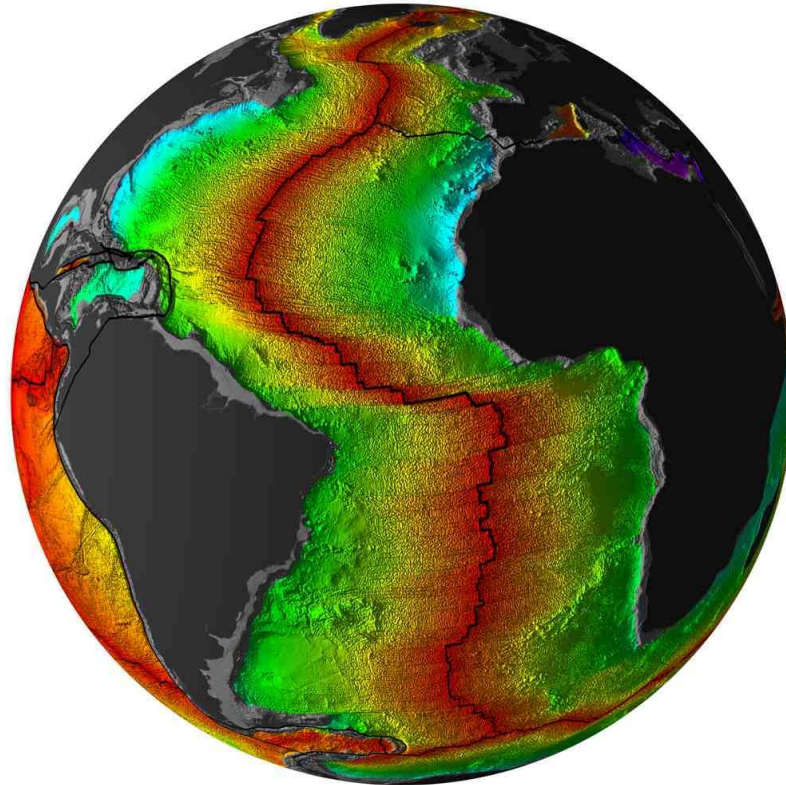


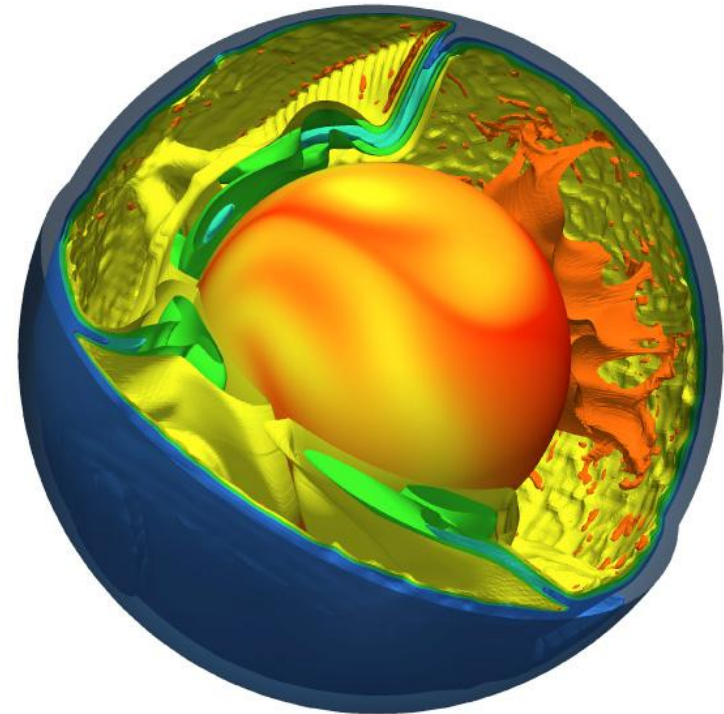
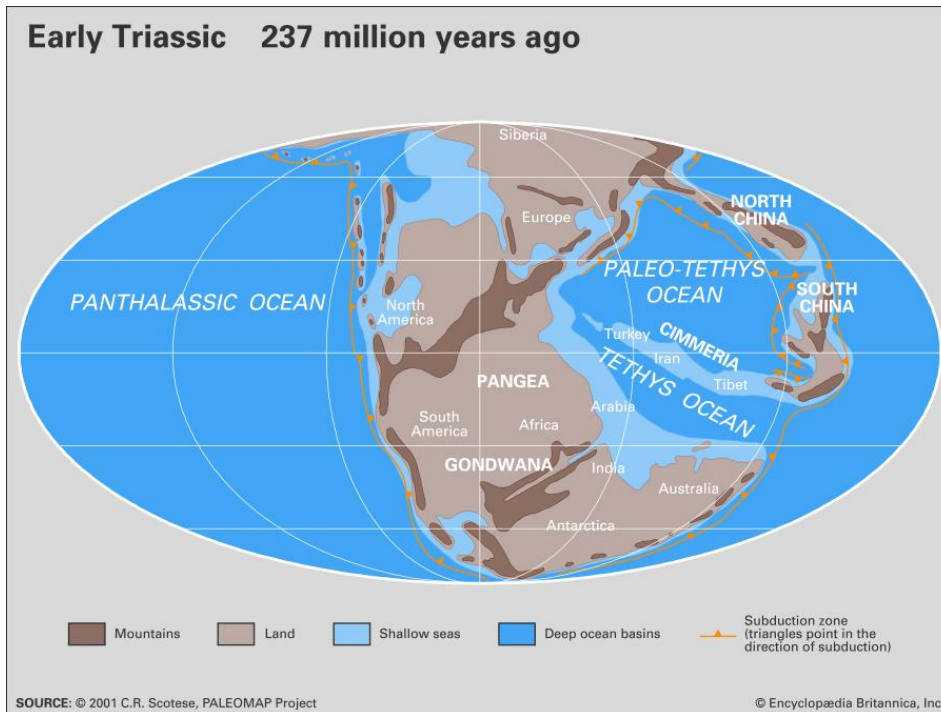
# DERIVA CONTINENTAL E TECTÔNICA DE PLACAS



