

NEOTECTÔNICA E MORFOTECTÔNICA

Aula 7
NEOTECTÔNICA
PROF. EDUARDO SALAMUNI

O PROBLEMA DA DEFINIÇÃO

- A caracterização da tectônica do Cenozóico bem como a definição do termo **Neotectônica** são assuntos controvertidos. Isto decorre da heterogeneidade das diversas regiões no planeta, mesmo quando apresentam similaridades de processos geotectônicos, tais como as zonas de subducção atuais.
- Para uma apreciação correta do termo **neotectônica**, é necessário abordar a evolução conceitual nos últimos anos, além de seus limites temporais, ou período de ocorrência.
- **Neotectônica** foi um termo introduzido por Obruchev (1948), que ao definir movimentos da crosta que se instalaram durante o Terciário Superior e o Quaternário, com influência na formação da topografia contemporânea, sugeriu a seguinte classificação:
 - a) Movimentos Alpinos: Cretáceo até hoje;
 - b) Movimentos Recentes: Plioceno até hoje, movimentos neotectônicos propriamente ditos;
 - c) Movimentos Modernos: desenvolvidos atualmente.

- Wegman (1955) sugeriu a adoção do termo “tectônica viva” (*lebendige tektonik*), para a definição dos movimentos muito recentes e/ou sismotectônicos.
- Segundo Nikolaev (1962) a neotectônica é ramo da ciência geológica centrado em áreas de reativação de antigas estruturas e/ou a formação de novas estruturas no Quaternário.
- Jain (1980) considerou **movimentos contemporâneos** aqueles ocorridos na crosta terrestre nos últimos seis mil anos, com evidentes conotações históricas. O autor classificou tais movimentos em jovens (ocorridos no Holoceno) e em novíssimos (atuais).
- **Tectônica ativa** enfoca as atividades que podem ser reiniciadas no futuro, inclusive afetando comunidades humanas (Walace et al., 1986).
- Os termos **neotectônica**, **tectônica ativa** e **paleo-sismicidade** apresentam ampla superposição e são frequentemente usados como sinônimos (Mörner, 1989).

Síntese conceitual da INQUA

- Algumas outras classificações foram sugeridas, sendo as mais aceitas aquelas que ligam a Neotectônica à Tectônica de Placas. A Comissão Internacional do Quaternário (**INQUA**), buscando uma síntese, definiu a Neotectônica utilizando um conceito de Mörner (1978), da seguinte forma:
- *"Quaisquer movimentos ou deformações da crosta ao nível geodésico de referência, sua caracterização por meio de seus mecanismos, sua origem geológica, suas implicações para vários propósitos práticos e suas extrapolações futuras. Os movimentos neotectônicos englobam o acervo de deformações rúptil ou dúctil de um período Neotectônico".*

Falhas ativas (neotectônica)



PERÍODO NEOTECTÔNICO

- O **período neotectônico**, ou a idade de início dos movimentos tectônicos, constituiu o segundo ponto de controvérsia neste campo de conhecimento.
- Em razão do conceito de tectônica ativa, Mörner (1989) argumentou que a neotectônica deveria tratar dos movimentos e deformações passados ou anteriores ao tempo presente. Os possíveis limites inferiores sugeridos para o período neotectônico seriam os seguintes:
 - últimos 2,5 Ma (provável reorganização geral do regime tectônico)
 - últimos 6 Ma (período posterior à crise Messiniana)
 - últimos 23 Ma (Neógeno Inferior)
 - últimos 38 Ma (Oligoceno Inferior, reorganização da tectônica global)

Outras idéias propostas:

- Para Sengör *et al.* (1982) o objeto de estudo da **neotectônica** é relacionado aos movimentos tectônicos mais novos da história geológica, isto é, os ***movimentos relativos ao campo de tensão (stress) ou regime tectônico em vigor desde a última reorganização tectônica principal em escala regional.***
- Blenkinsop (1986) sugeriu que a fase **neotectônica** tenha começado no momento em que o campo de *stress* contemporâneo tenha sido estabelecido.
- Pavlides (1989), corroborando Sengör (*op. cit.*) engloba no conceito genérico o tempo da ocorrência sísmico, definindo o tempo **neotectônico** como: ***"estudo dos eventos tectônicos novos, que ocorreram ou estão ocorrendo numa região após a orogênese final, ou após sua reorganização tectônica mais significativa"***.
- A INQUA postulou a não fixação de limites temporais, podendo-se incluir como neotectônicos desde movimentos "instantâneos" ou sísmicos até aqueles superiores a 10 milhões de anos.

- No entanto, a maioria dos autores coloca o limite inferior do período **neotectônico** no início do Neógeno (Mioceno) há mais de 20 milhões de anos. É consenso que a idade do início dos movimentos neotectônicos varia dependendo da região estudada, bem como de sua posição em relação à borda da placa na qual se insere, variando de lugar para lugar, mas correspondendo geralmente ao tempo compreendido entre o Holoceno e Mioceno.
- Stewart e Hancock (1994) consideraram que a *“neotectônica corresponderia ao estudo dos movimentos que ocorreram no passado e continuam ocorrendo no presente sem um limite inferior rígido”*.

Os movimentos neotectônicos estariam relacionados ao regime tectônico atual, os quais poderiam reativar ou não estruturas, sempre dentro de um campo de esforços (tensão) e de deformação que tem persistido, sem mudanças significativas de orientação ao longo do tempo.

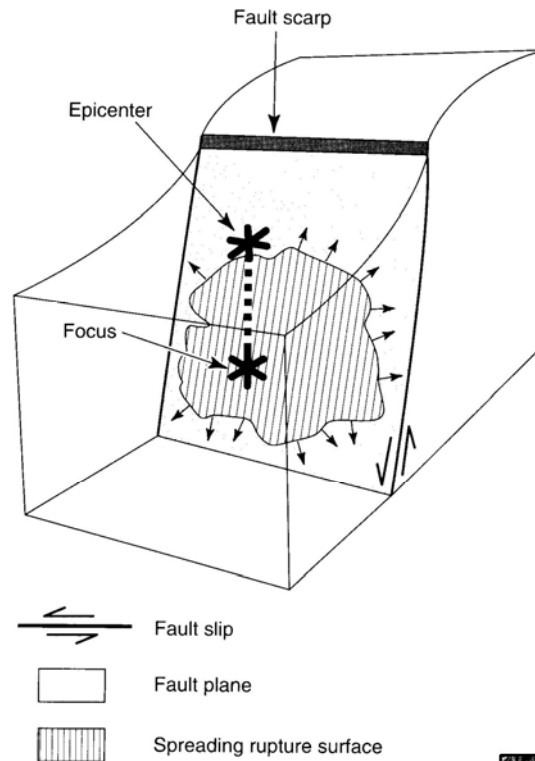
NEOTECTÔNICA NO CONTEXTO DA GEOLOGIA

- A **neotectônica** é um campo de conhecimento interdisciplinar dentro da Geologia, englobando dados e utilizando métodos da Geologia Estrutural, Sismologia, Geotectônica, Geofísica, Geomorfologia, Sedimentologia, Geotecnia, Geodésia, Estratigrafia e Arqueologia.
- A contextualização da neotectônica se faz em função de três premissas básicas:
 - a) apenas 70% das anomalias tectônicas são antigas;
 - b) as maiores falhas transcorrentes do mundo mostram evidências impressas de deslocamentos neotectônicos;
 - c) lineamentos pré-Cambrianos, relacionados a depósitos hidrotermais ou de zonas de cisalhamento podem estar marcados atualmente por fluxo de calor e sismicidade.
- Panizza (1987) sugeriu uma classificação de atividade para os lineamentos tectônicos:
 - a) elemento tectônico ativo, b) elemento tectônico pouco ativo, c) elemento tectônico pouco ativo a inativo, d) elemento tectônico inativo, e) lineamento qualificado e f) lineamento não-qualificado.

- Os principais métodos empregados no estudo **neotectônico** são relacionados a seguir:
 - a) **estudo dos sismos atuais**: permite a determinação das tensões aplicadas que estão atuando nas áreas sismogênicas.
 - b) **sensoriamento remoto**: delimitação de alinhamentos de relevo, traçado da rede de drenagem, mapeamento de aluviões falhados, mapeamento de falhas.
 - c) **mapeamento morfotectônico**: a morfotectônica estuda processos e formas relacionadas a alguma atividade tectônica. Adota como linhas de atuação o reconhecimento de geoformas como indicadoras de movimentos recentes, estudo de deformações pediplanares e estudo dos caracteres geomorfológicos de terrenos atuais.

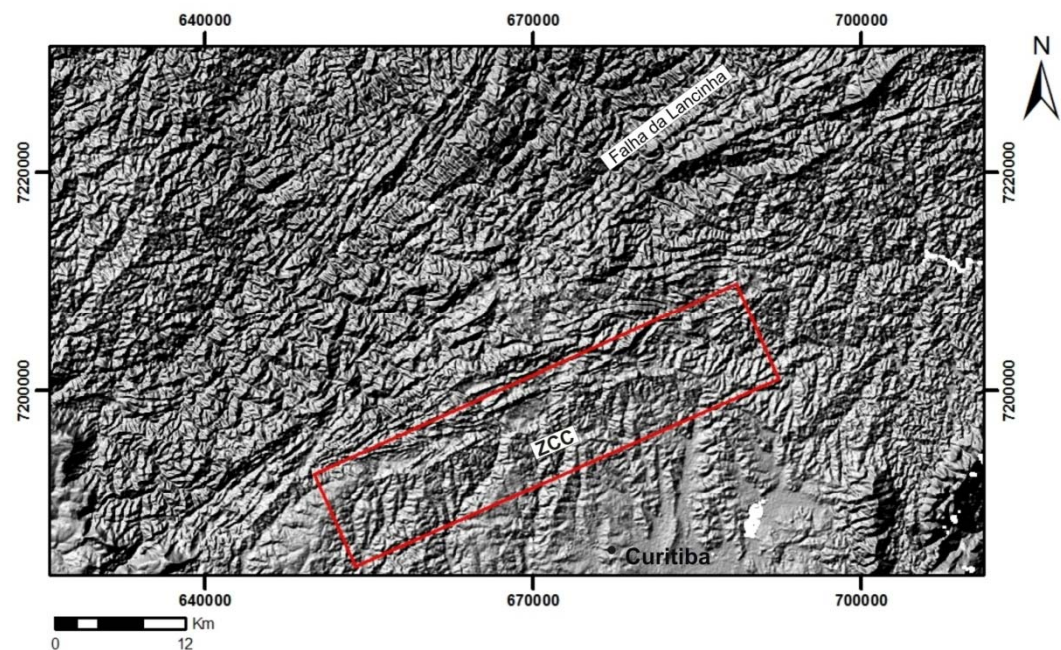
FIGURE 1.8

Block diagram of a fault plane and rupture area associated with an earthquake. Also shown are the focus, epicenter, and spreading rupture. When the rupture reaches the surface, a fault scarp is produced.



