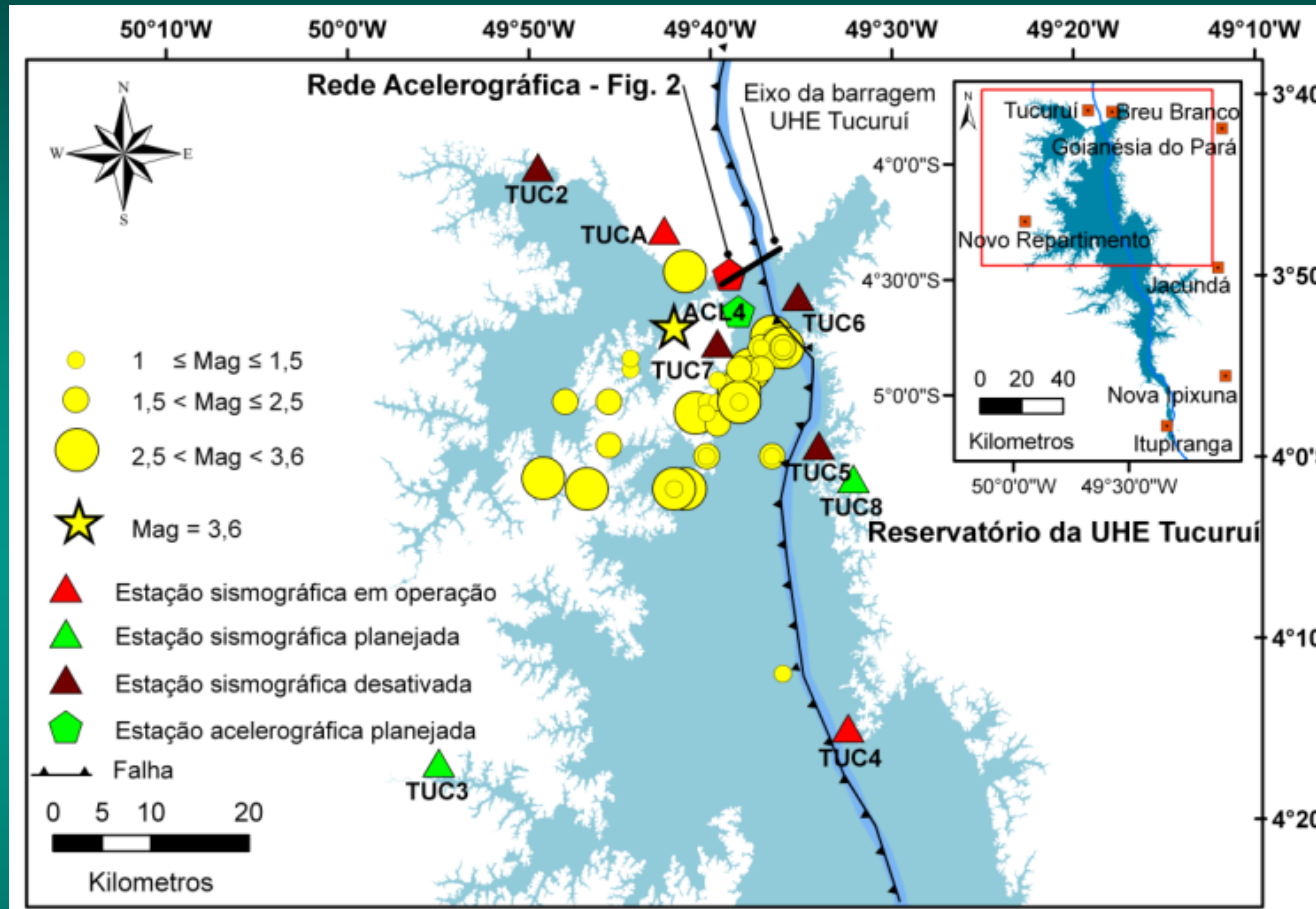
flooded area of 3200 km<sup>2</sup>

volume of 56.1 km<sup>3</sup> and a height of 78 m

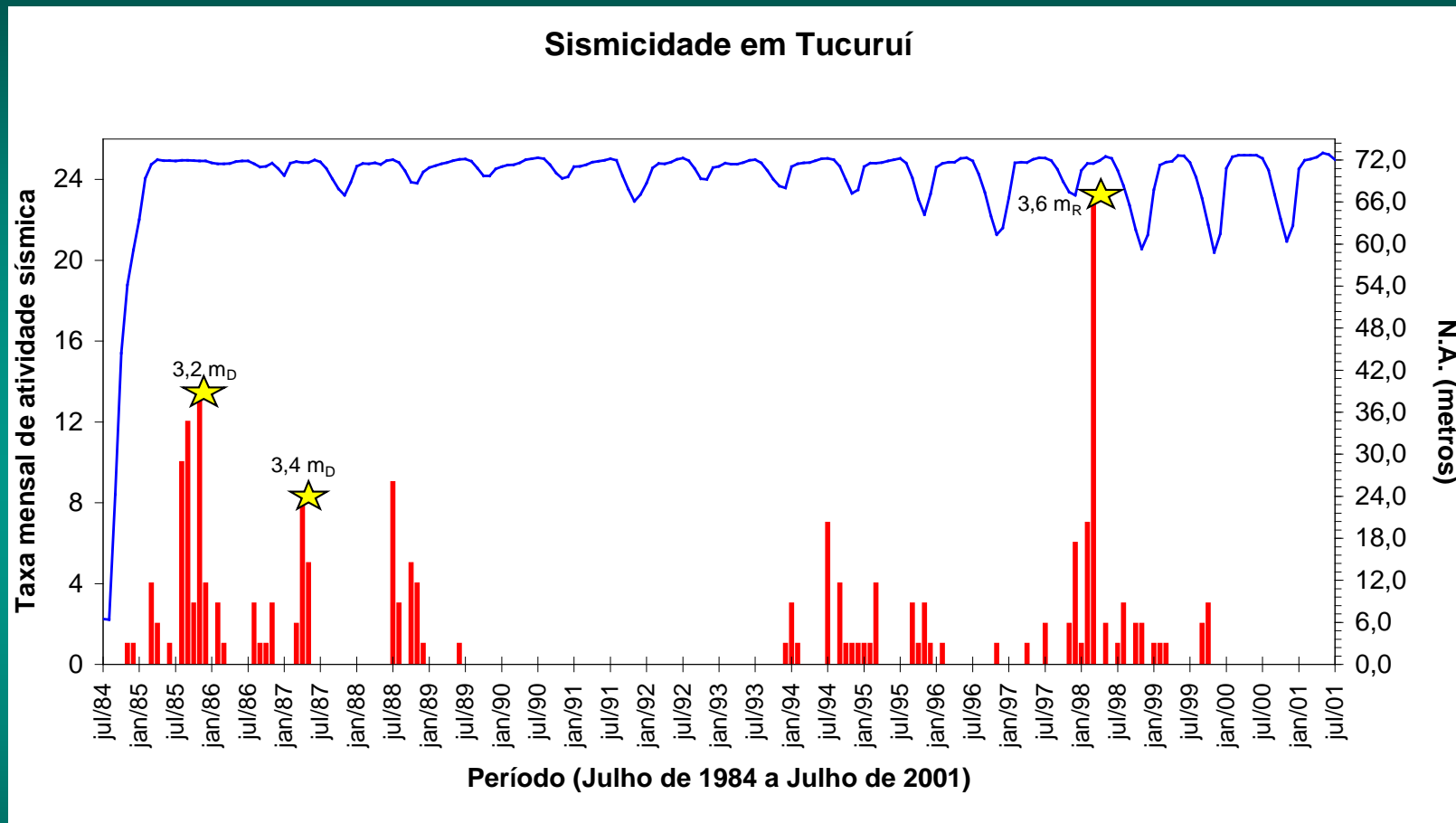
generating 8300 MW, 8% of all energy consumed in the country, besides being a seismic reservoir, justifies the need for a comprehensive and modern seismic network.

This network will be composed by eight permanent and two temporary seismic stations are planned.