**Eder Cassola Molina**  
**eder@iag.usp.br**

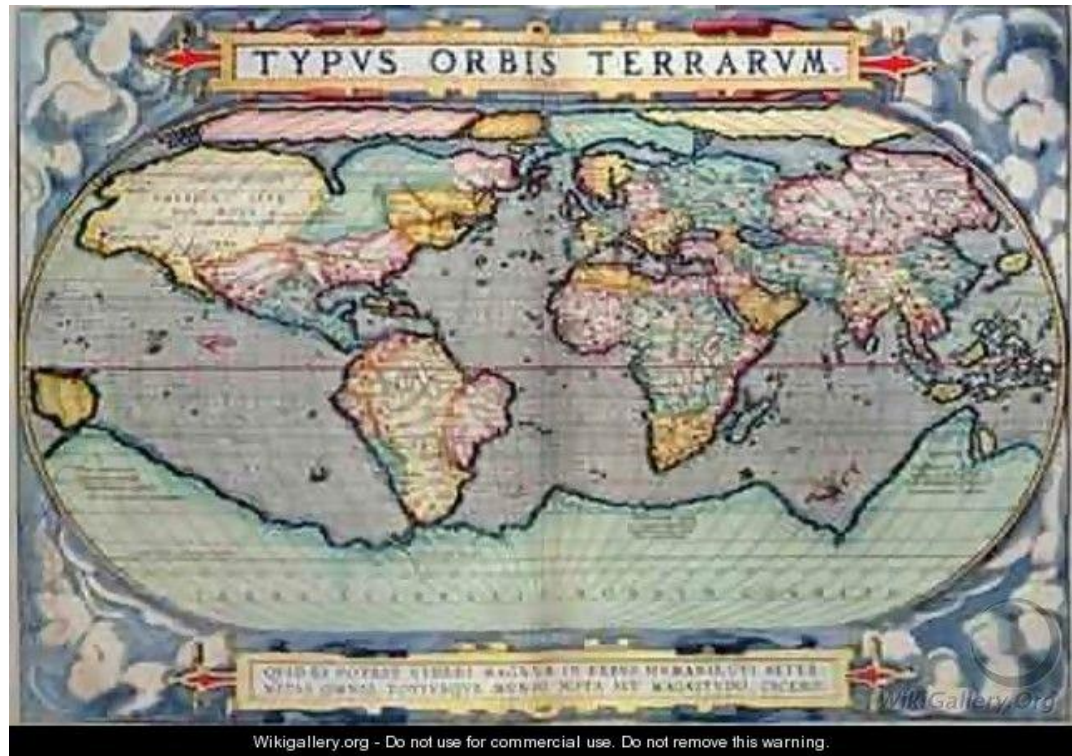
# A Tectônica de Placas

A teoria da Tectônica de Placas é muito recente, e tem trazido grande ajuda na compreensão dos fenômenos observados na Terra. Por outro lado, a possibilidade da mobilidade das massas continentais, que é um ponto fundamental da teoria, é uma ideia relativamente antiga, que têm intrigado os geocientistas há muito tempo...



# Abraham Ortelius - 1596

Abraham Ortelius, um elaborador de mapas, em 1596, sugeria que as Américas estavam juntas na antiguidade e tinham sido separadas da Europa e da África por terremotos e enchentes.





# O ajuste das linhas de costa

Ortelius afirmava que este fato era evidente se fosse elaborado um mapa com a junção destes continentes, verificando-se a coerência entre as linhas de costa.





# O ajuste das linhas de costa

Em algumas situações, o ajuste era impressionante. Ortelius, porém, não evoluiu muito a ideia, sem conseguir propor um mecanismo plausível para a origem desta configuração.

As maiores forças conhecidas que poderiam ser candidatas a causar o deslocamento de massas continentais eram provenientes de terremotos, enchentes e furacões, mas muito aquém do que seria necessário para tal façanha.