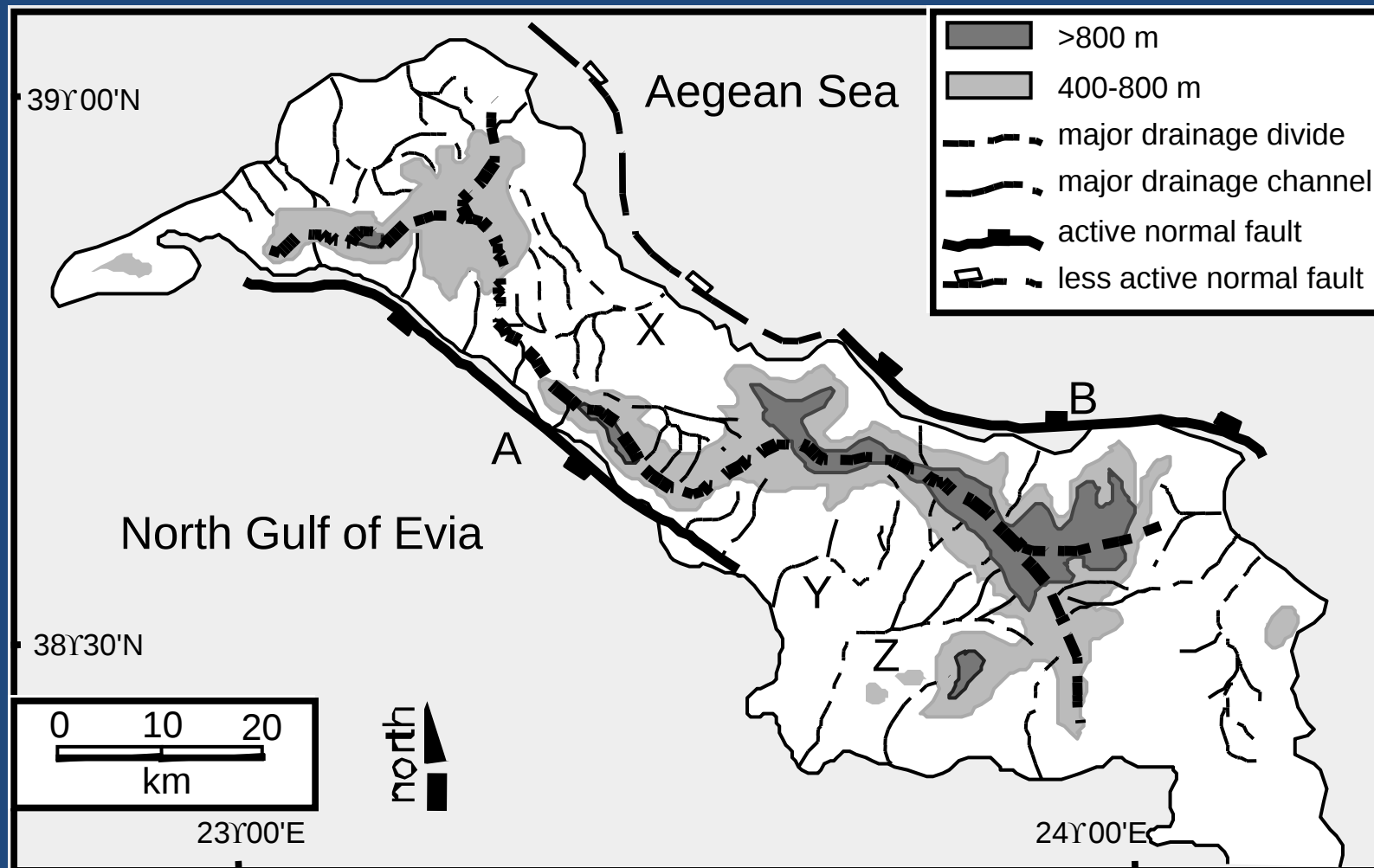
Estudo dos sismos atuais, com determinação da profundidade e da solução dos tensores locais (inclusive por meio dos sismos secundários).

Sensoriamento remoto: SRTM para definição de alinhamentos estruturais.



Imagens a partir do Google Earth e outros sensores auxiliam na primeira aproximação visual de áreas com estruturas que podem estar ligadas à tectônica recente ou à neotectônica





Mapeamento morfotectônico: bacia de drenagem assimétrica respondendo à falhas ativas de borda no mar Aegeano (neotectônica ou tectônica ativa)

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

- d) determinação dos campos de tensões: métodos dos diedros retos (Angelier e Mechler, 1977) e Arthaud (1969).
- e) datação geocronológica: principalmente pelo método do Carbono-14, para datação de material orgânico, e traços de fissão em apatitas para a determinação da idade do último aquecimento pelo qual passou a rocha fraturada.
- f) evidências arqueológicas: artefatos e/ou construções humanas podem indicar camadas geológicas perturbadas e/ou deslocadas devido à ocorrência de antigos terremotos; sambaquis em regiões distantes do mar podem indicar recuo marinho por ascensão do terreno adjacente ao mar.

Datação geocronológica para idades menores que 1 ma.

TABLE 3.2. Absolute Dating Methods

Method	Useful Range	Materials Needed	References: Classic and recent
Radioisotopic			
^{14}C	35 ka	wood, shell	Libby, 1955; Stuiver, 1970
U/Th	10–350 ka	carbonate (corals, speleothems)	Ku, 1976
Thermoluminescence (TL)	30–300 ka	quartz silt	Berger, 1988
Optically stimulated luminescence	0–300 ka	quartz silt	Aitken, 1998
Cosmogenic			
In situ ^{10}Be , ^{26}Al	3–4 Ma	quartz	Lal, 1988, Nishiizumi, 1991
He, Ne	Unlimited	olivene, quartz	Cerling and Craig, 1994
^{36}Cl	0–4 Ma		Phillips et al., 1986
Chemical			
Tephrochronology	0–several Ma	volcanic ash	Westgate and Gorton, 1981; Sarna-Wojicki et al., 1991
Amino acid racemization	0–300 ka; range temperature dependent	carbonate shell	Bada et al., 1970; Bada, 1972; Wehmiller et al., 1988
Paleomagnetic			
Identification of reversals	>700 ka	fine sediments, volcanic flows	Cox et al., 1964; 1964
Secular variations	0–700 ka	fine sediments	Creer, 1962; 1967; Lund, 1996
Biological			
Dendrochronology	10 ka, depending upon existence of a local master chronology	wood	Fritts, 1976; Jacoby et al., 1988; Yamaguchi and Hoblitt, 1995

Principais indicadores da atividade neotectônica (Hasui, 1990)

- Falhas: em geral de caráter distensivo a transcorrente, quando afetam bacias terciárias, rochas sedimentares e magmáticas do Neógeno e sedimentos flúvio-coluviais e marinhos quaternários.
- Processos morfogenéticos: balizamento nas superfícies de erosão; relevos em vias de afeiçoamento; movimentos de solos; evolução da rede de drenagem e outros.
- Áreas de sedimentação e erosão: grandes áreas de erosão e de sedimentação interpretadas como possíveis zonas de subsidência e/ou regiões adjacentes em ascensão.

- Sismicidade: sismos constituem-se em uma das mais notáveis feições da atividade neotectônica e, em regiões intraplacas, encontram-se associados às zonas de maiores fraquezas que se manifestaram no passado e, se manifestam atualmente, ao longo de zonas limitadas. São denominadas Zonas Sismogênicas correlacionadas aos domínios dos cinturões de cisalhamento e às suturas e aos domínios de antigas junções tríplexes.
- Outras características: tensões intraplacas determinadas; fluxos térmicos; fontes termais

Terminologia relacionada à recorrência de falhas (ou de atividade tectônica)

Geologic Age			Years Before Present	Fault Activity		
Era	Period	Epoch				
Cenozoic	Quaternary	Historic (Calif.) Holocene	— 200 —	Active		
		Pleistocene	— 10,000 —			
	Tertiary	Pre-Pleistocene	— 1,650,000 —		Potentially active	
			— 65,000,000 —			
	Pre-Cenozoic time				Inactive	
			— 4,500,000,000 —			
— Age of the earth —						

(After California State Mining and Geology Board Classification, 1973)

Falhas ativas (neotectônica)

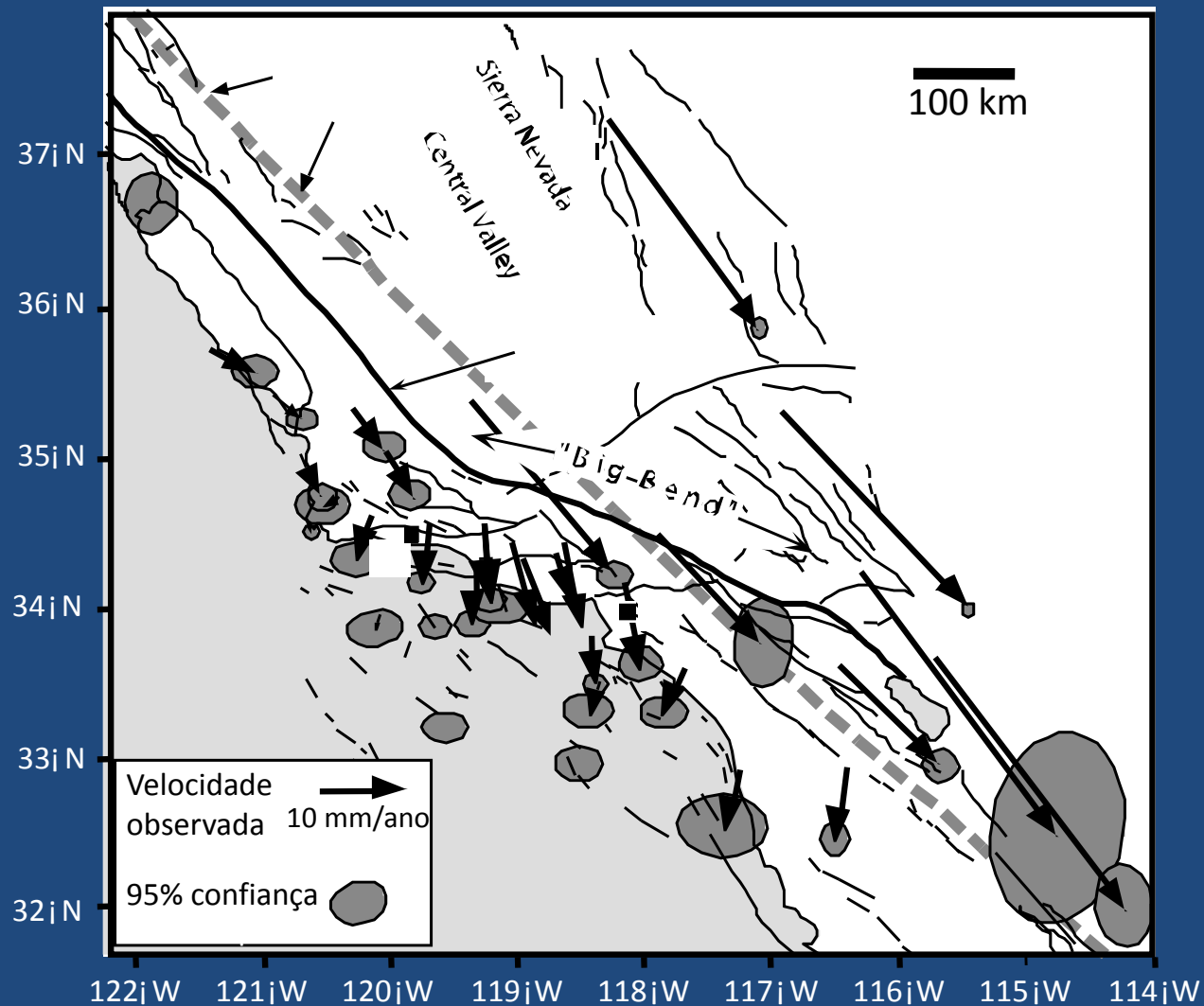


Escarpa gerada por falha inversa de sismo recente na Armênia
(processo neotectônica)



Problemas Sísmicos

- Movimentos durante o período intersísmico, ou seja, modificações em zonas de risco sísmico não ligadas a movimentos sísmicos propriamente ditos, podem ser responsáveis pela alteração morfoestrutural e da paisagem. São considerados como ligados a processos tectônicos contínuos.
- Deformações no Holoceno geralmente são quantificáveis. Na maior parte do globo terrestre a magnitude das taxas de deformação não ultrapassa a grandeza de milímetros por ano.
- Levantamentos de **1 mm/ano** corresponde a soerguimentos de **10 m** em cada mil anos e **1 km** no prazo de um milhão de anos, pouco mais que a duração do próprio Holoceno.
- Segundo Keller e Pinter (1996) a idade das paisagens mais antigas não ultrapassa os 2 milhões de anos. É preciso entender que esta assertiva refere-se à esculturação do terreno.