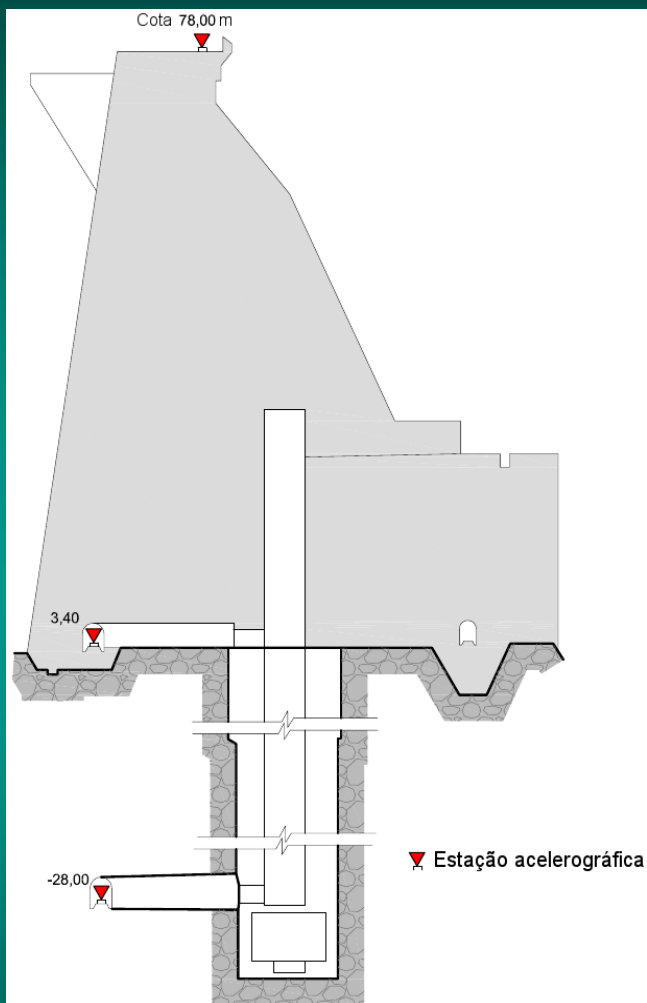




*Tucuruí Reservoir, with the epicentral distribution of the induced earthquakes and location of seismic and accelerograph stations. Installed (in red), disabled (brown) and planned (green). The seismic stations TUC3 and TUC8 and the accelerograph ACL4 are planned to be installed later this semester. The installation points of the accelerograph network stations installed on the dam axis are shown in Figure 2.*



*Temporal evolution of the induced seismicity observed in the Tucuruí Reservoir from 1984 to 2001. After 2001 only few micro events were detected.*



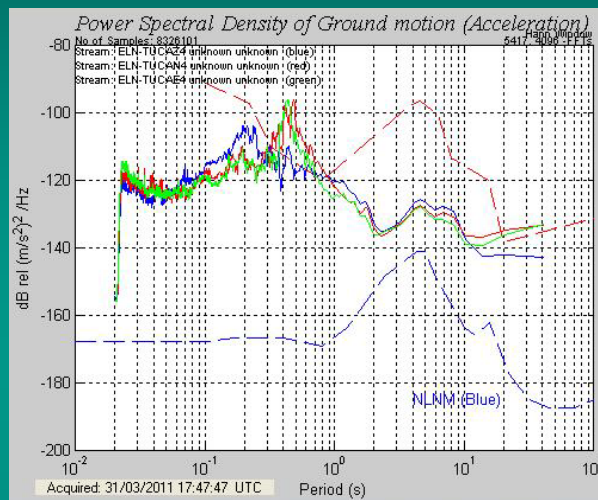
*Positions of accelerograph stations (red triangles) installed on the dam axis, block BG1. Accelerograph station 3 (ACL3), on the dam top, at quota of 78 m, accelerograph station 2 (ACL2) at the dam base, at quota of 3.4 m, accelerograph station 1 (ACL1) in the drainage tunnel in quota -28 m*



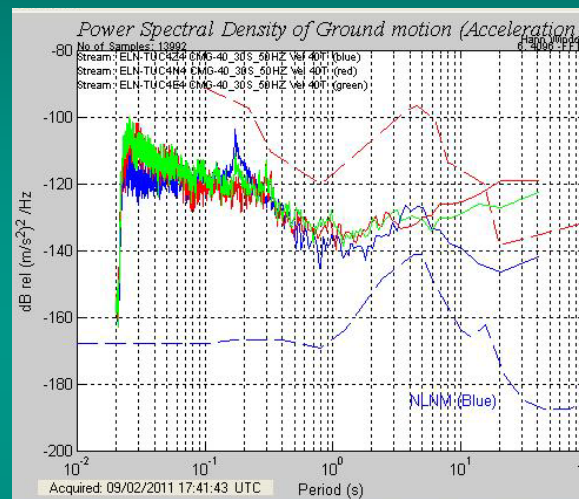
*View of the instruments and seismometer shelters of TUCA station (top left photo). Seismometer shelter internally lined by styrofoam plates (picture above, on the right) and seismometer pit covered with fine sand (bottom photo). The latter was covered with tile.*



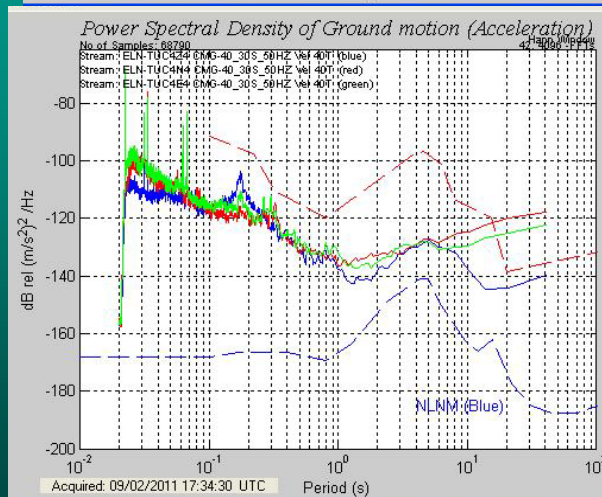
Acceleration power density spectra  $[(dB \text{ rel}(m/s^2)^2/Hz \times \text{period (s)})]$  determined for the sites of seismic stations TUCA (E), TUC3 (F), TUC4 (G) and TUC 8 (H).. The blue and red lines are Peterson (1993) references model for the NLNM and NHNM, respectively. Green, red and blue lines are the traces for the movements in the V, E-W and N -S directions, respectively.



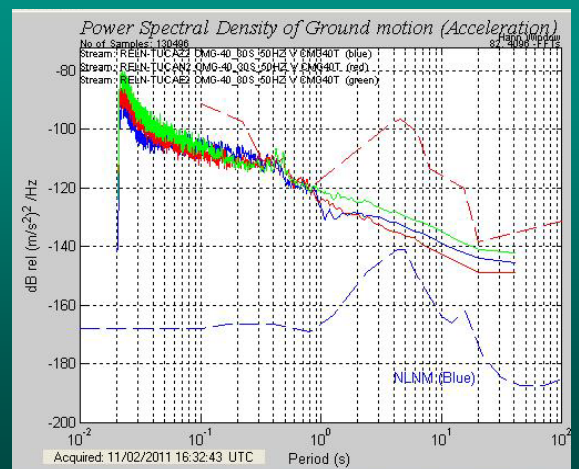
E



F



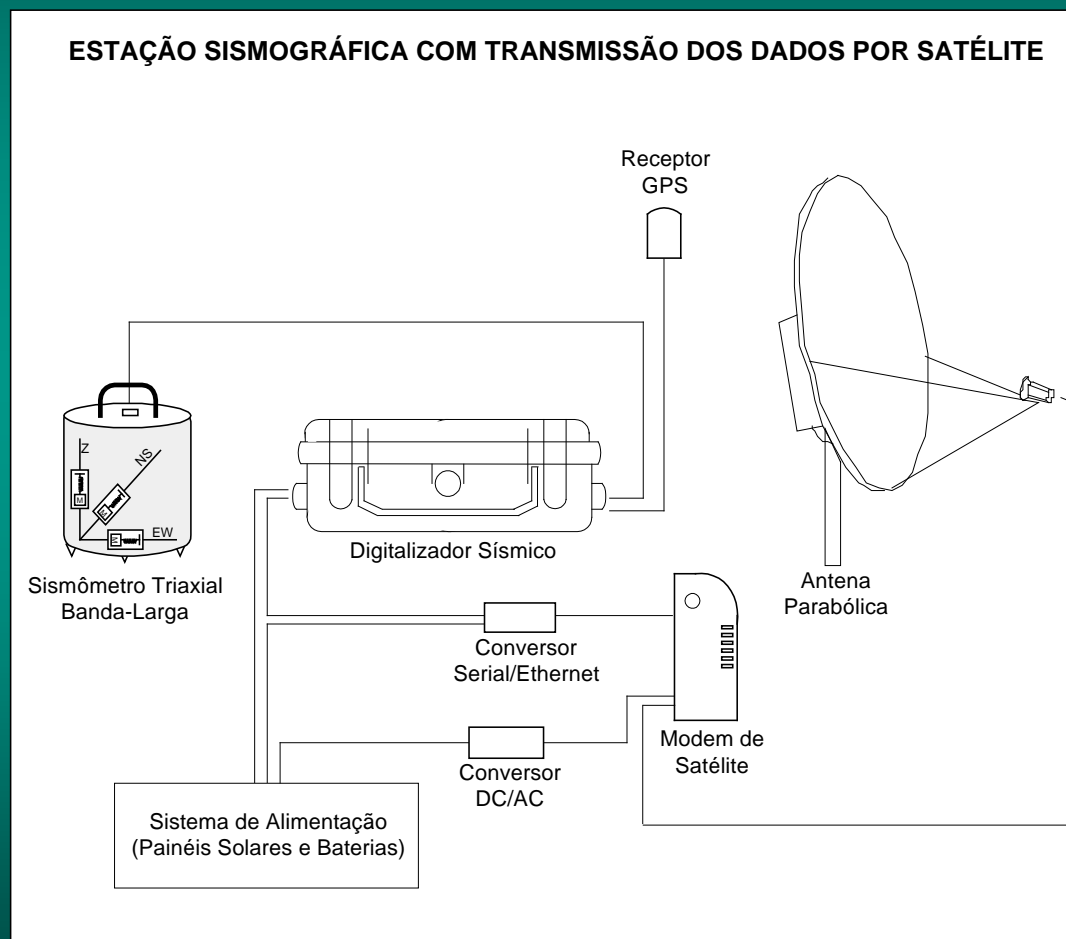
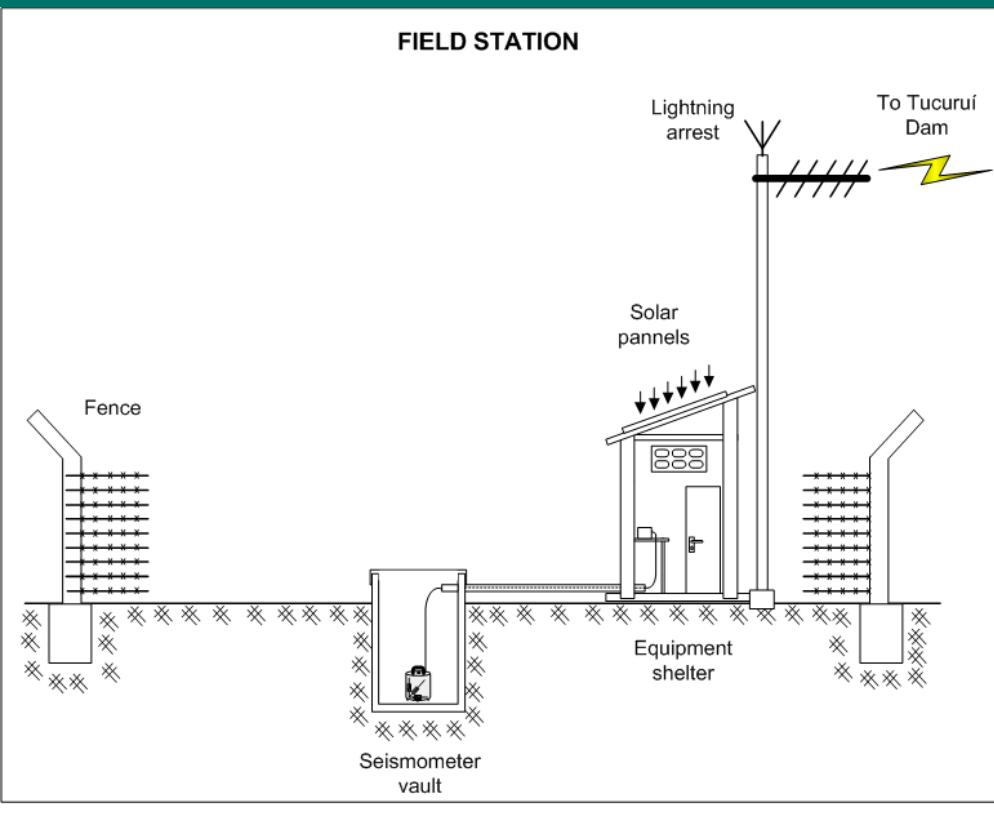
G