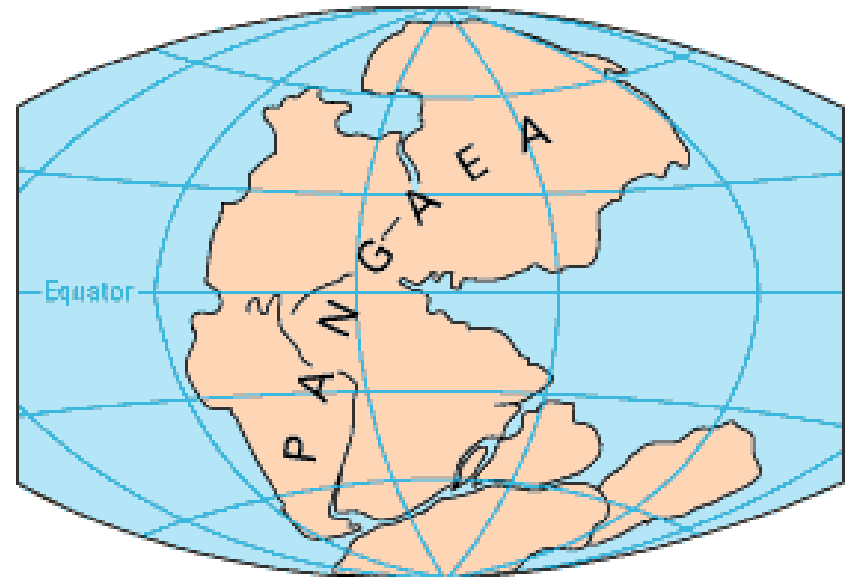
# Alfred Wegener

Em 1912, aos 32 anos de idade, Alfred Wegener, um meteorologista alemão, propunha a teoria da DERIVA CONTINENTAL.



# O supercontinente PANGEA

A teoria da Deriva Continental estabelecia que, há aproximadamente 200 milhões de anos, todas as massas continentais existentes estavam concentradas em um supercontinente, que ele denominou de PANGEA (“todas as massas”). O único oceano existente, por consequência, foi chamado de PANTALASSA (“todas as águas”).

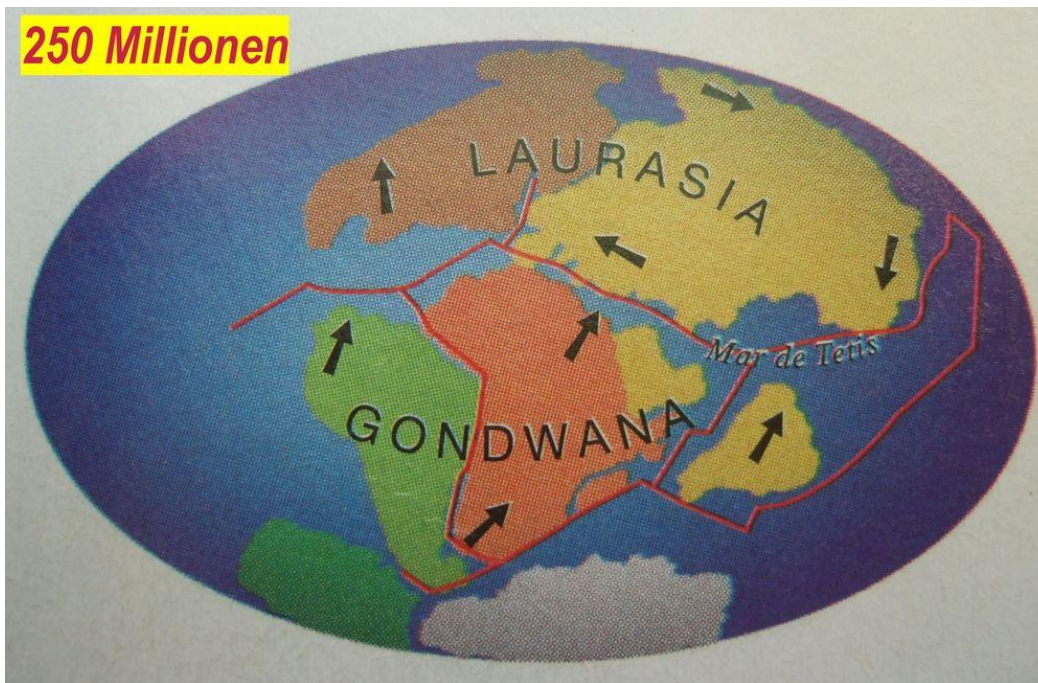


PERMIAN  
225 million years ago



# A quebra do PANGEA

A quebra do supercontinente PANGEA originaria, inicialmente, duas grandes massas continentais: a Laurásia no hemisfério Norte, e o Gondwana no Hemisfério Sul, segundo a nomenclatura proposta por Alexander Du Toit, um dos poucos defensores da idéia de Wegener.