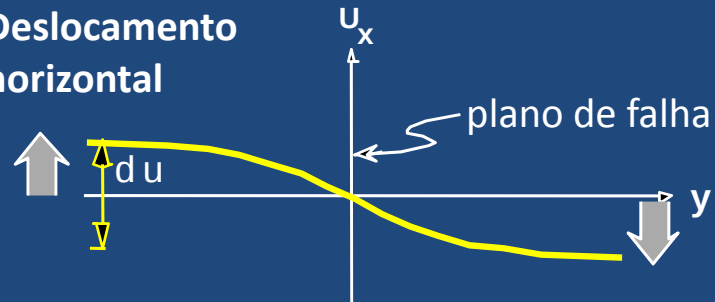


Taxas de deformação crustal horizontal no sul da Califórnia.
Esta deformação, em sua maior parte, é intersísmica.

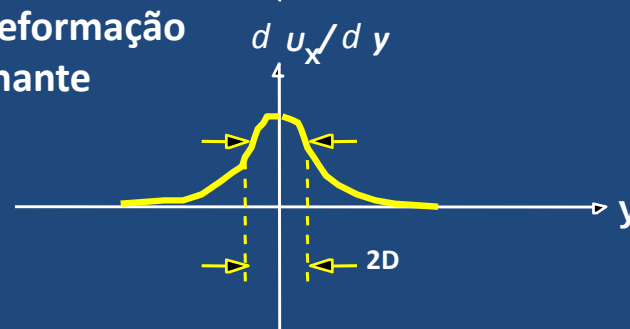
Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Acumulação de deformação intersísmica

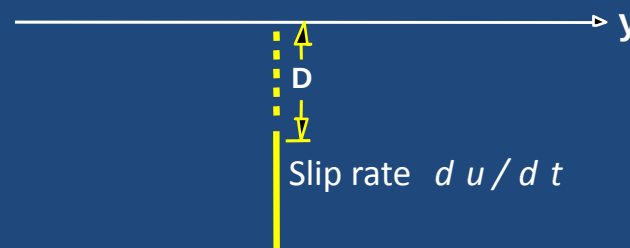
Deslocamento horizontal



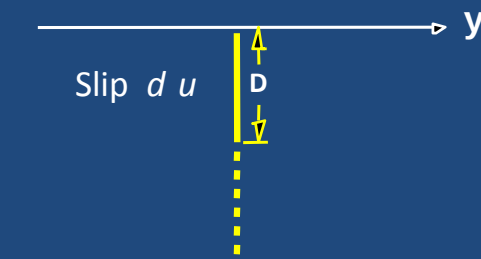
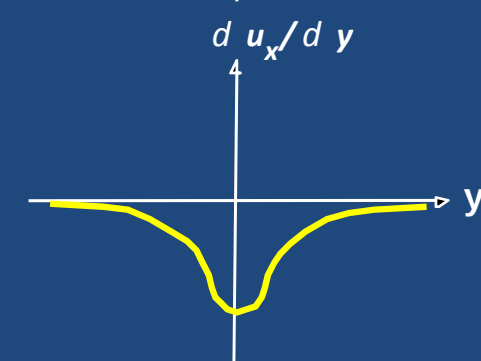
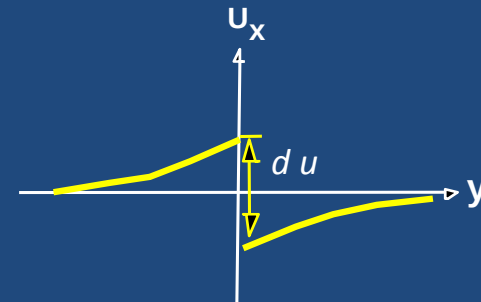
2D-deformação cisalhante



Perfil do modelo de deslocamento



Deformação cosísmica



Modelo de ciclo de terremoto para uma falha transcorrente

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, used without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

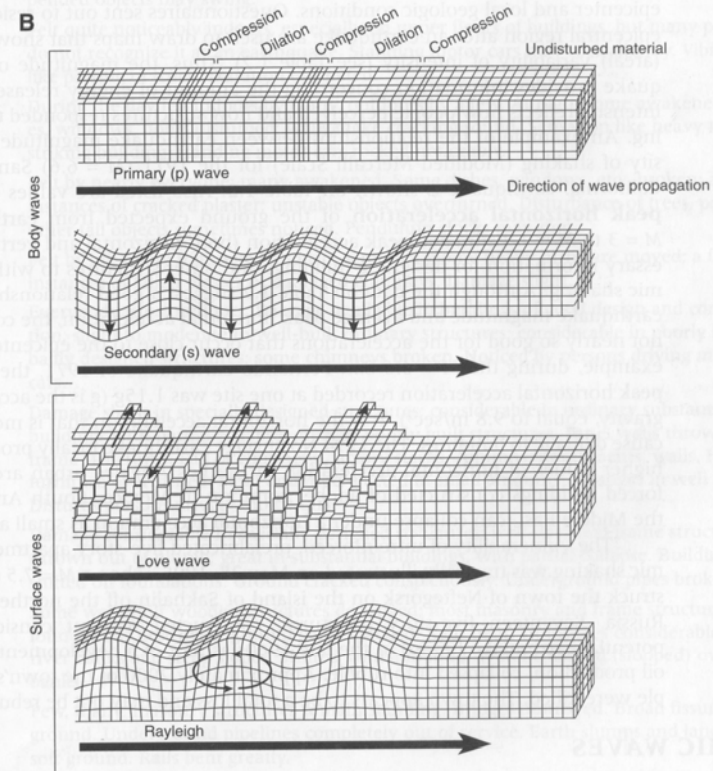
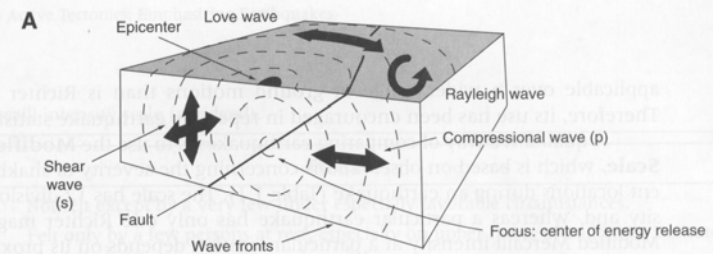
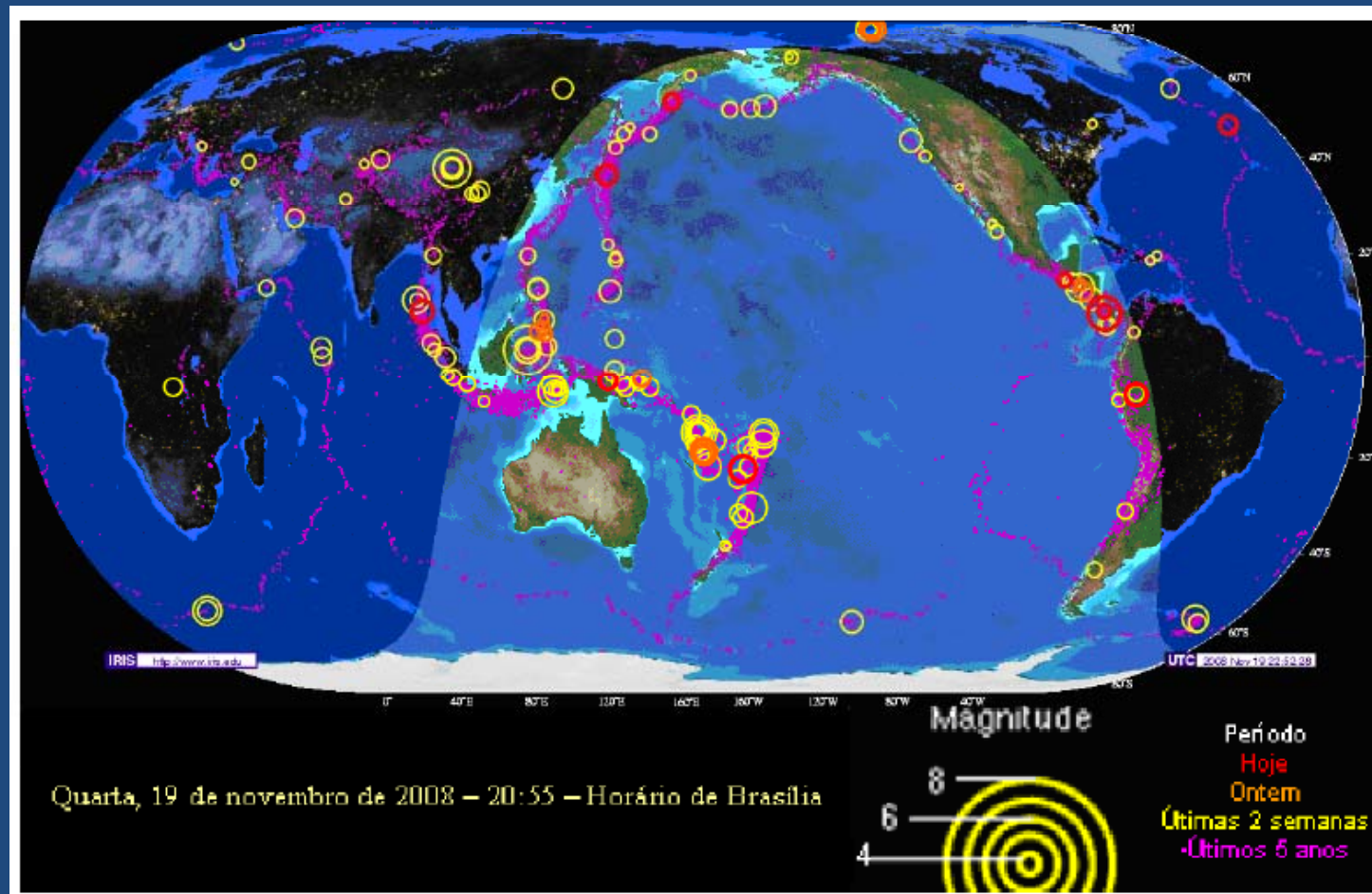


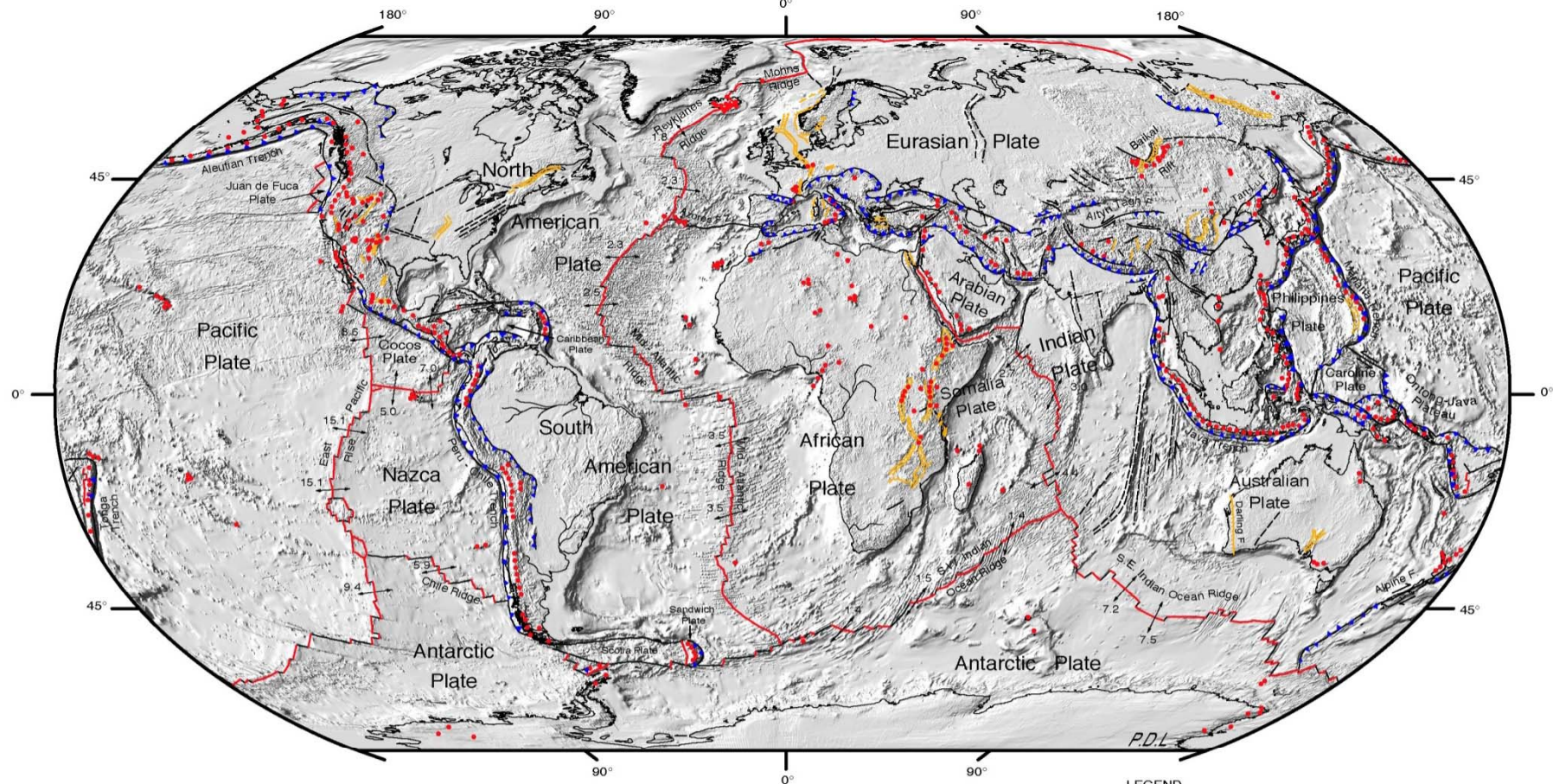
FIGURE 1.11
 (A) Diagram of directions of vibration of body (*P* and *S*) and surface waves (Love and Rayleigh) generated by an earthquake associated with the illustrated fault. Also shown are the focus (center of energy release) and epicenter of the earthquake event. (B) Propagation of body and surface waves.
 [(A) From Hays, 1981 (12); (B) After Bolt, 1988 (9)]