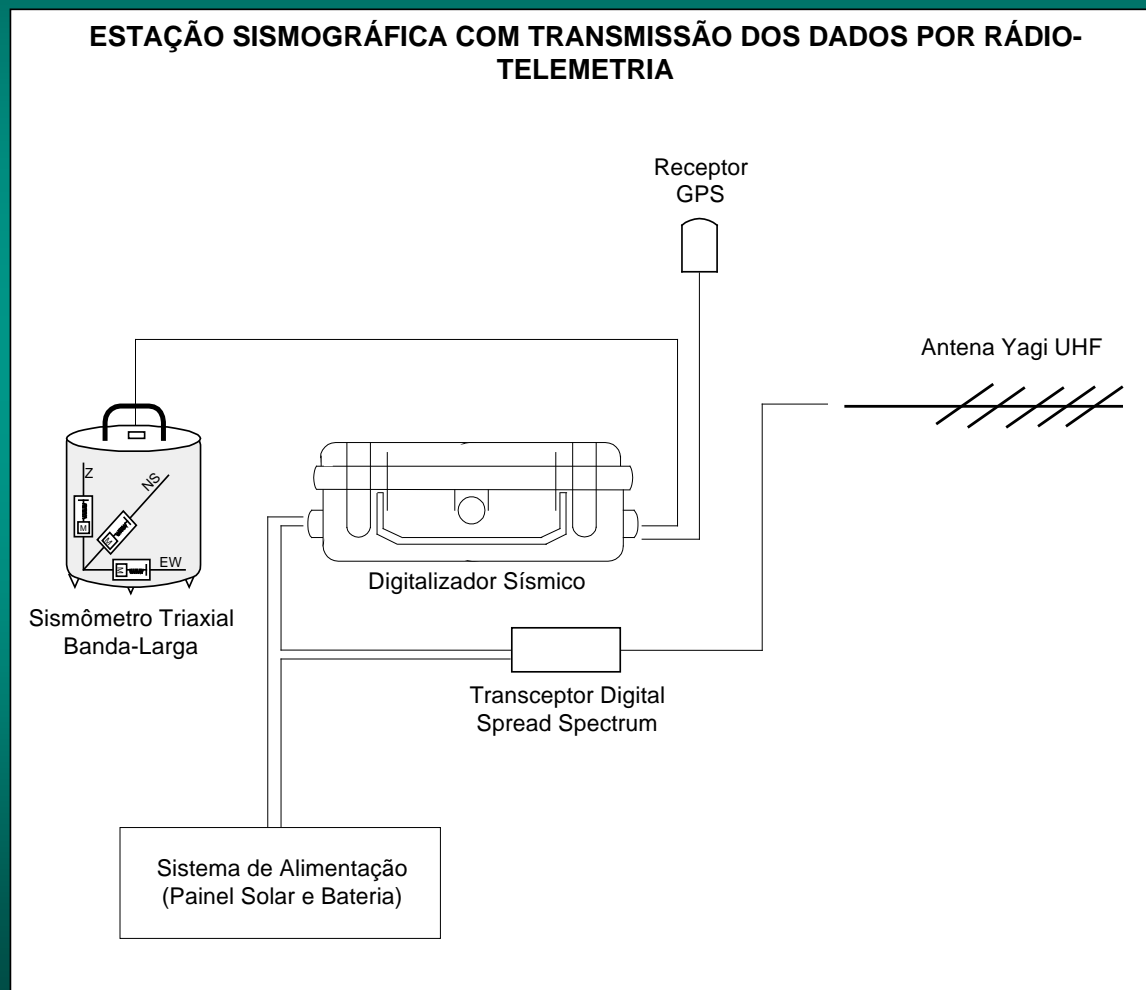
H



# Estação remota: dados adquiridos e transmitidos digitalmente por satélite para Brasília



Estação remota: dados adquiridos e transmitidos digitalmente para uma central e depois por link de fibras óticas para Brasília

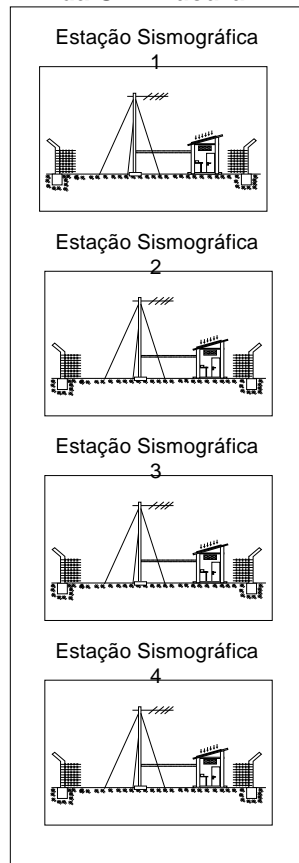




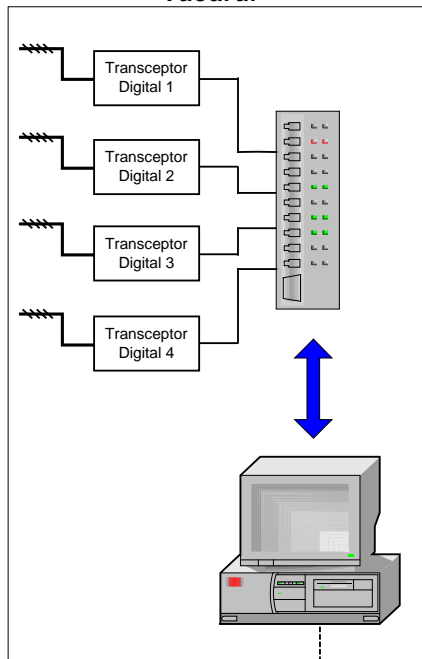


### REDE SISMOGRÁFICA DA UHE TUCURUÍ/PA

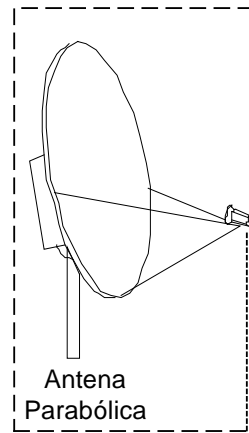
#### Estações Sismográficas da UHE Tucuruí



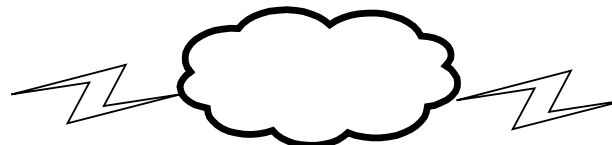
#### Central de Recepção da UHE Tucuruí



Acesso à Internet por Satélite (opcional)