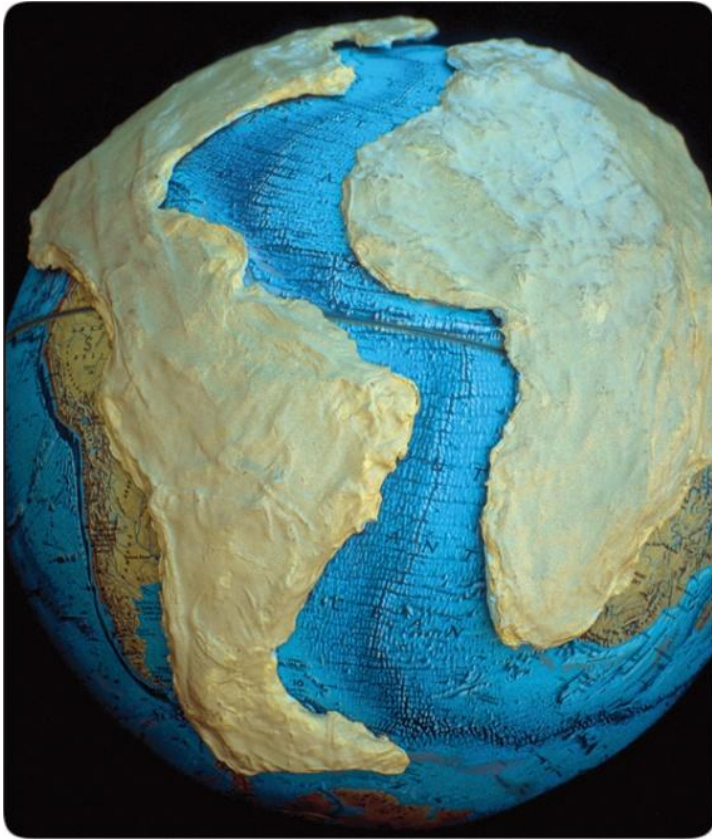
# A Laurásia e o Gondwana

A Laurásia e o Gondwana teriam a partir de então continuado o processo de separação, originando os continentes que conhecemos na atualidade.



# A deriva continental

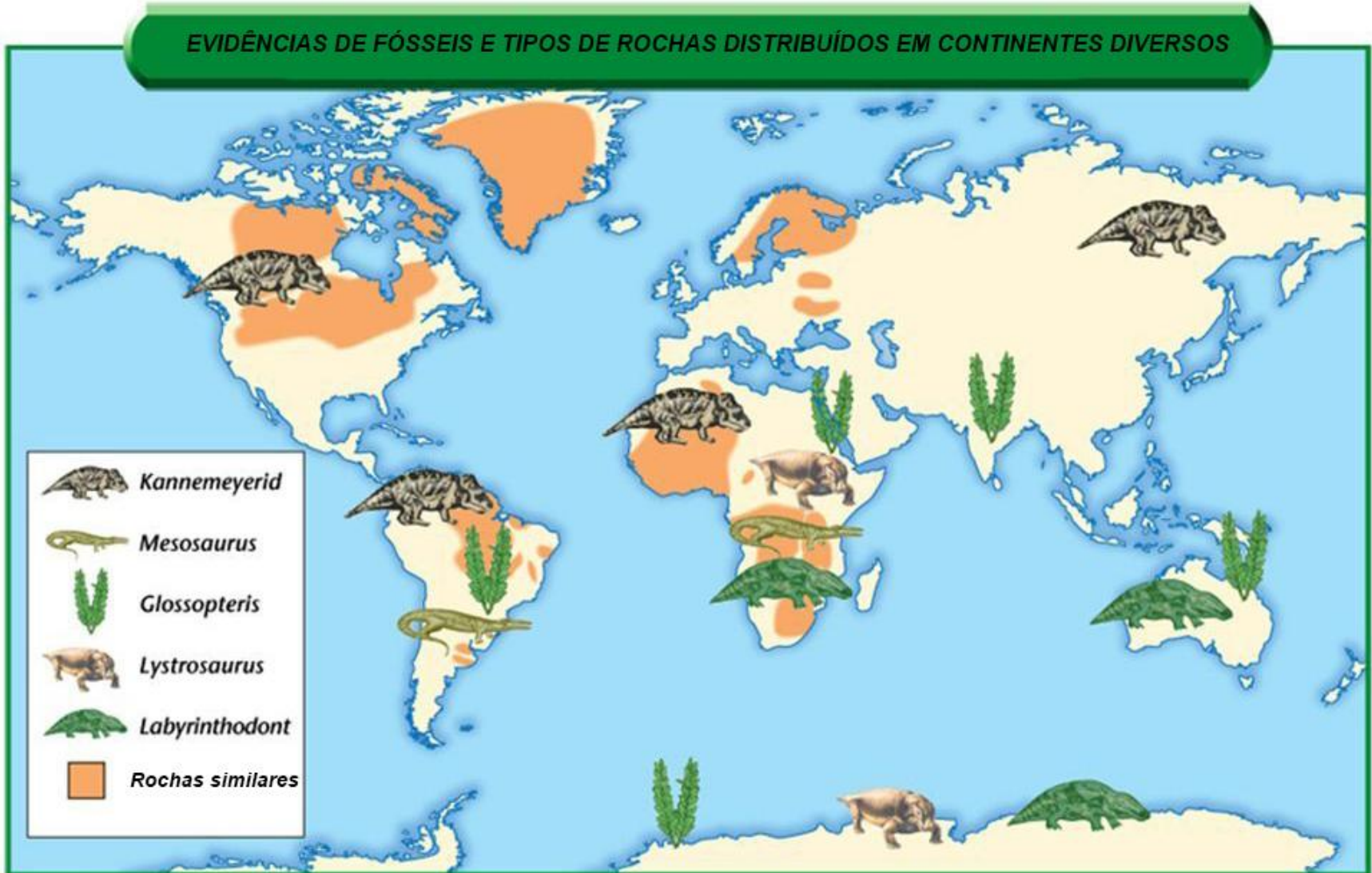
A teoria de Wegener se apoiava em diversas informações que ele havia conseguido por estudos de trabalhos publicados em diversas áreas de conhecimento, como por exemplo, similaridade entre as linhas de costa da América do Sul e África, já notada por Ortelius.