Mapa sísmico mundial a partir de 2003 a 2008 (ver legenda)
mostrando claramente as principais zonas sismogênicas da crosta
terrestre e a subdivisão da crosta em Placas Tectônicas



http://ansatte.uit.no/kku000/webgeology/webgeology_files/brazil/structure_geol_bra.html

Mapa neotectônico global (com eventos tectônicos e vulcânicos do último 1 ma (NASA Projeto DTAM)



DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH
Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years

DTAM - 1



NASA/Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771

Robinson Projection
October 2002

LEGEND

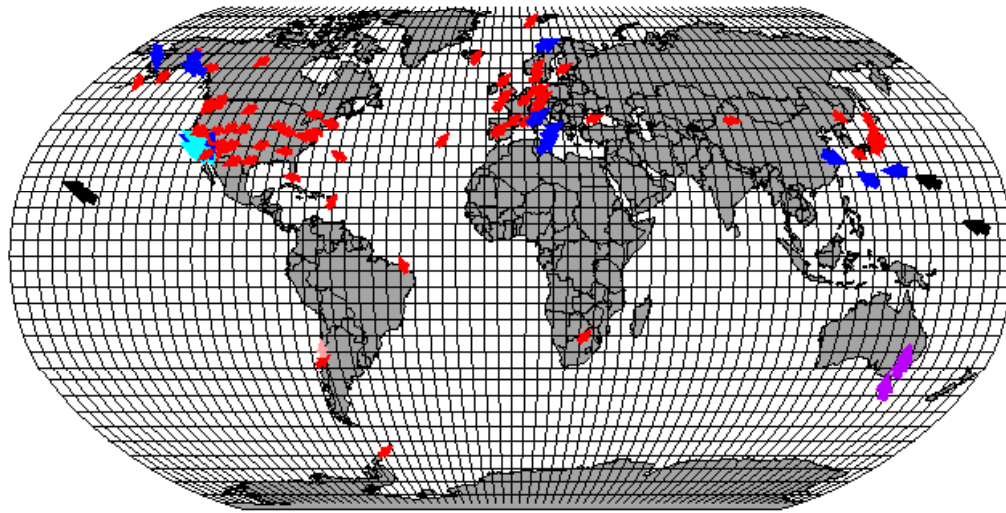
- Actively-spreading ridges and transform faults
- Total spreading rate, cm/year
- Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
- Normal fault or rift; hachures on downthrown side
- Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; bars on upthrown side
- Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and seamounts omitted.

VLBI STATION VELOCITIES

Horizontal measurements in (mm/year)

Map prepared in Robinson projection

Long / Lat grid in 5 degree by 5 degree cells



DTAM- 1

VLBI Velocities in (mm/year)

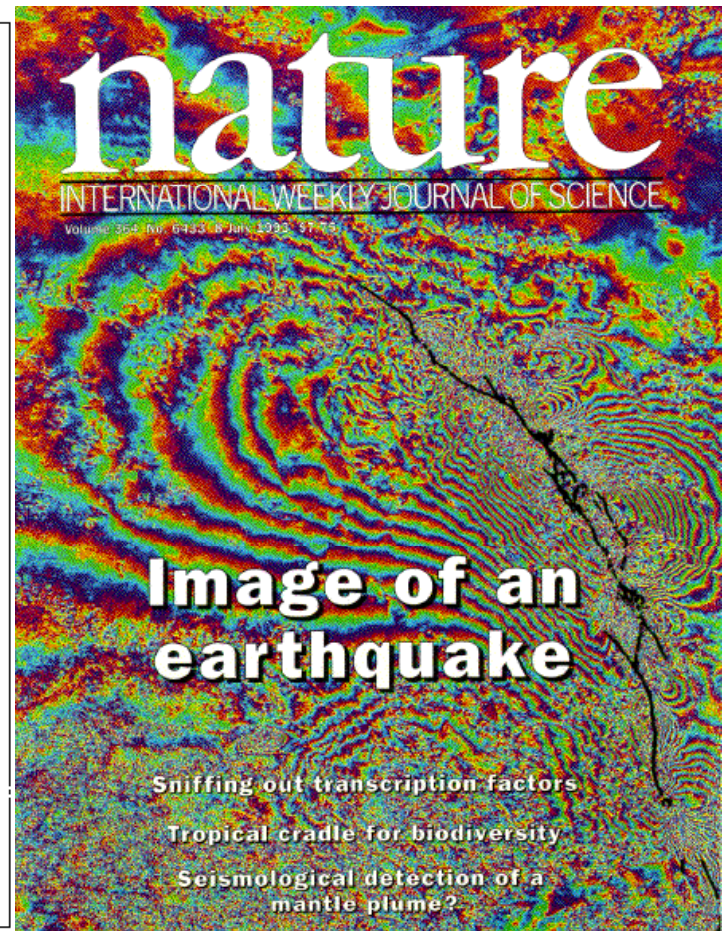
- 3.722 - 11.034
- 11.034 - 25.79
- 25.791 - 40.547
- 40.547 - 55.303
- 55.303 - 70.06
- 70.06 - 77.58

DTAM Project

NASA GSFC
Greenbelt, MD 20771 USA

Data Source:

Ma, C. and J. W. Ryan
NASA Space Geodesy Program
GSFC DATA Analysis - 1997
VLBI Geodetic Results 1979 - 1997



Mapa Interferométrico (VLBI) : fornece um controle geodésico para a determinação da dinâmica crustal. A acurácia na locação e na velocidade são determinadas por rede global de rádio telescópios. A precisão das referências geodésicas está em milímetro por ano. Os mapas geodésicos se constituem hoje o mais recente e moderno parâmetro chave para o entendimento do movimento crustal (NASA, Projeto DTAM, 1997).

A figura ao lado é básica para o entendimento de que é possível se obter uma imagem na superfície, do tipo interferométrica.

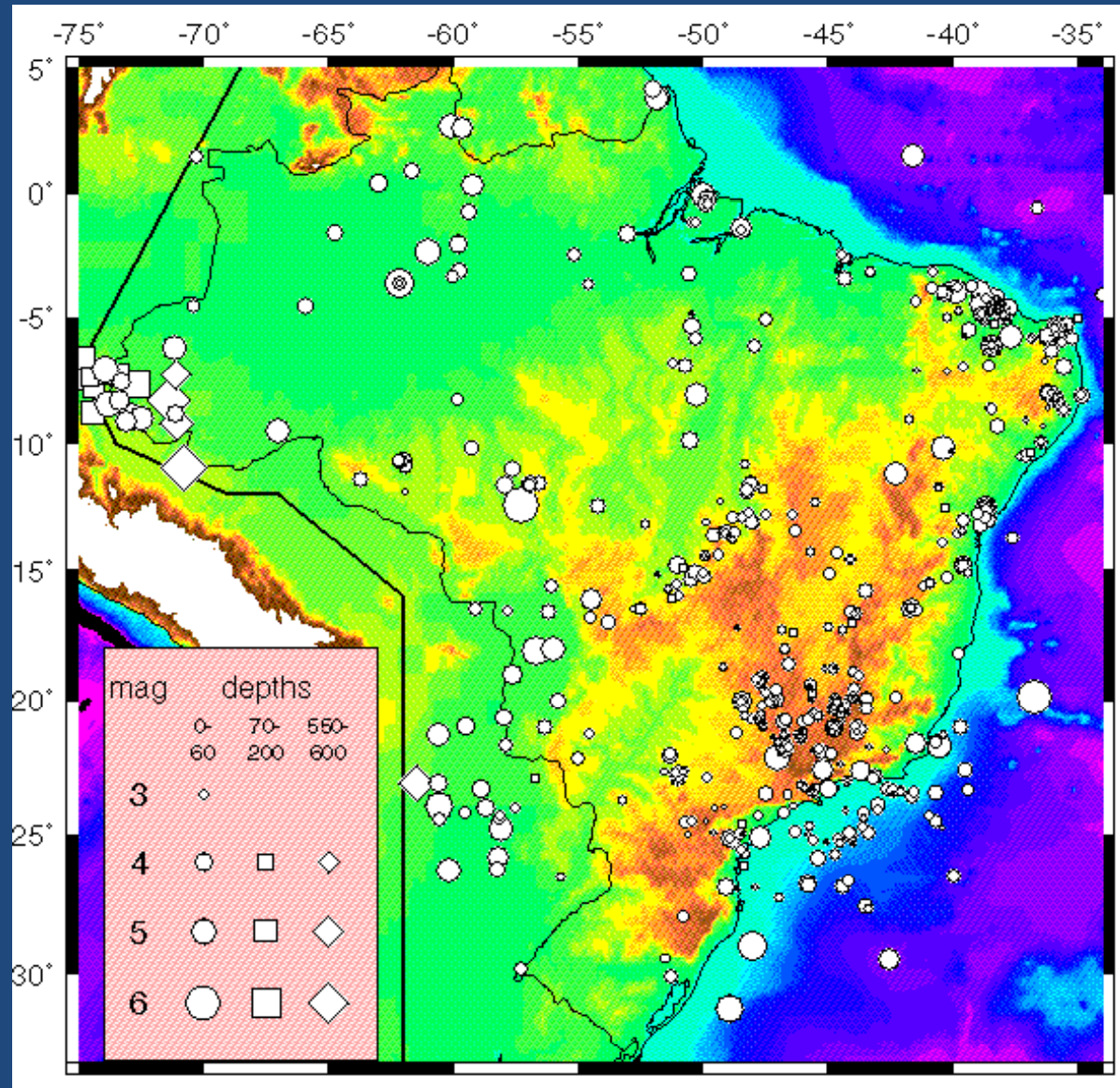
<http://core2.gsfc.nasa.gov/dtam/vlbi/>

NEOTECTÔNICA (OU TECTÔNICA RECENTE) NO BRASIL

INTRODUÇÃO

- O Brasil situa-se no interior da Placa Sulamericana, isto é, as morfoestruturas associadas à atividade neotectônica são esparsas,.
- A associação de feições geomórficas regionais com a tectônica é mais difícil de se interpretar e requer uma análise mais acurada da estrutura tectônica local e a morfologia, buscando-se elementos de interdependência entre ambos.
- O uso do termo Neotectônica no Brasil tende a abranger um período temporal mais abrangente, ou seja, aquela atividade que inicia em meados do Neógeno (+- 10ma). Alguns autores estendem este período até o início do Neógeno.
- Há zonas sismogênicas, que mostram atividades recorrentes de intensidade baixa. Geralmente são concentradas, por exemplo, a região de João Câmara (RN), o Pantanal, a região litorânea e as bacias marginais.
- Além do mapeamento de zonas sismogênicas, de morfoestruturas tem-se utilizado o levantamento de superfícies de erosão deslocadas entre si, inclusive por meio de técnicas de mapeamento de lateritas e materiais análogos.