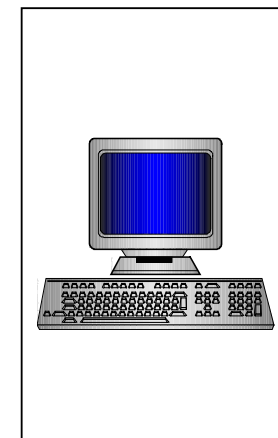


Internet



Transmissão dos Dados pela Internet

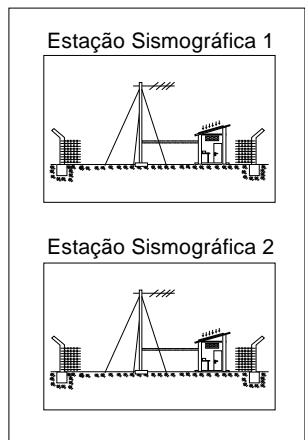
Central de Recepção e Registro do SIS/UnB



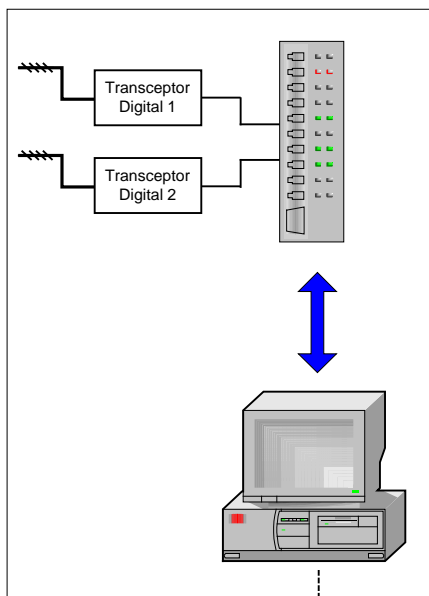


### REDE SIMOGRÁFICA DA UHE BALBINA/AM

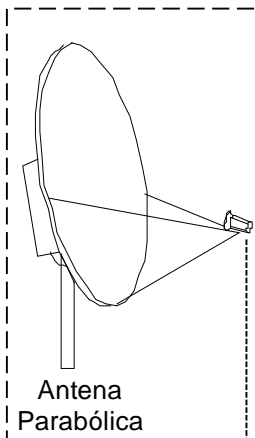
#### Estações Sismográficas da UHE Balbina



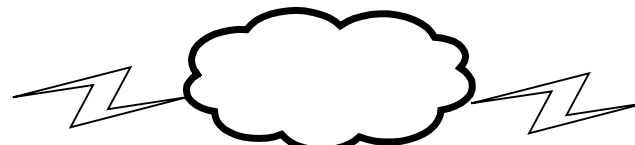
#### Central de Recepção da UHE Balbina



Acesso à Internet por Satélite (opcional)

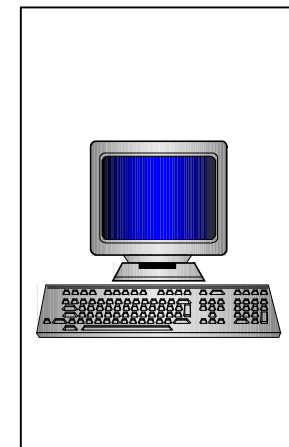


Internet

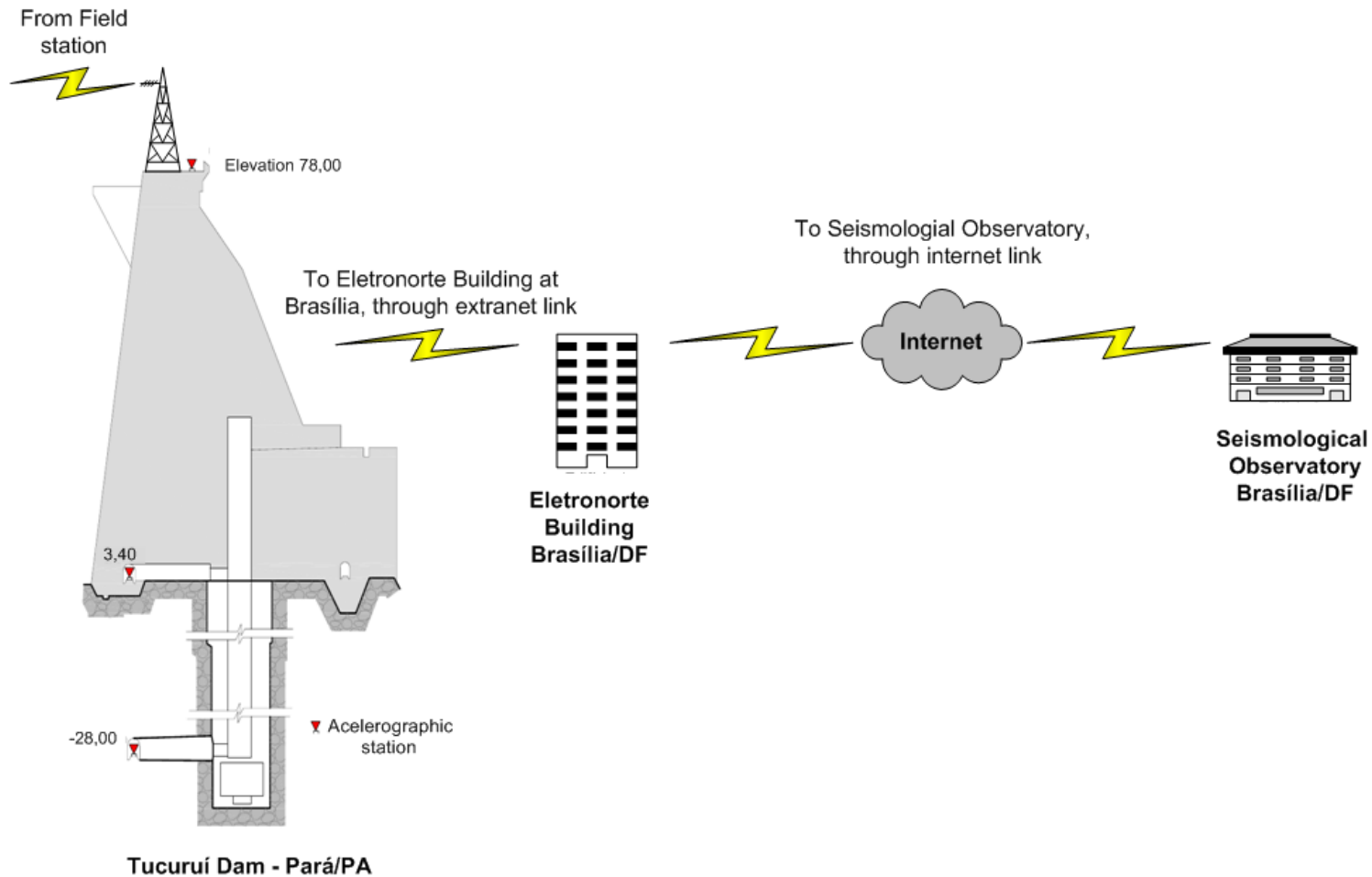


Transmissão dos Dados pela Internet

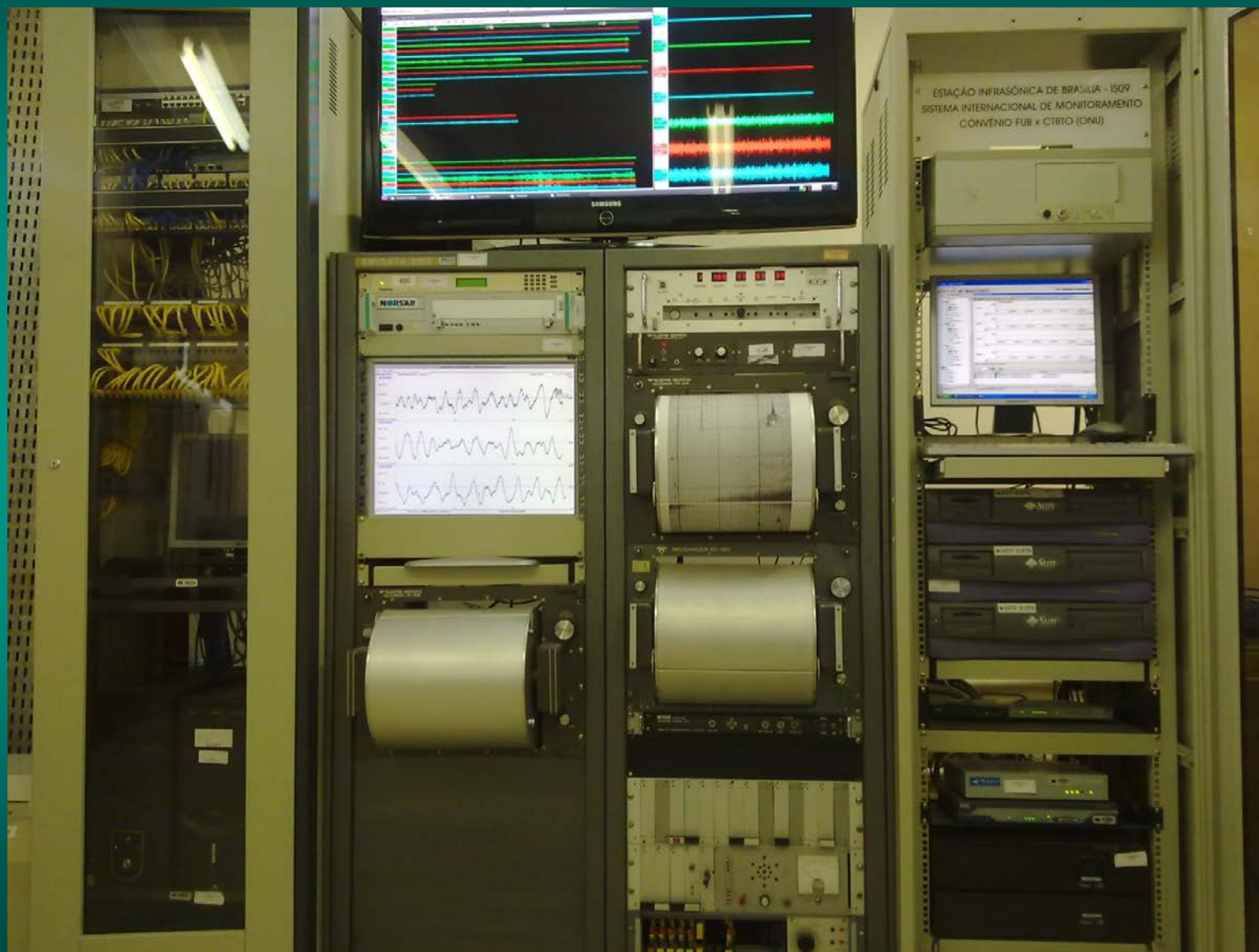
#### Central de Recepção e Registro do SIS/UnB