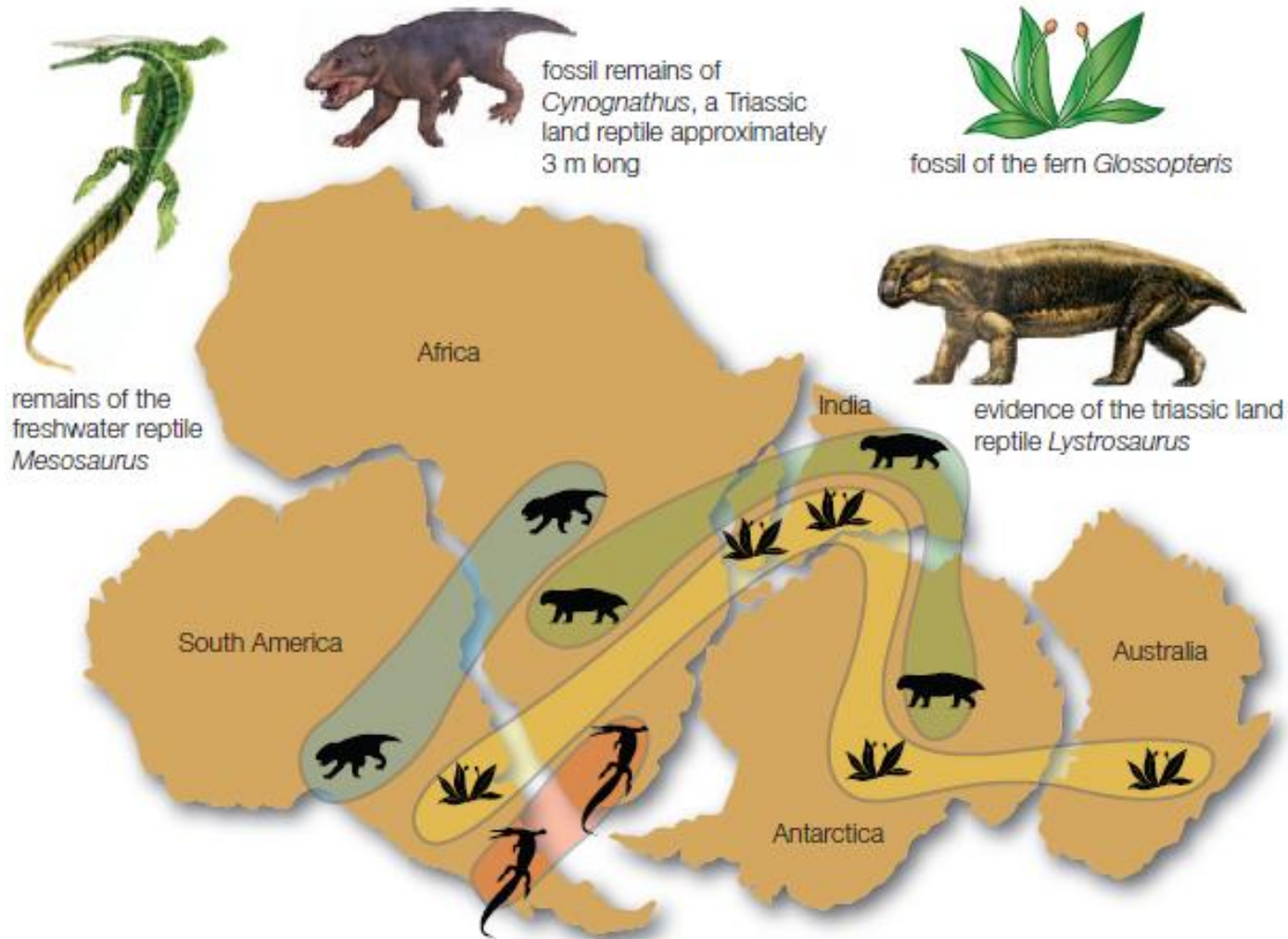
# As evidências de Wegener

Outra observação importante era relativa à distribuição de fósseis no continente Africano e Sul-americano.