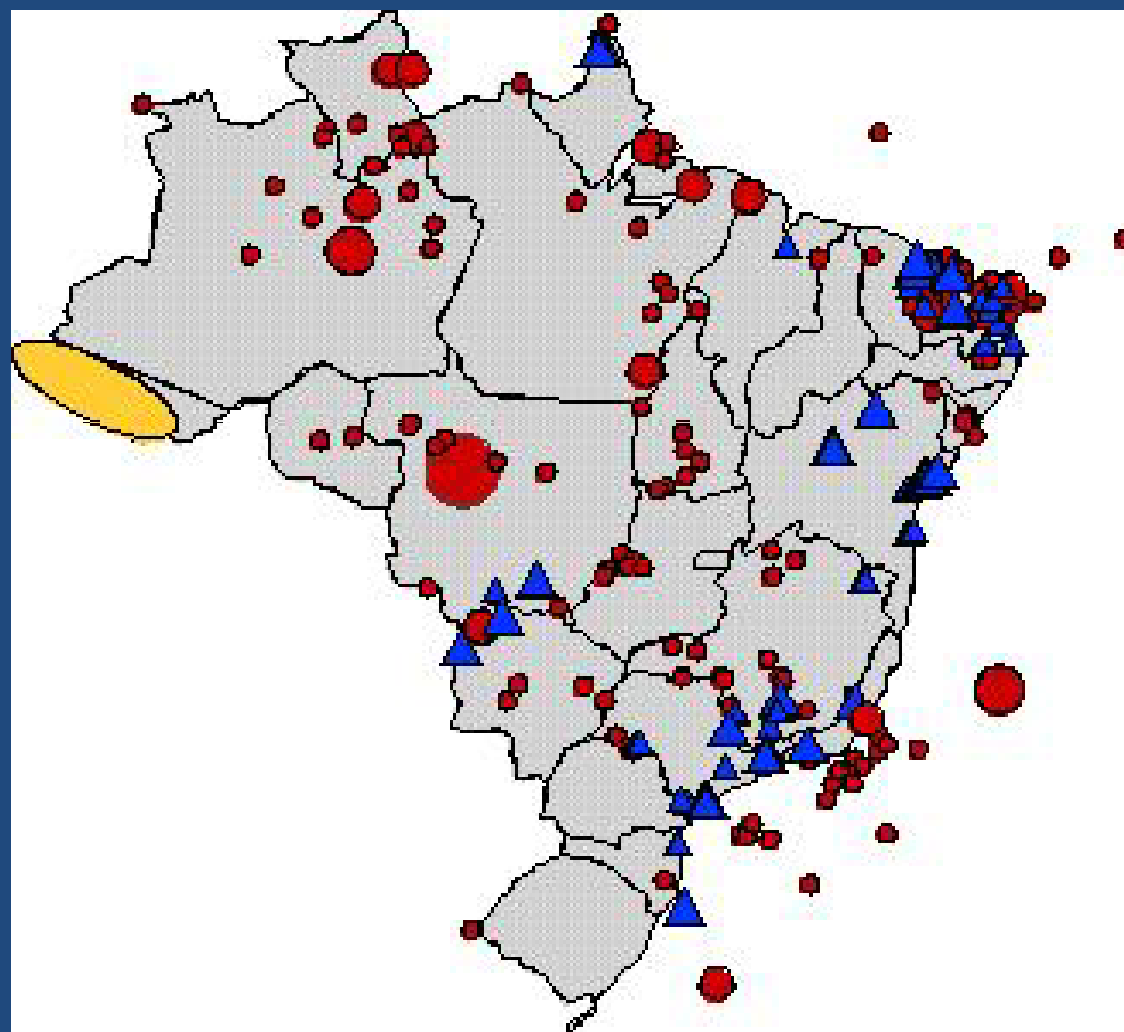
Sismicidade no Brasil



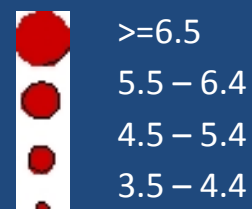
O interior da Placa Sulamericana está ativo, e a existência de sismos mostra a neotectônica envolvida no processo, porém com sismos com menor intensidade do que nas atuais bordas de placa.

Catálogos de terremotos: IAG-USP (entre 1724 a 1995, magnitudes > 2.5)

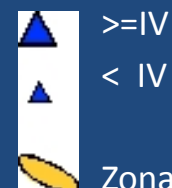
Mapa com dados sobre tremores de terra, com magnitude 3.0 ou mais, ocorridos no Brasil, desde a época da colonização, até 1996



Magnitude



Intensidade

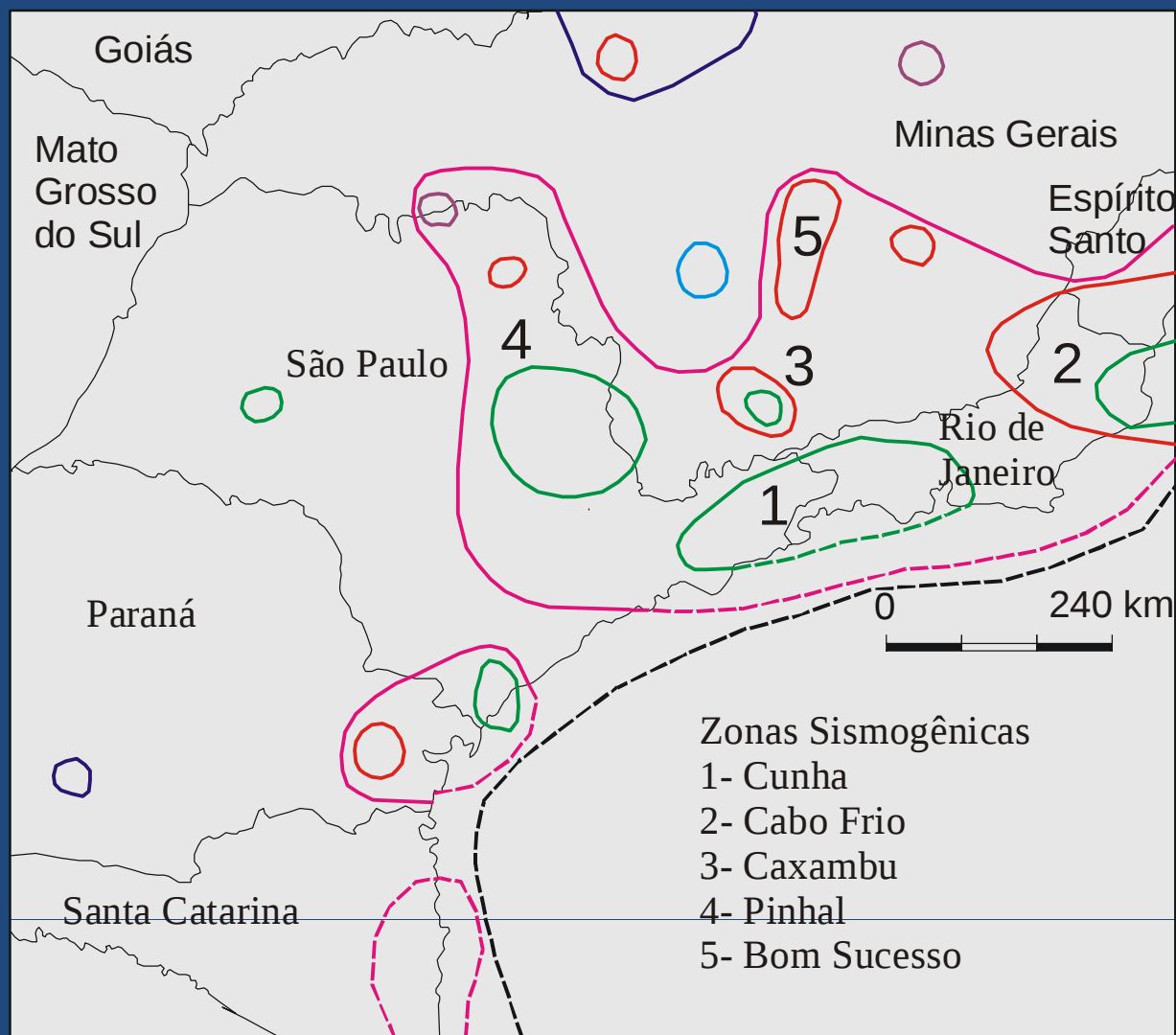


Dados epicentrais

Triângulo: informações mais antigas, chamadas de históricas (obtidas em pesquisa em bibliotecas, livros, diários e jornais - livro "Sismicidade do Brasil" de J.Berrocal et al,1984, para detalhes das informações).

Círculos: são relativamente mais novos, obtidos por equipamentos sismográficos

Mapa de isossistas do Sudeste Brasileiro mostrando as zonas sismogênicas do Sul-Sudeste brasileiro (Mioto e Hasui, 1982; Mioto, 1990)



Obs: são coincidentes com as quatro zonas sismotectônicas propostas pela Universidade de Brasília:

1) Nordeste de São Paulo;

2) Norte do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo;

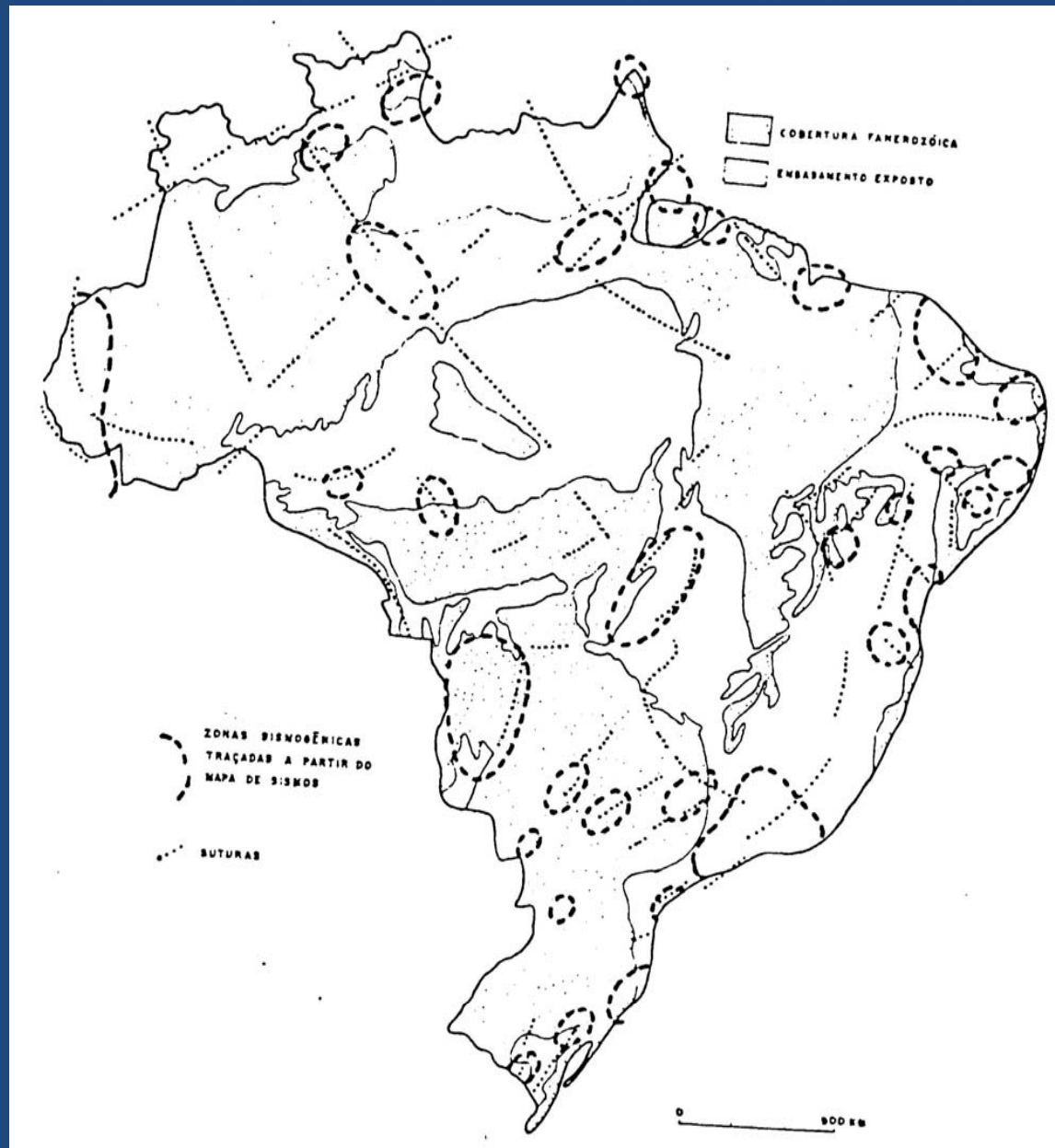
3) Cananéia e Florianópolis;