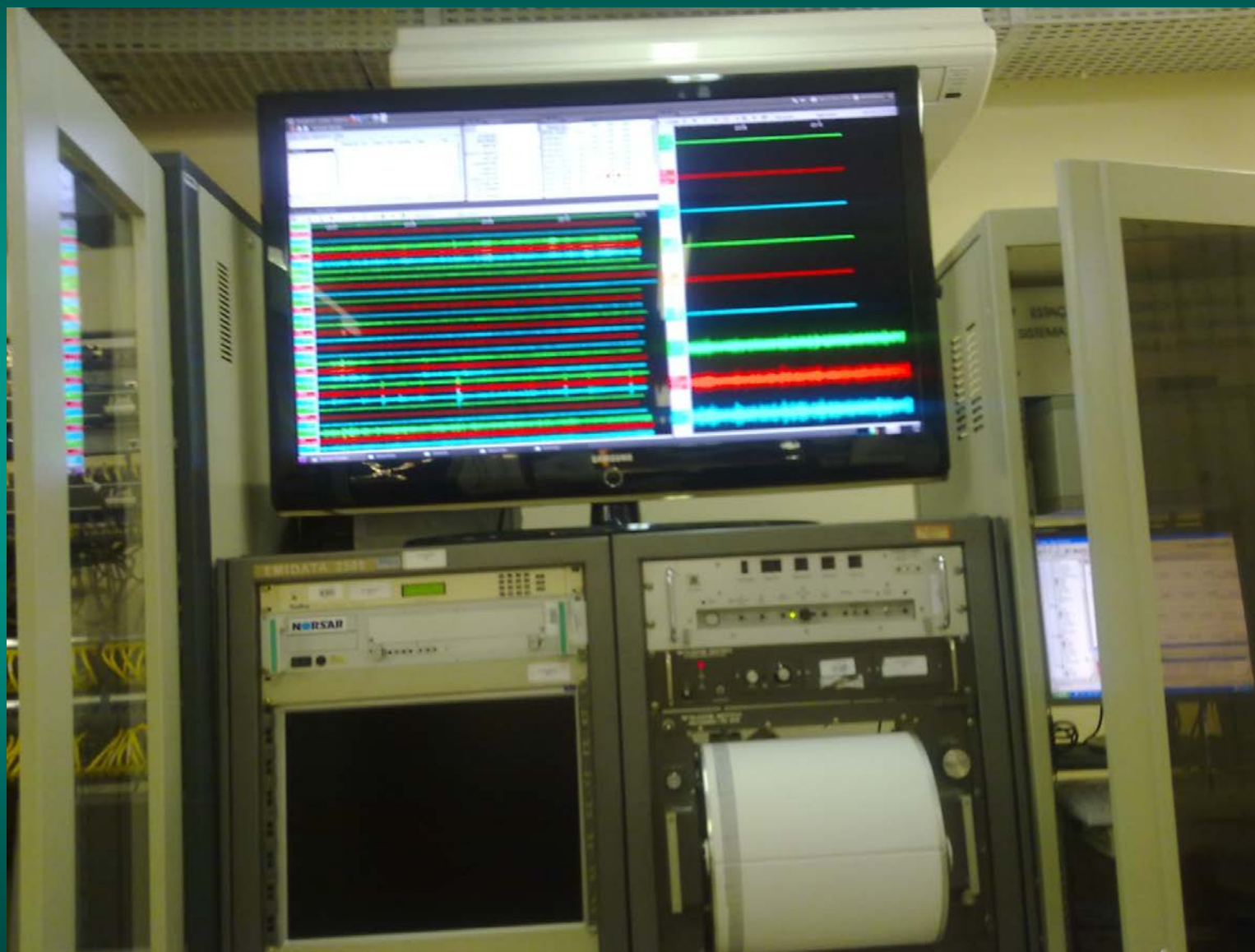
### SEISMIC DATA TRANSMISSION SCHEME



## Recepção dos dados (tempo real) no Observatório Sismológico da UNB



## Recepção dos dados em tempo real no Observatório Sismológico UNB

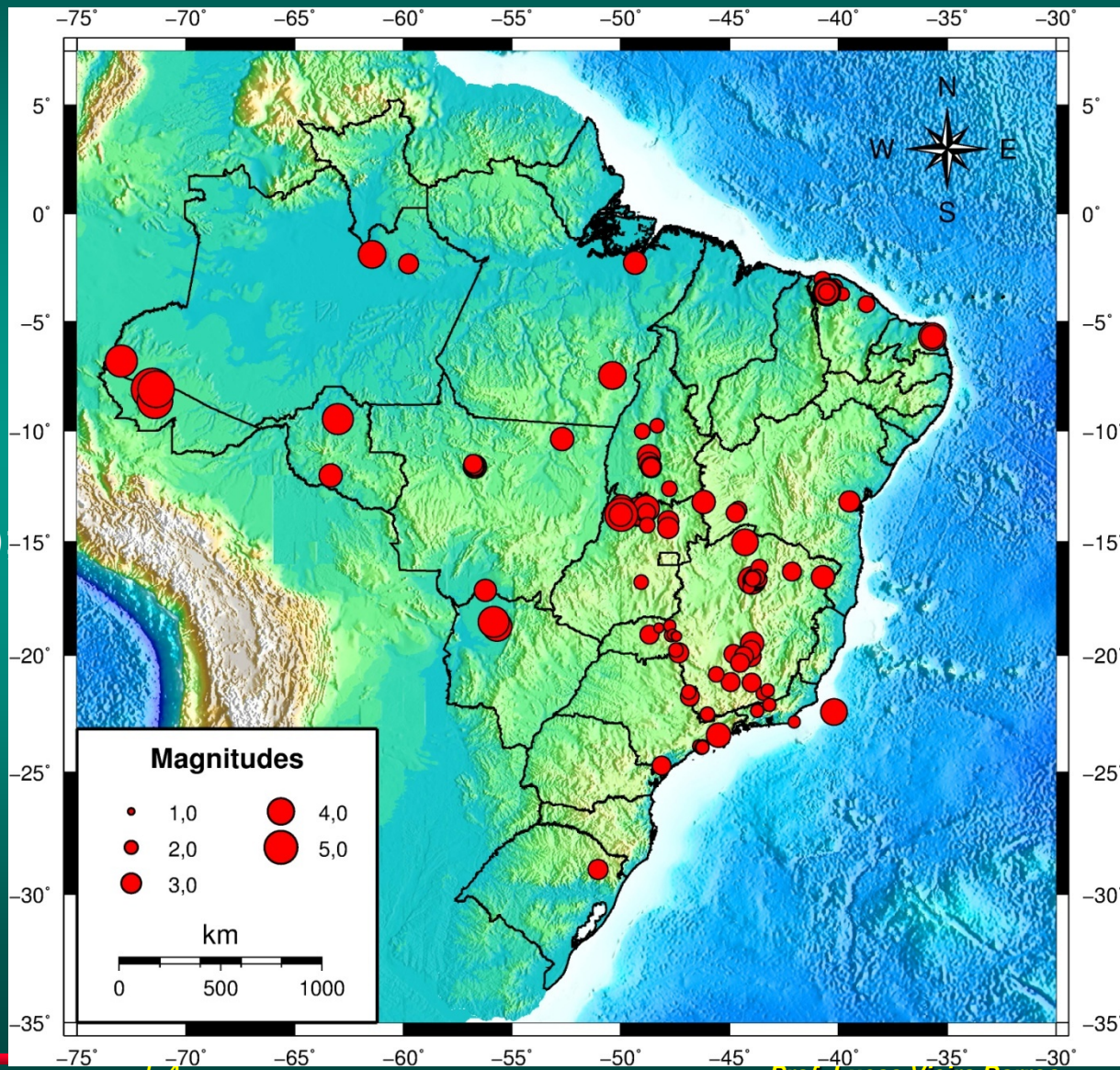


## Sismicidade recente: últimos seis anos

### Observação:

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

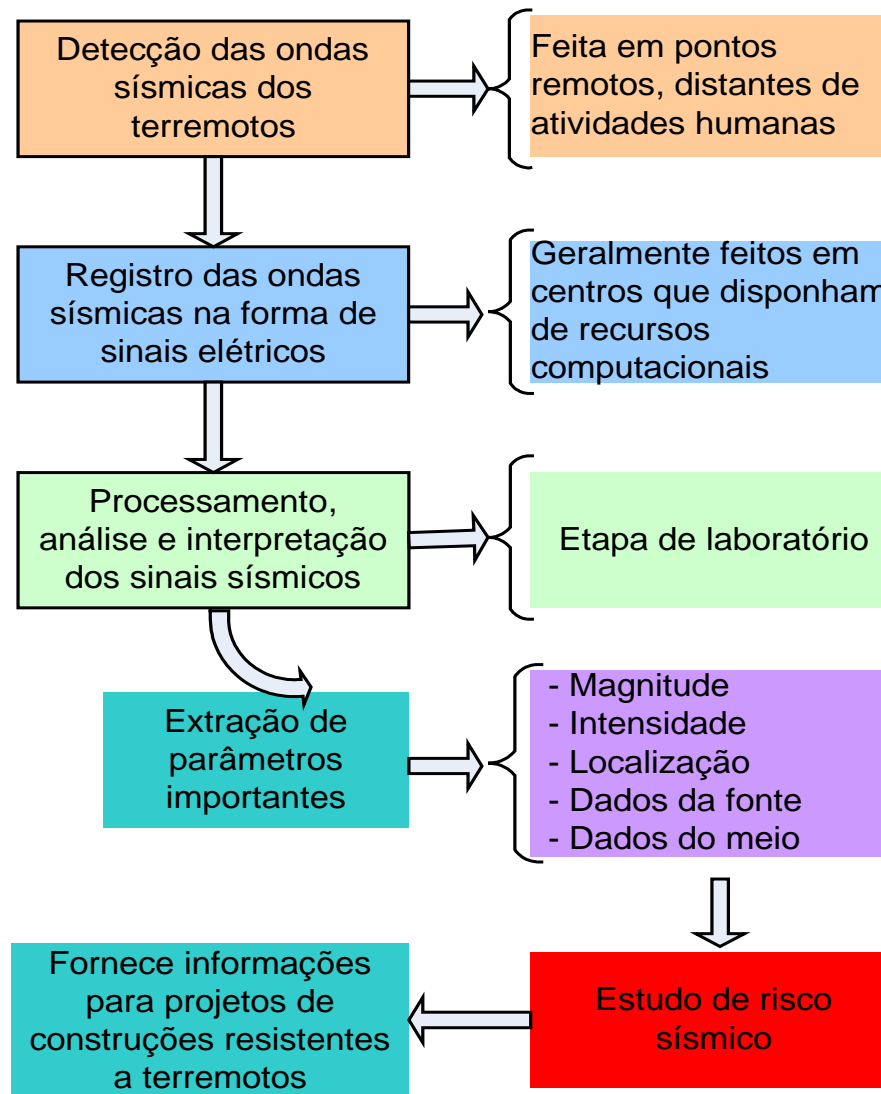
1. C. do Sul/AC: 6.5 e 5.0 24/5/10 ;
2. São Vicente/SP: 5.2 (23/4/08);
3. Mara Rosa/GO: 5.0 e 4.0 (08/10/10)
4. Coxim/MS: 4.9 (15/06/09);
5. 5. Montes Claros 4.2





A informação do risco sísmico como a síntese do conhecimento sismológico.