# As evidências de Wegener

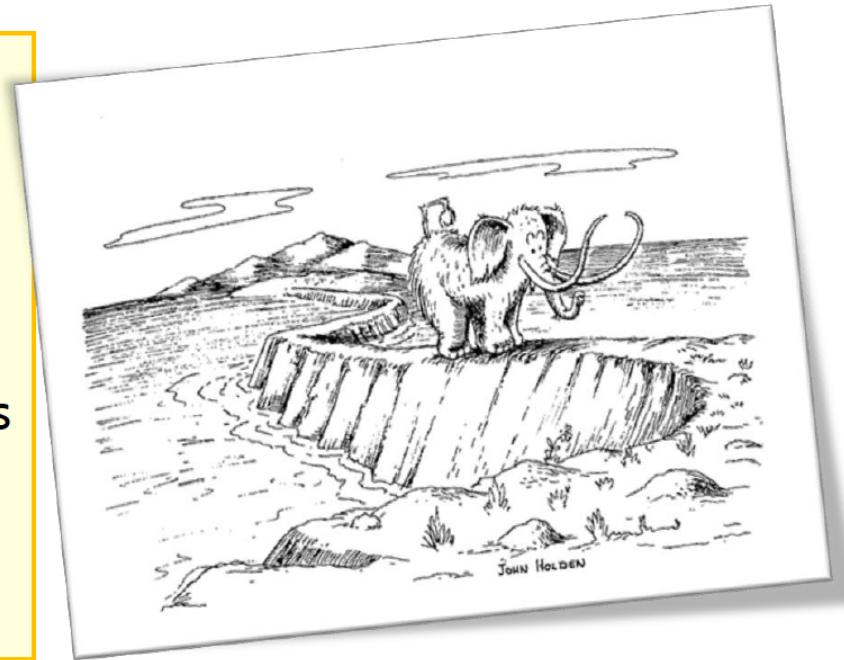
A distribuição de fósseis no continente Africano e Sul-americano fazia sentido com os continentes dispostos adequadamente, numa configuração diferente da atual.



# As evidências de Wegener

A distribuição de fósseis no continente Africano e Sul-americano fazia sentido com os continentes dispostos adequadamente, numa configuração diferente da atual.

Os geólogos que não aceitavam a hipótese da deriva dos continentes explicavam a existência do mesmo tipo de fósseis em continentes separados pelo oceano Atlântico, afirmando a possibilidade de terem existido “pontes intercontinentais”, através das quais os seres vivos poderiam ter migrado de um continente para outro.