4) Norte-nordeste de São Paulo e Vale do Rio Grande

Sismo no litoral brasileiro (Bacias Marginais) de 4,3 na escla Richter, ocorrido em 2008



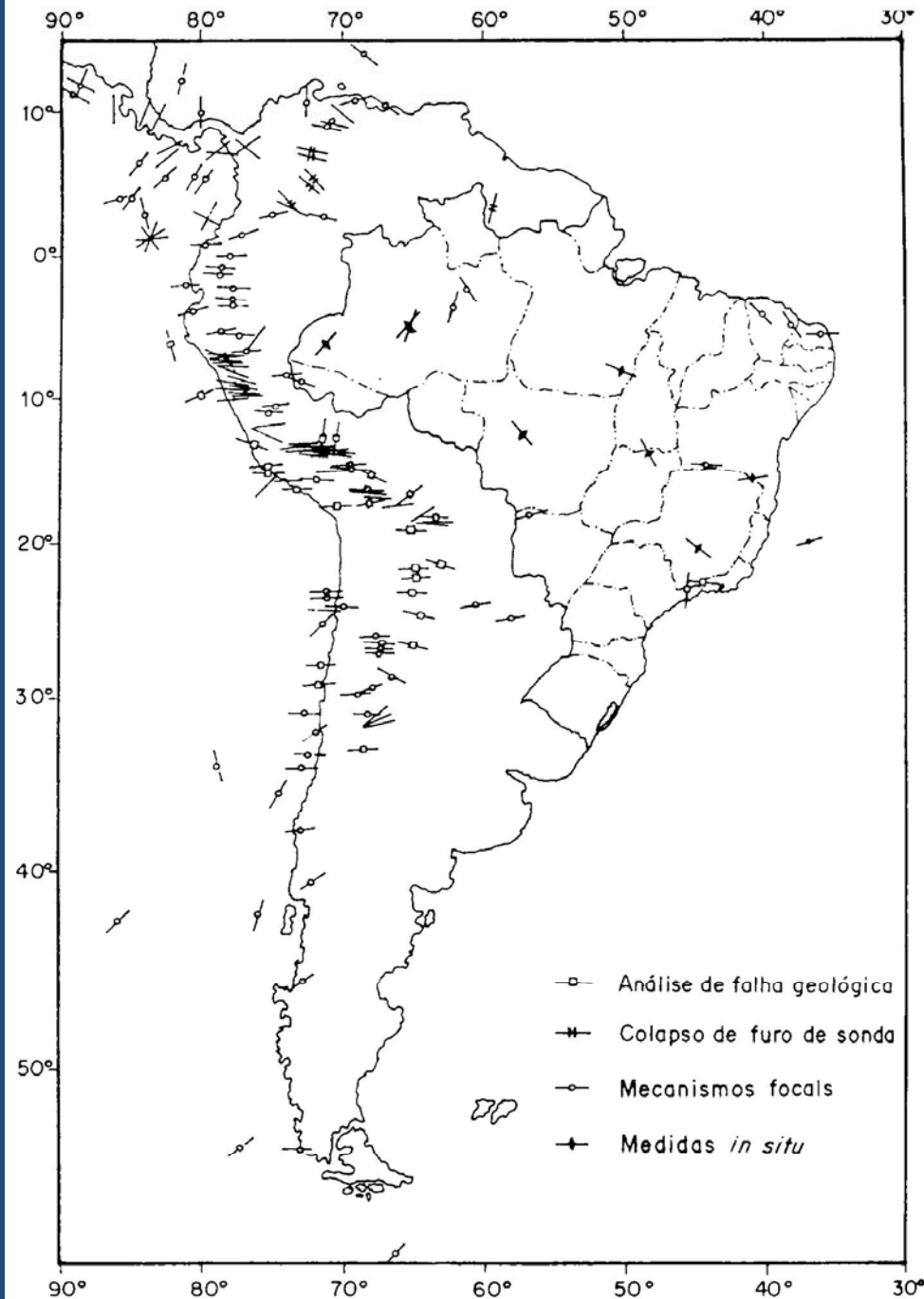
Zonas sismogênicas e as grandes falhas consideradas ativas (Y. Hasui, 1990; A. Saadi, 2005)

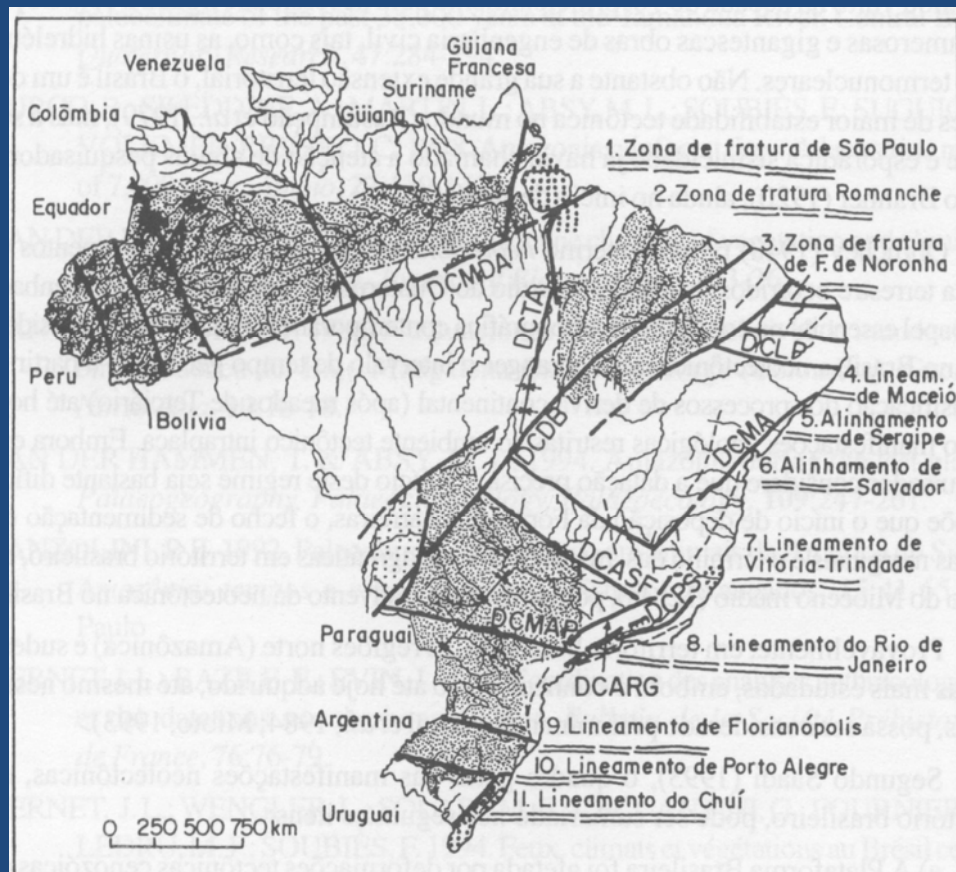


Tensão intraplaca (Placa Sulamericana)

Para a movimentação atual da placa Sul-Americana Assumpção (1992, 1996) e Stefanick & Jurdy (1992) admitem compressão E-W (atualmente admite-se que as tensões tendem a ESE-WNW). Há, no entanto, tensões com outras direções, que dependem mais de fatores locais do que gerais.

Orientações dos esforços horizontais máximos na América do Sul, obtidas por quatro tipos diferentes de evidências (Assumpção, 1992)





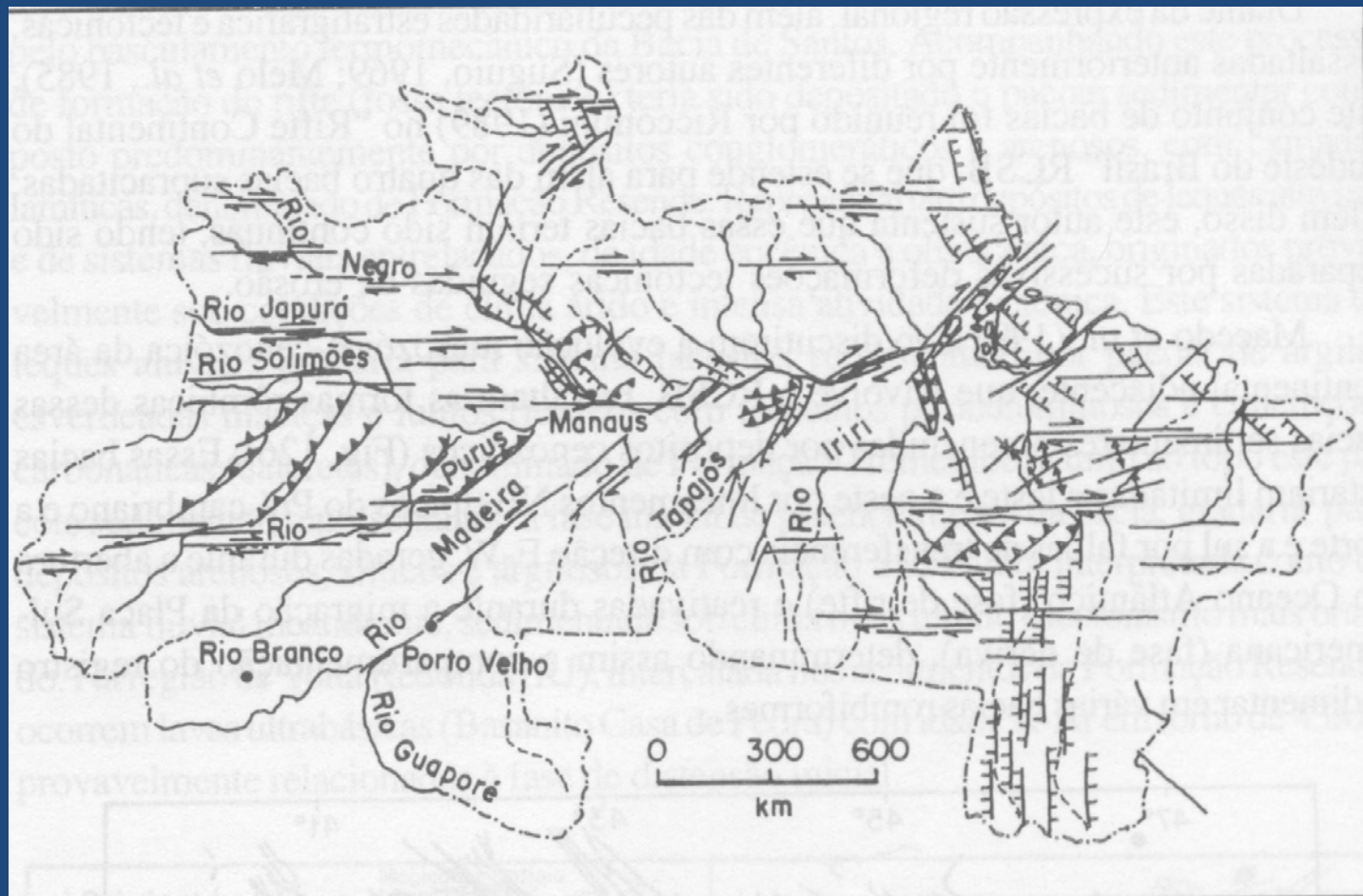


Fig. 125 - Arcabouço neotectônico da Amazônia, com indicação dos possíveis sistemas de falhas. Falhas transcorrentes = linhas com ou sem par de setas indicando movimentos relativos. Falhas normais = linhas com traços perpendiculares curtos. Falhas inversas = linhas com séries de pequenos triângulos (Costa & Hasui, 1997).