### SEQÜÊNCIA DE PROCEDIMENTOS ADOTADOS NO ESTUDO DE TERREMOTOS





***Muito obrigado!!!***





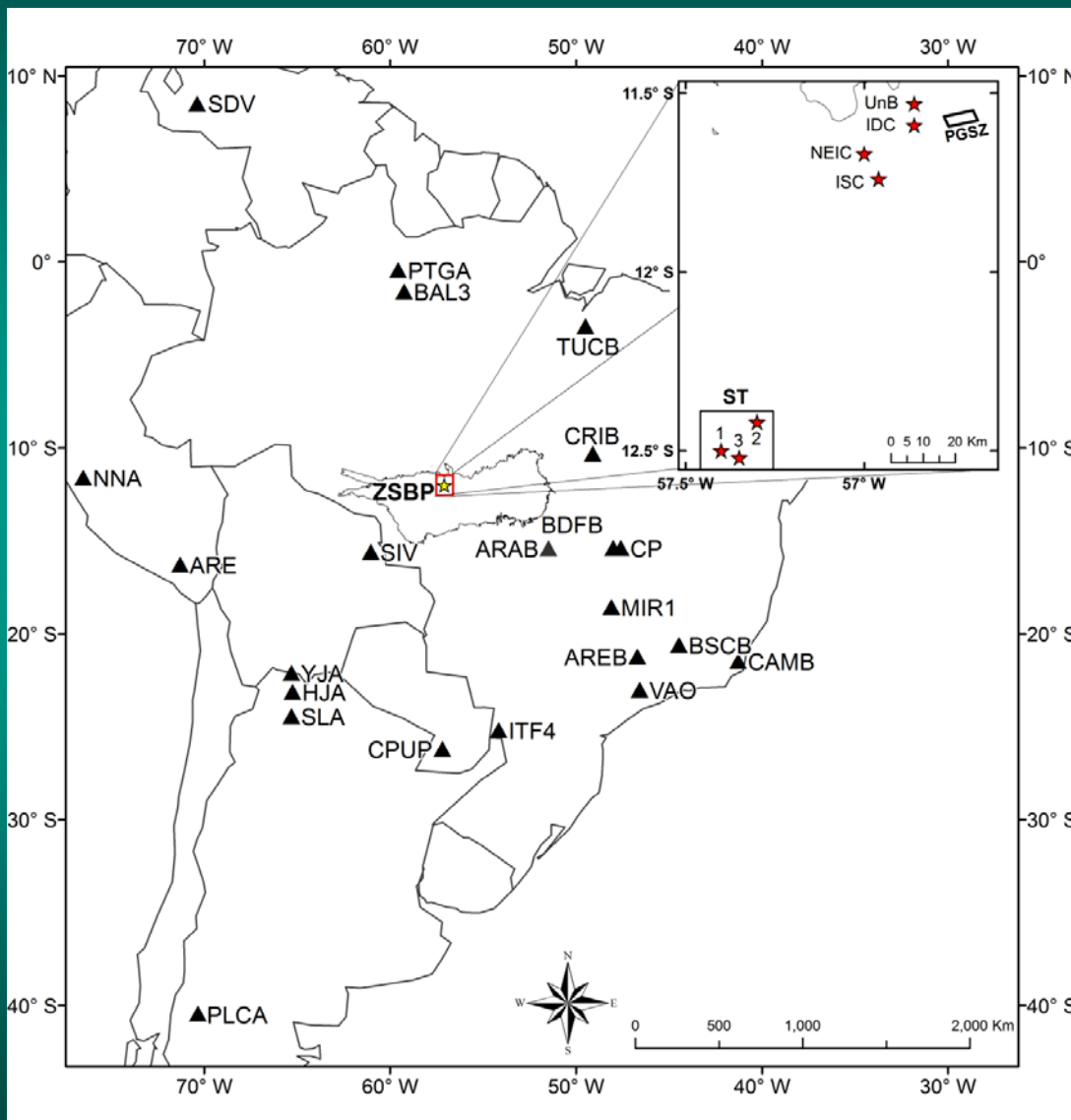
## Agradecimentos

Agradecemos a ELETRONORTE pelos longos anos de parceria no estudo da sismicidade brasileira, particularmente a sismicidade da Amazônia.

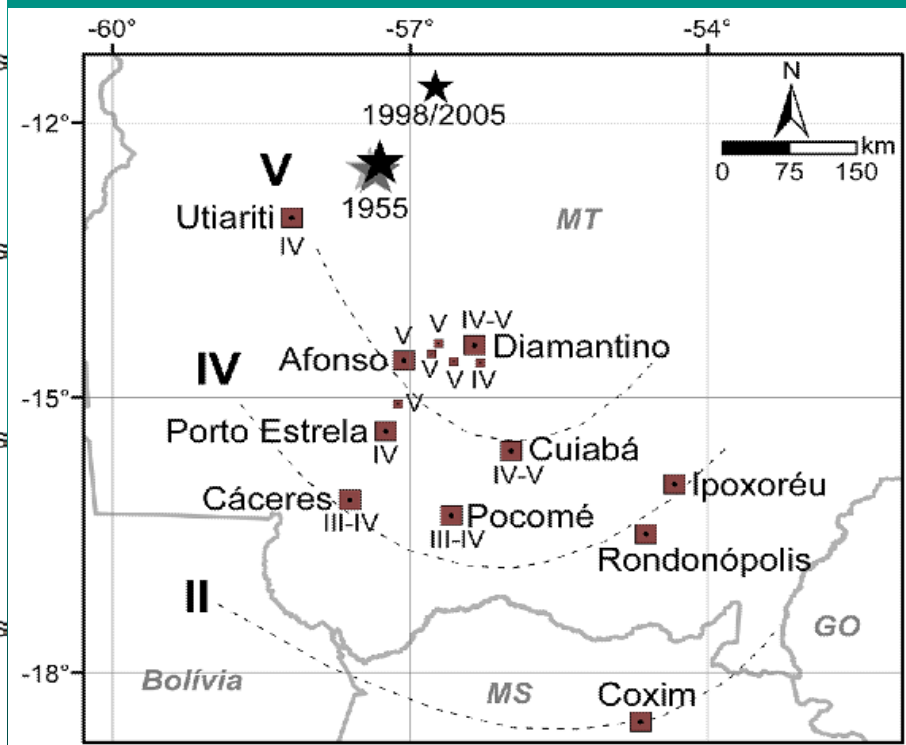
Ao engenheiro Carlos Nascimento, pela compreensão da importância do monitoramento sismológico de reservatórios. Durante a sua gestão como diretor presidente decidiu pela modernização da rede da Eletronorte, adquirindo 22 novas estações triaxiais digitais.