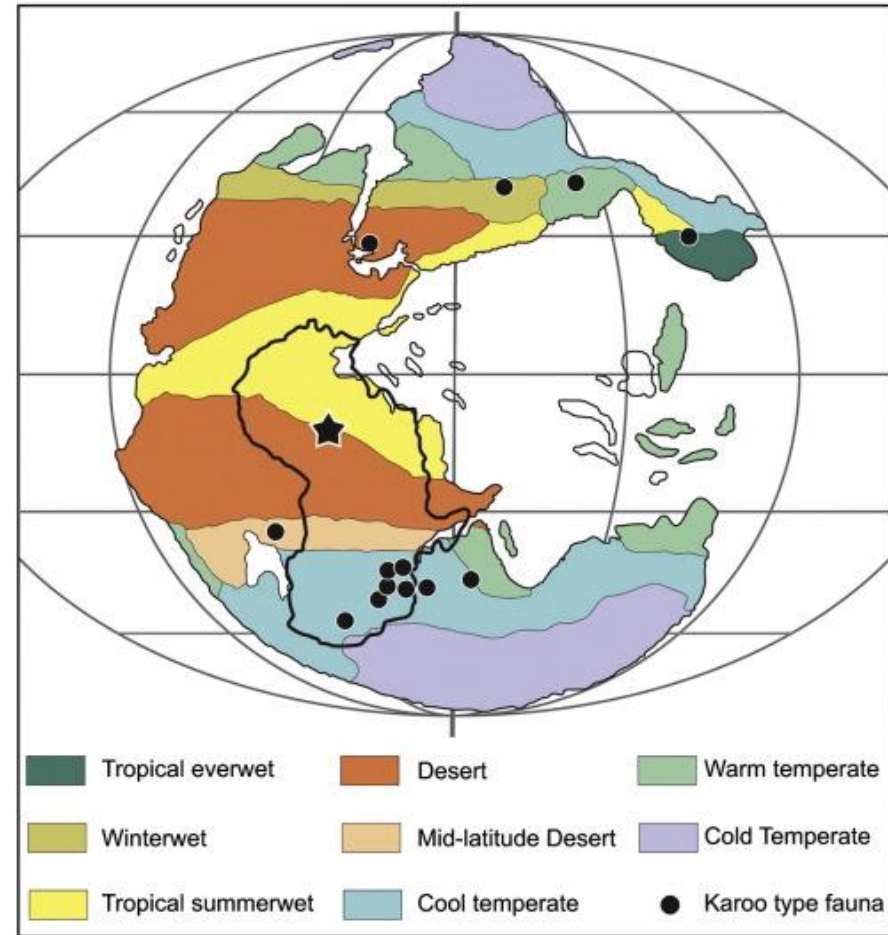




# As evidências de Wegener

Fósseis de espécies cuja sobrevivência se dava em condições muito específicas de clima foram encontrados nos mais diversos ambientes atuais.

Na configuração proposta por Wegener, as espécies apresentariam uma faixa de distribuição contínua e bem definida, dando suporte à teoria da mobilidade das massas continentais proposta por Wegener.



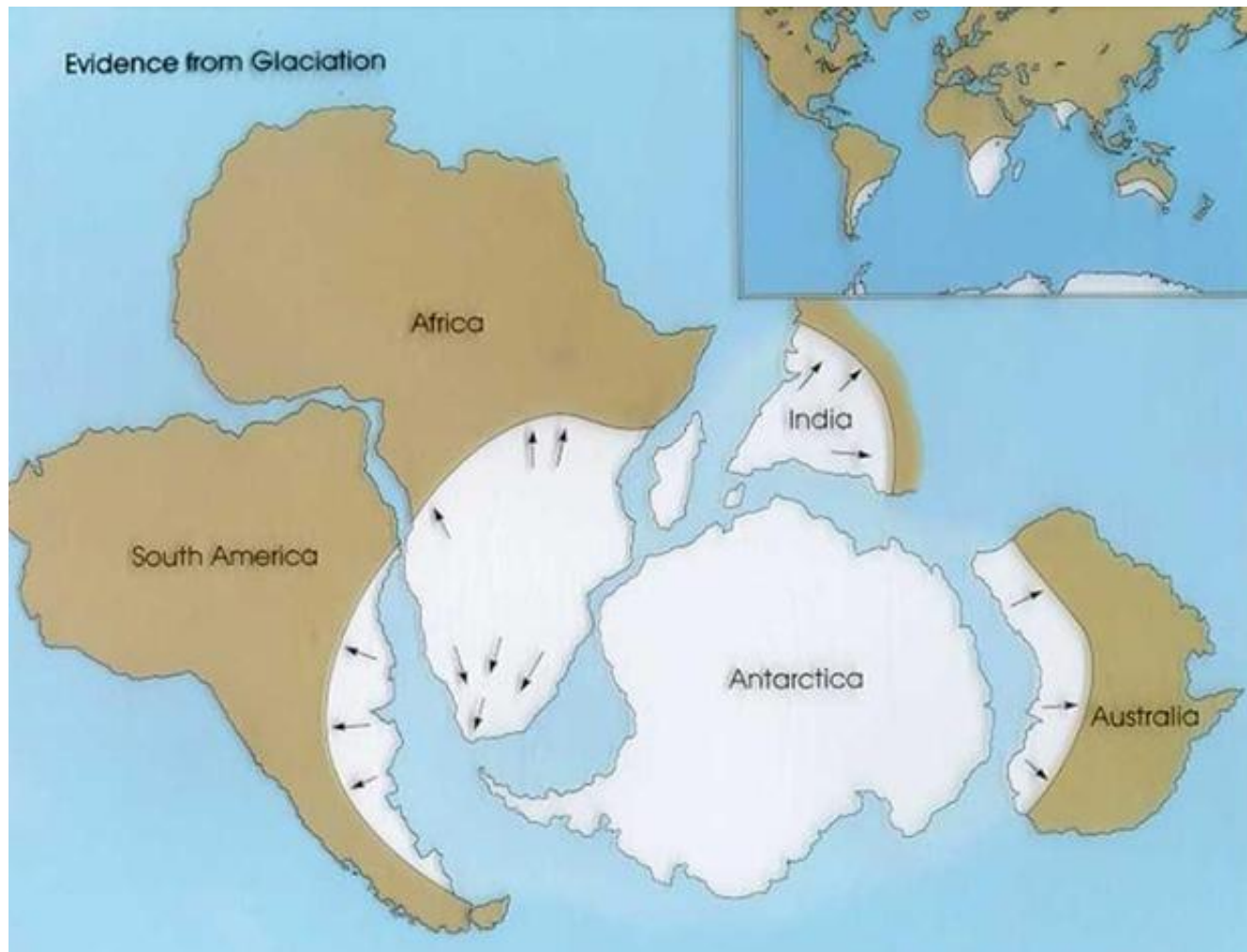
# As evidências de Wegener

Dramáticas mudanças nos climas observadas em todos os continentes, como a presença de sedimentos de origem glacial em locais onde hoje temos desertos, no caso da África, ou em ambientes tropicais, como São Paulo, não podiam ser explicadas para os continentes na posição atual.