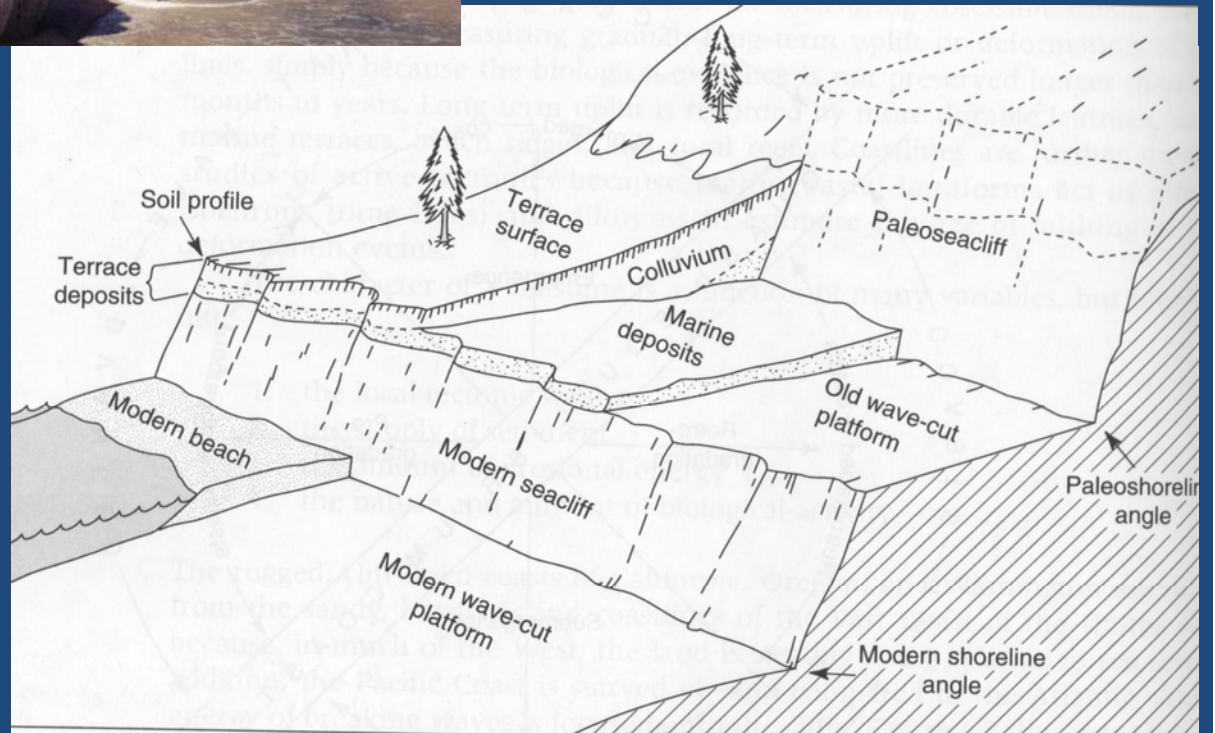




Fig. 131 -Esquema de evolução geológica das bacias marginais brasileiras, simultaneamente à deriva continental e conseqüente origem do Oceano Atlântico Sul (modificado de Ponte & Asmus, 1978).

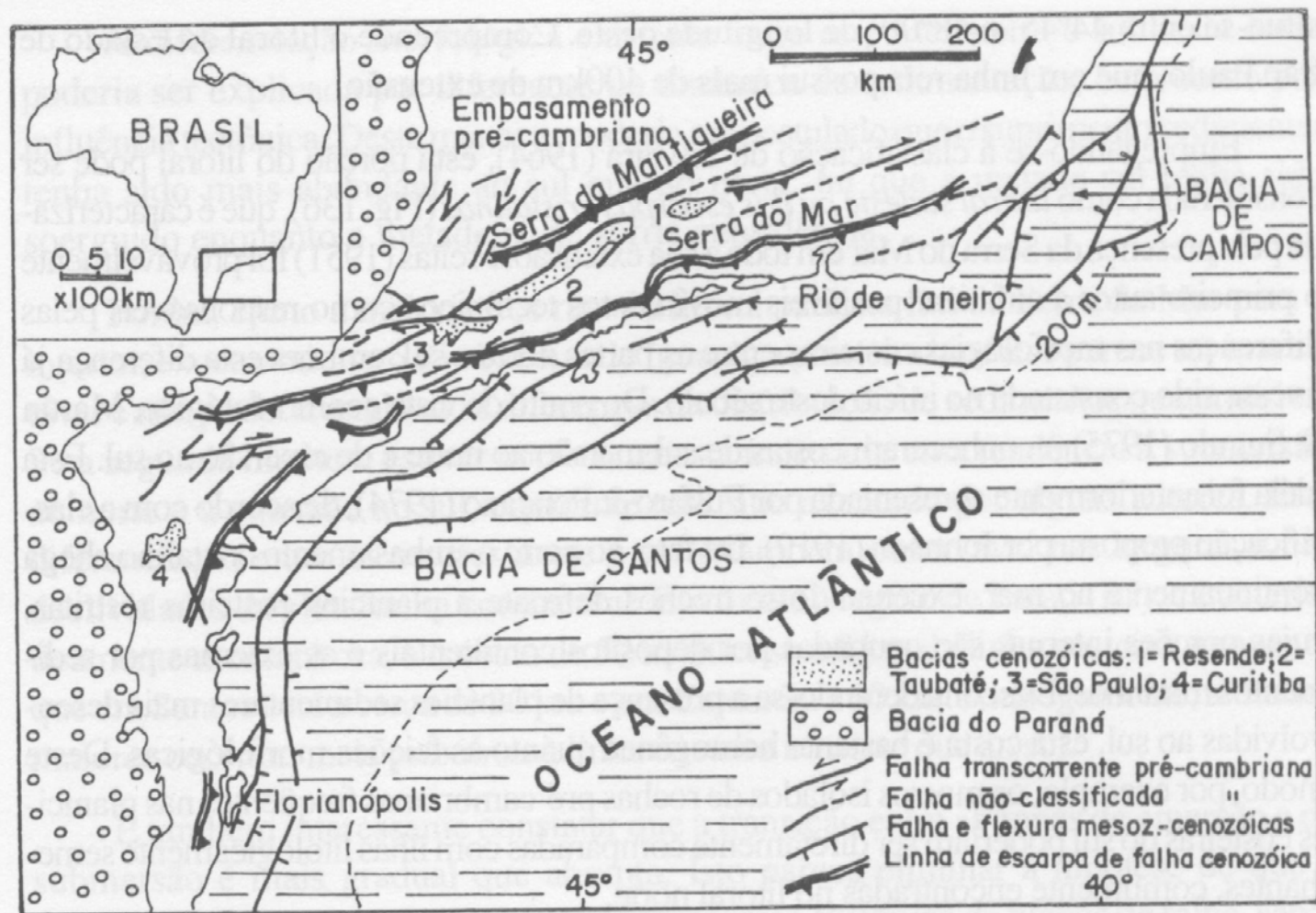


Fig. 135 -Arcabouço tectônico do Sudeste Brasileiro baseado em Almeida (1976) e Armus & Ferrari (1978), mostrando o paralelismo de alguns alinhamentos estruturais no continente e na plataforma continental adjacente.