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

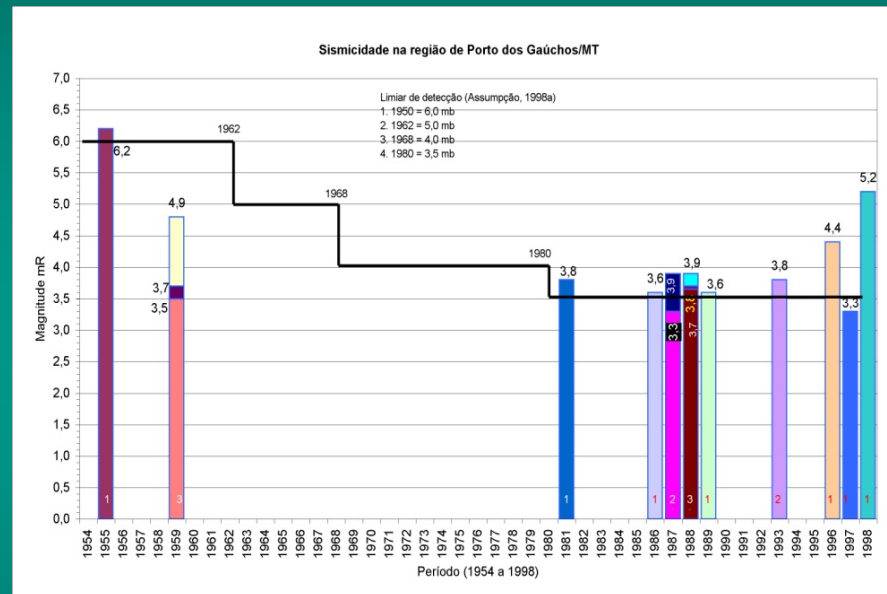
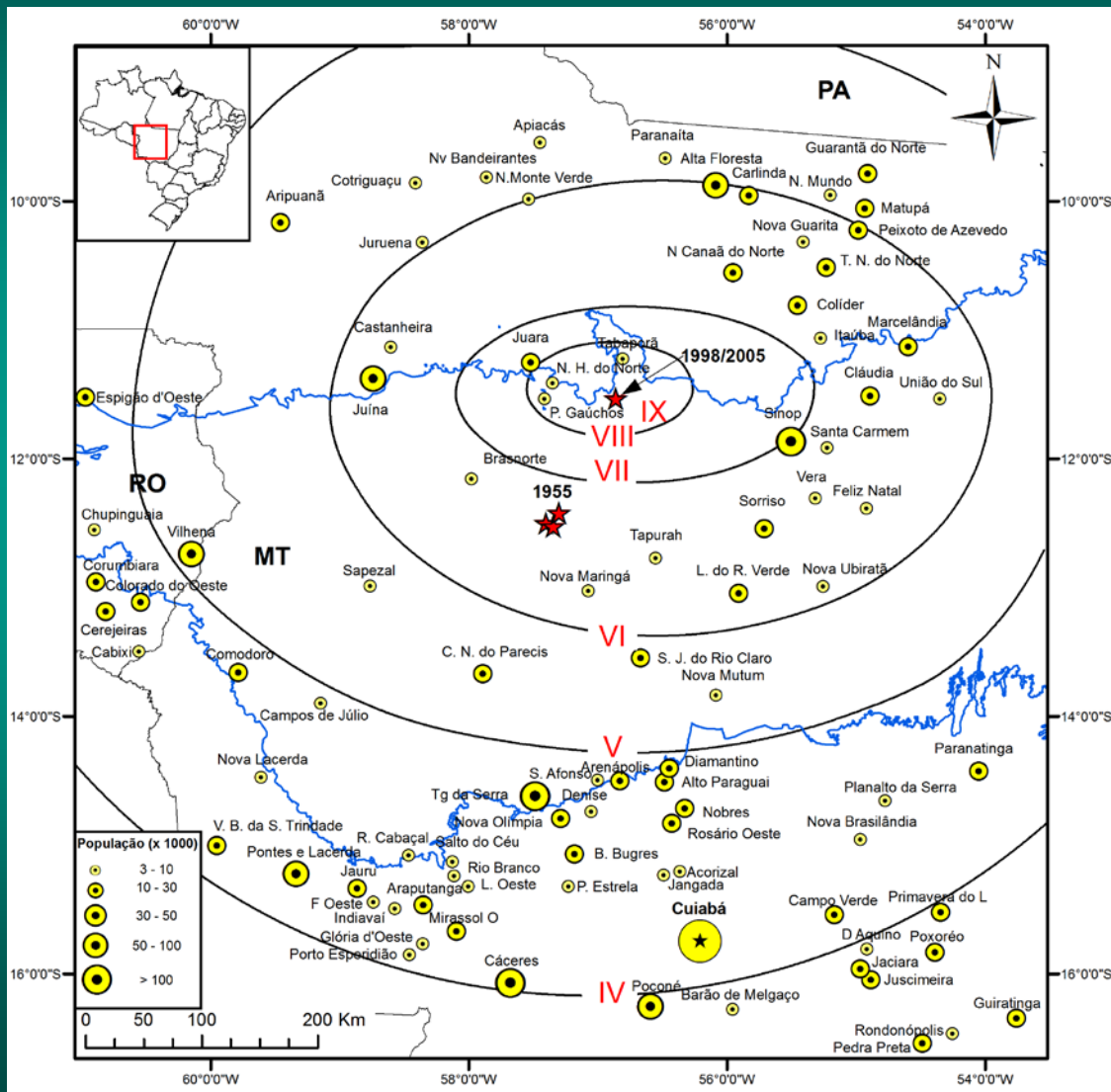


Mapa macrossísmico do terremoto de 31/01/1955 (6.2 mb).





# Sismicidade recente: Centro-norte de Mato Grosso. Cenário de possíveis intensidades (MM) para um sismo de magnitude 6,2-6,5 com epicentro em Porto dos Gaúchos



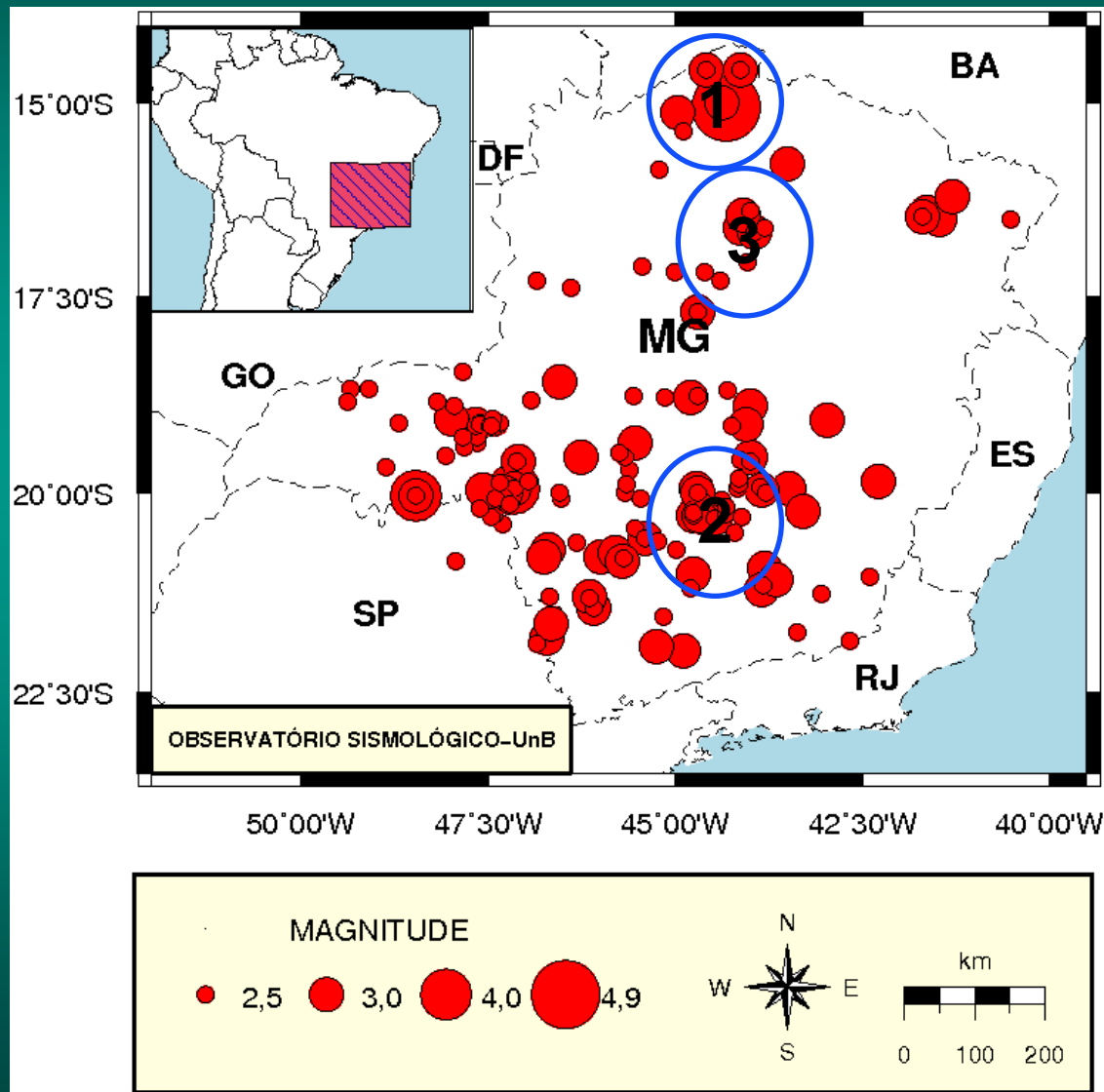
7000 sismos entre 03/1998 e 08/2008.

Serra do Tombador - nenhum sismo em todo o período.



## Sismicidade recente em Minas Gerais

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













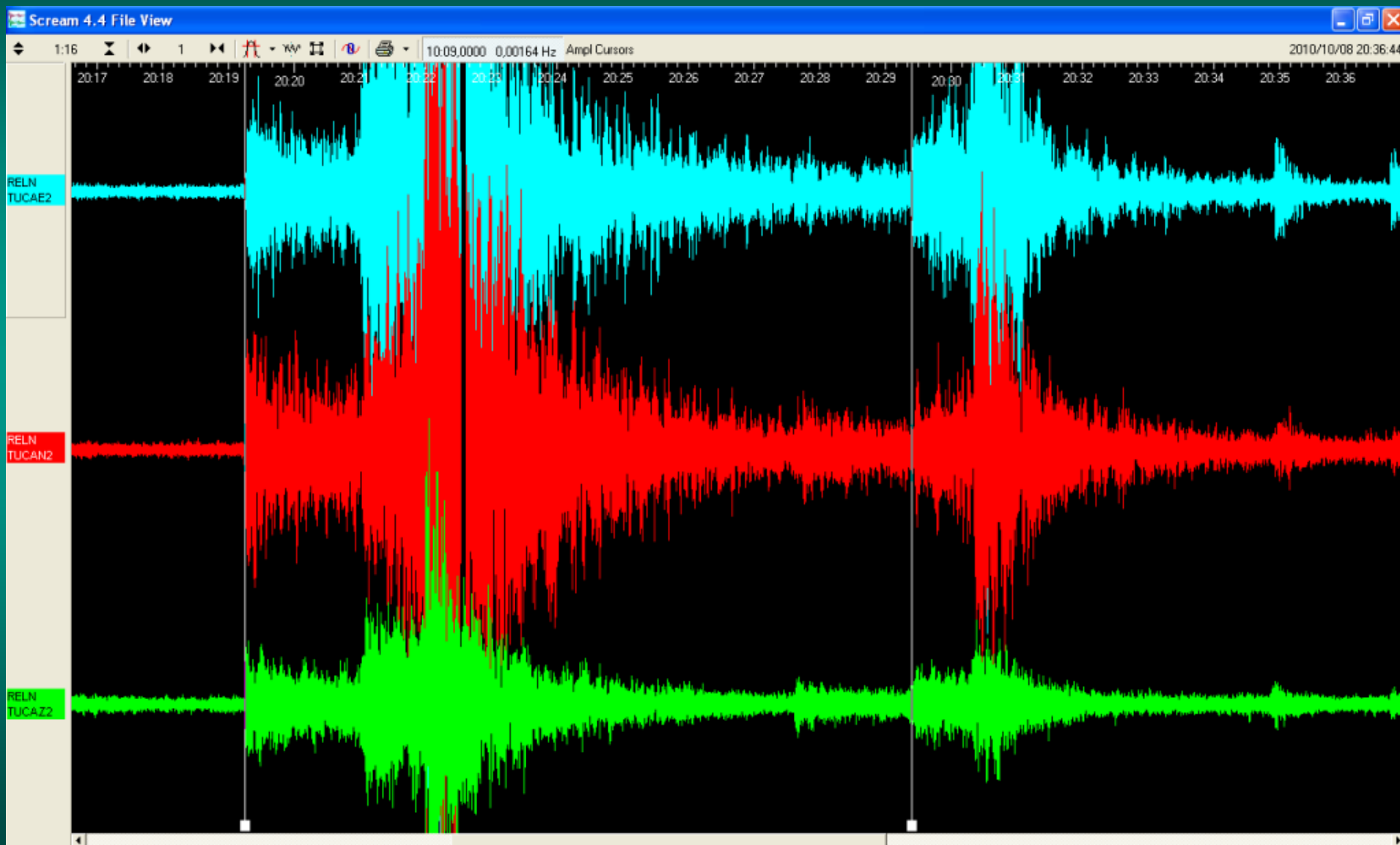


ARTES





# Sismicidade recente: Mara Rosa/GO – 5.0 e MMI VI





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.

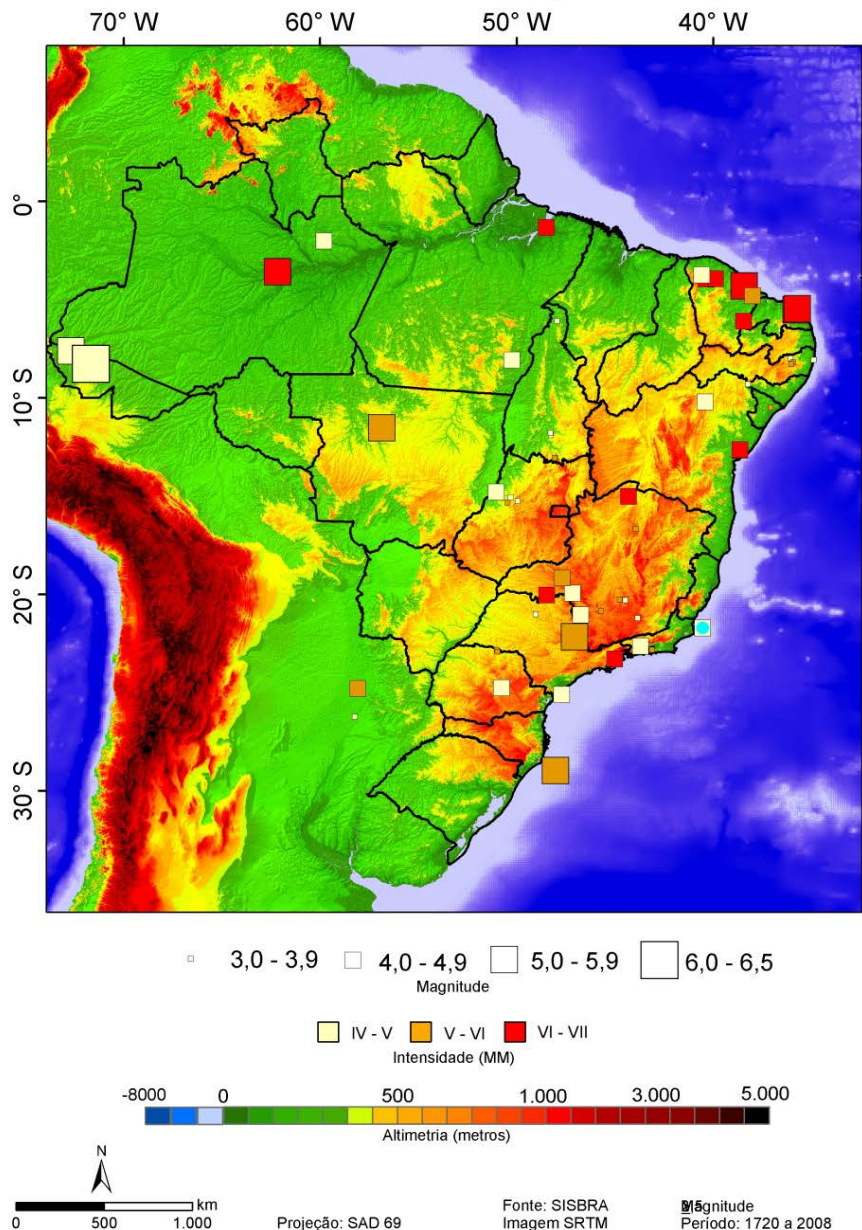


Efeitos do sismo de Mara Rosa: destelhamento em fazendas próximas ao epicentro.





## MAPA DE INTENSIDADES (I0 &gt; IV MM)



1. Pequenos sismos com intensidades VI-VII;
2. Grandes e moderados sismos com baixa intensidades;
3. Intensidades observadas quando das ocorrências sísmicas. Hoje, os cenários são diferentes. Por exemplo, para o terremoto da Serra do Tombador foram inferidas:
  1. Berrocal et al, 2004 (I<sub>0</sub> = IX);
  2. Johnston, 1989 (I<sub>0</sub> = VIII);
4. O Terremoto da Serra do Tombador, de 1955, produziu em Cuiabá MMI = IV-V. Mas se esse terremoto tiver sido na PGSZ, teremos, com a sua repetição, um cenário perigoso nas novas cidades que foram fundadas após 1955.