Mar (riftes sudeste) Bacias tafrogênicas bordejando a Serra do

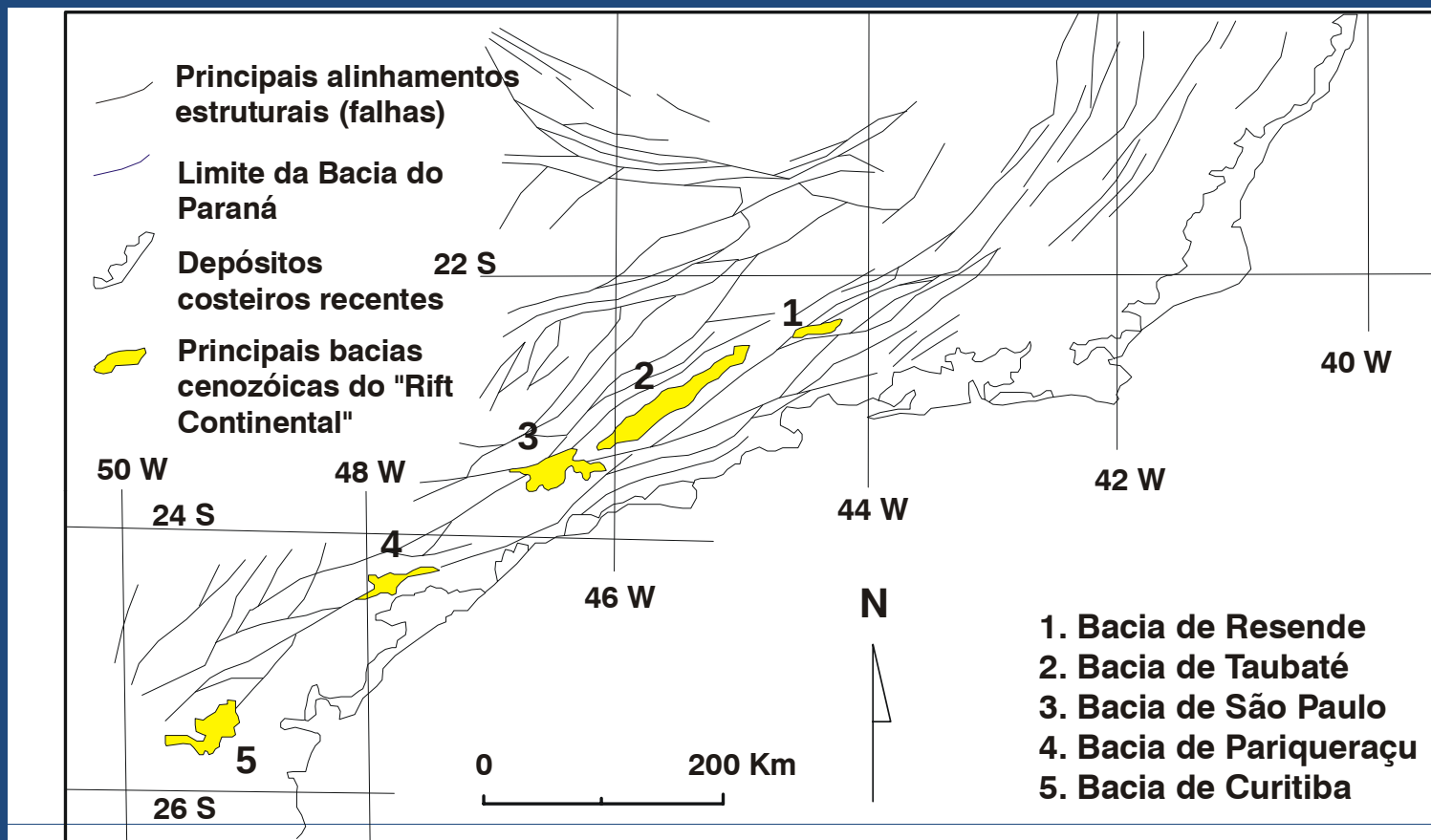
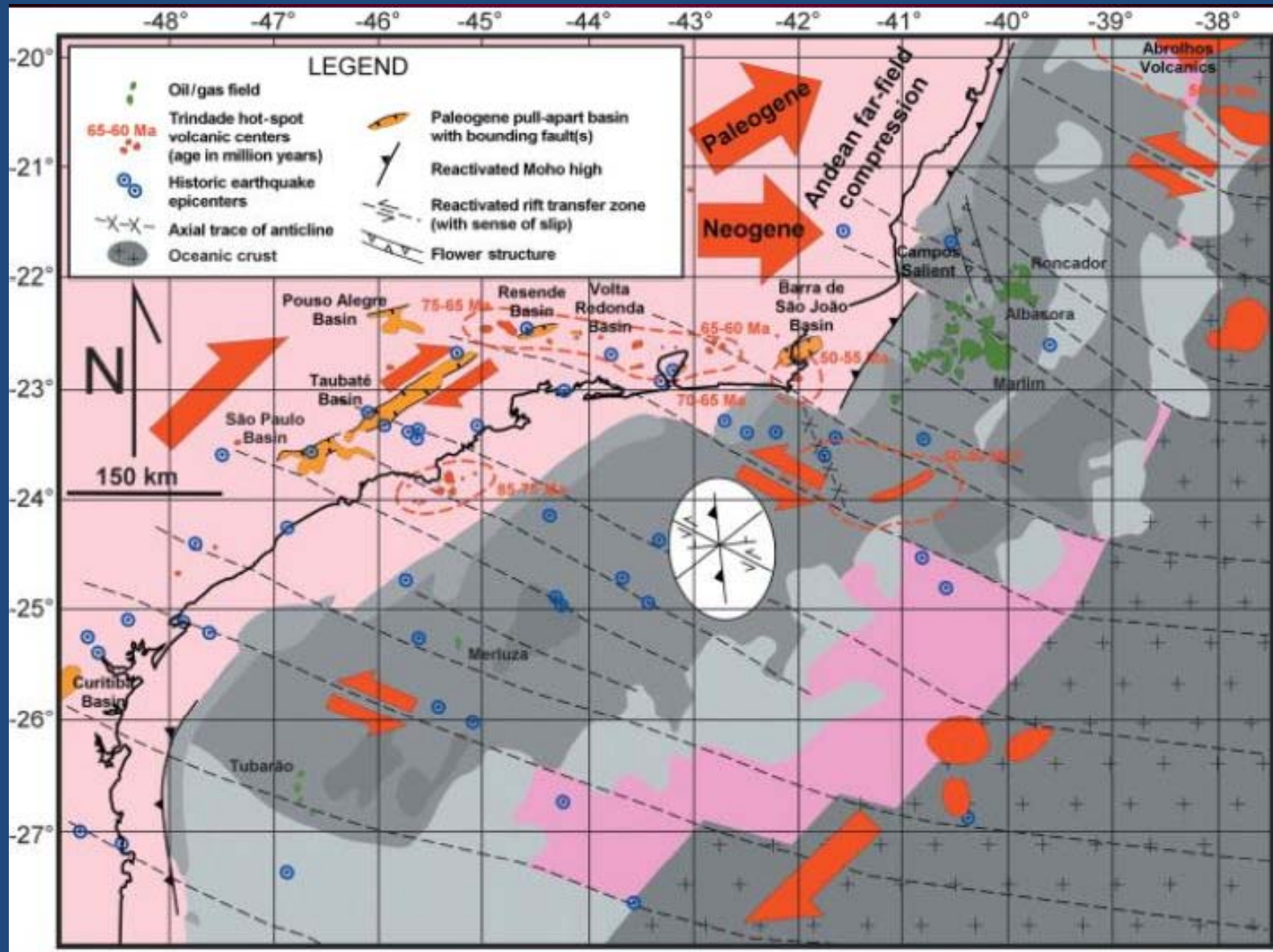
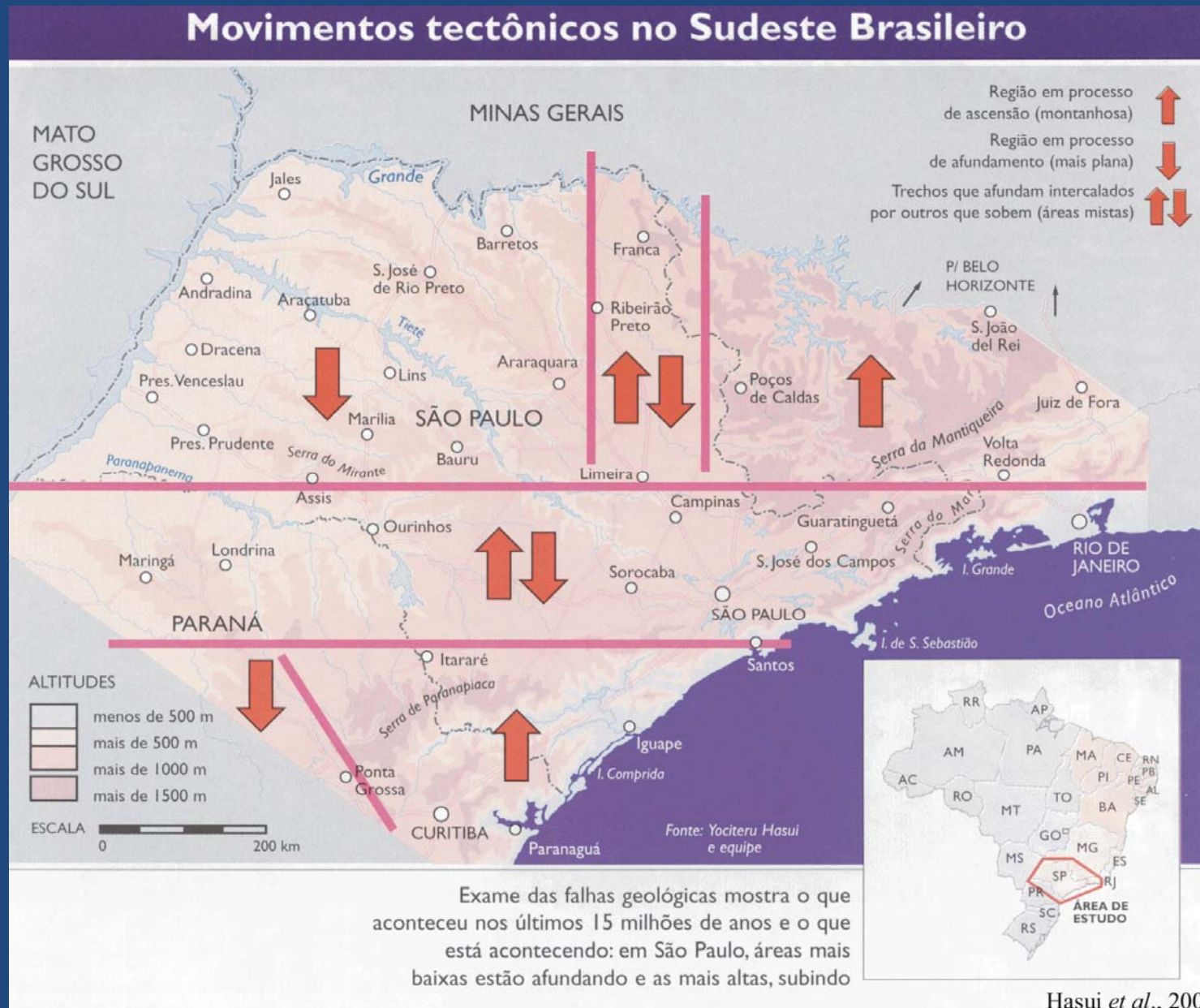


Fig. 05: Mapa de localização das principais bacias tafrogênicas do sudeste e sul do Brasil, relacionadas ao Rift da Serra do Mar (mod. SCHOBENHAUS et al., 1984)

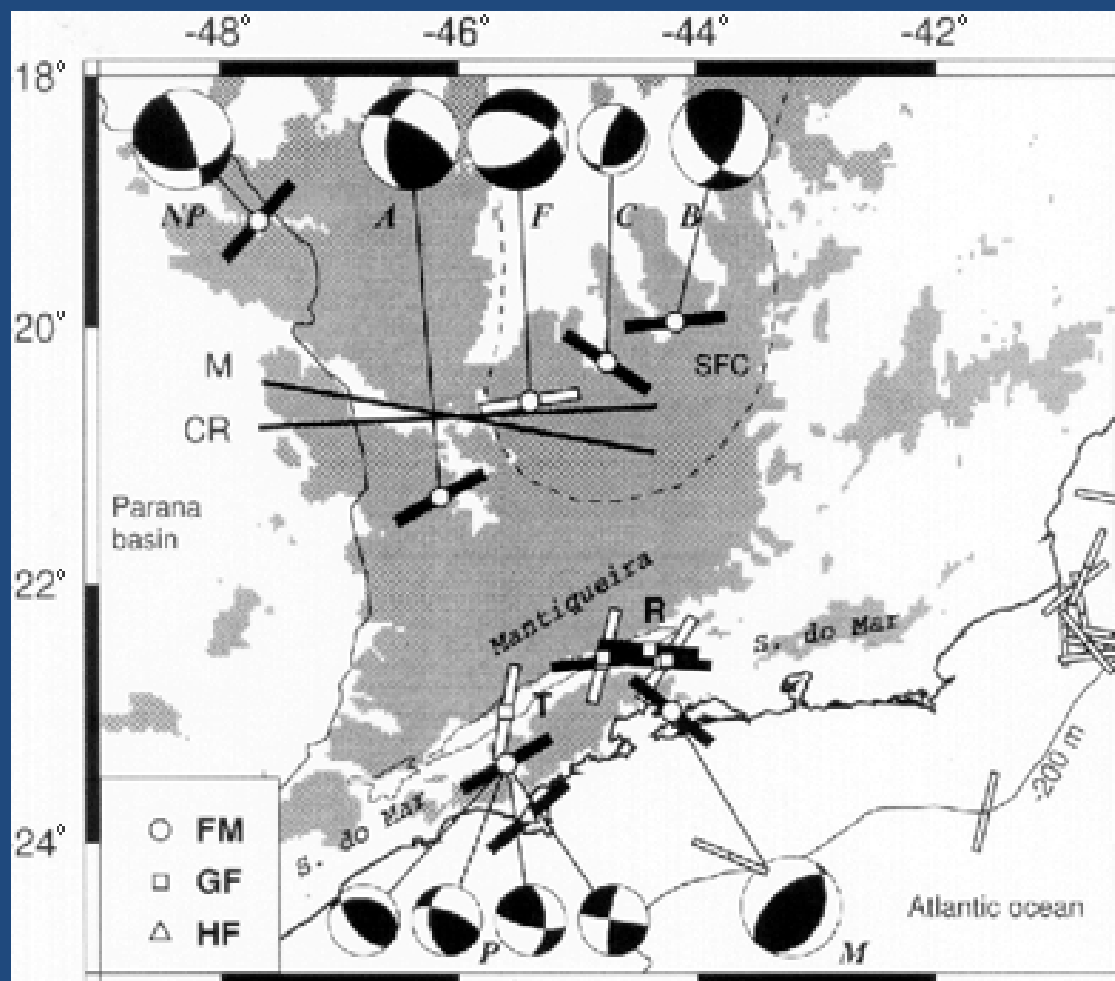
Estruturação pós-paleogênica



Movimentos tectônicos no sudeste Brasileiro



Dados de direção da compressão horizontal máxima (SH_{max}) no Sudeste do Brasil



Assumpção, M. et al. 1997)

Dados obtidos com mecanismos focais (FM), estrias em falhas geológicas recentes (GF), e fraturamento hidráulico (HF).

Barras cheias: falhas inversa/transcorrente;

Barras vazias: falhas normais.

Na plataforma: SH_{max} obtidos de "breakouts".

Mecanismos focais NP = Nova Ponte; A = Areado; F = Formiga; C = reservatório de Cajuru; B = Betim; M = Monsuaba (Berrocal et al., 1993); P = reservatório de Paraibuna (Mendiguren, 1980).

linhas "M" e "CR": direções de SH_{max} determinadas nos modelos de elementos finitos de Meijer (1995) e Coblenz e Richardson (1996).

T e R: bacias de Taubaté e Resende.

Região sombreada: altitudes > 800 m