# As evidências de Wegener

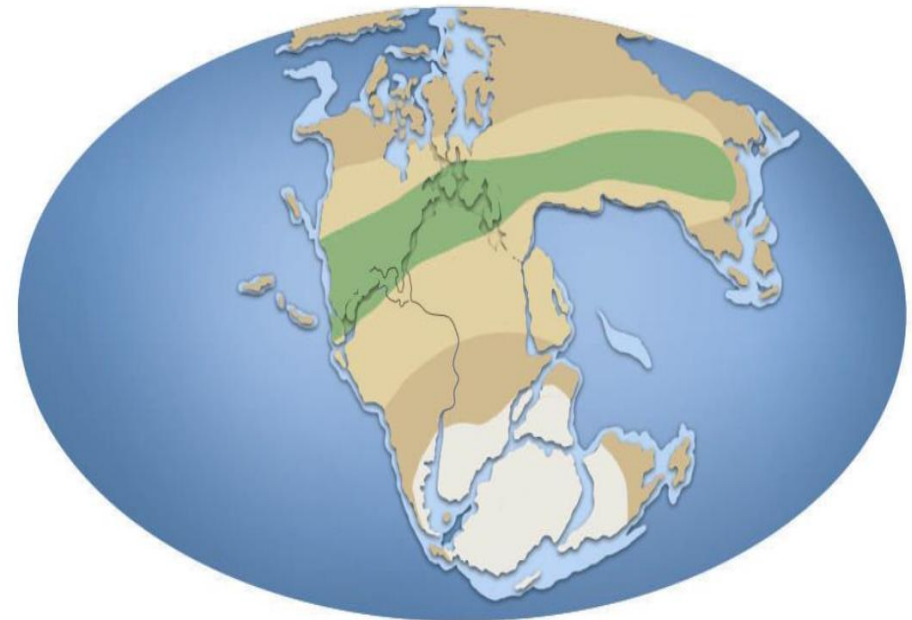
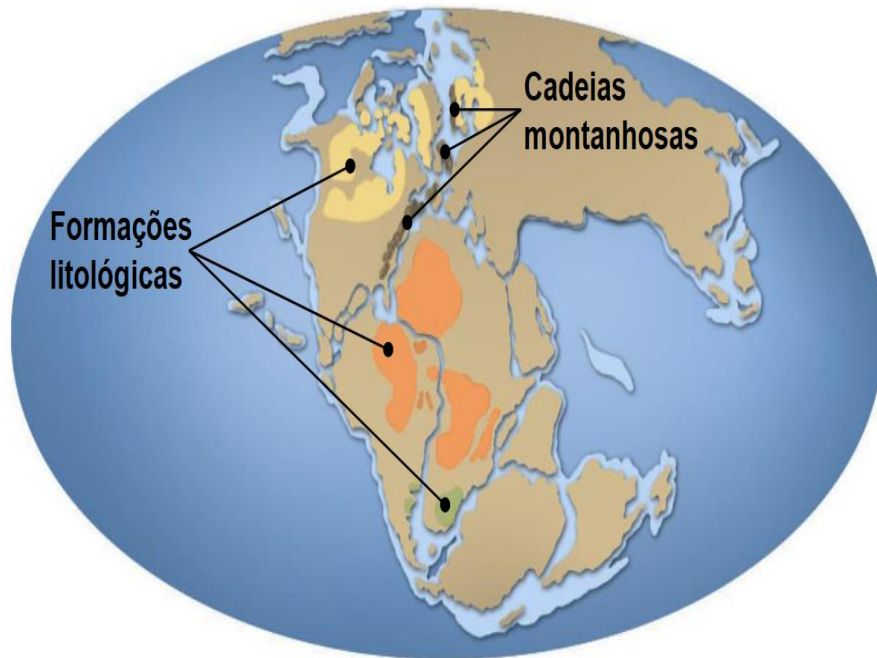
Com os continentes na configuração proposta por Wegener, as regiões com rochas de origem glacial apresentavam uma distribuição contínua e coerente.





# As evidências de Wegener

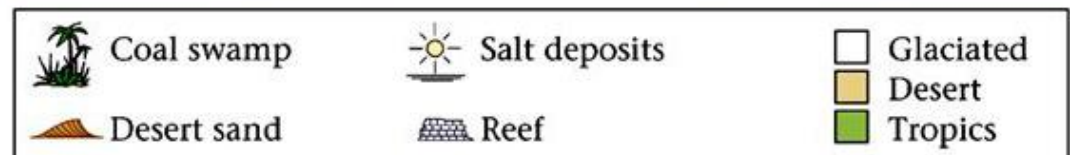
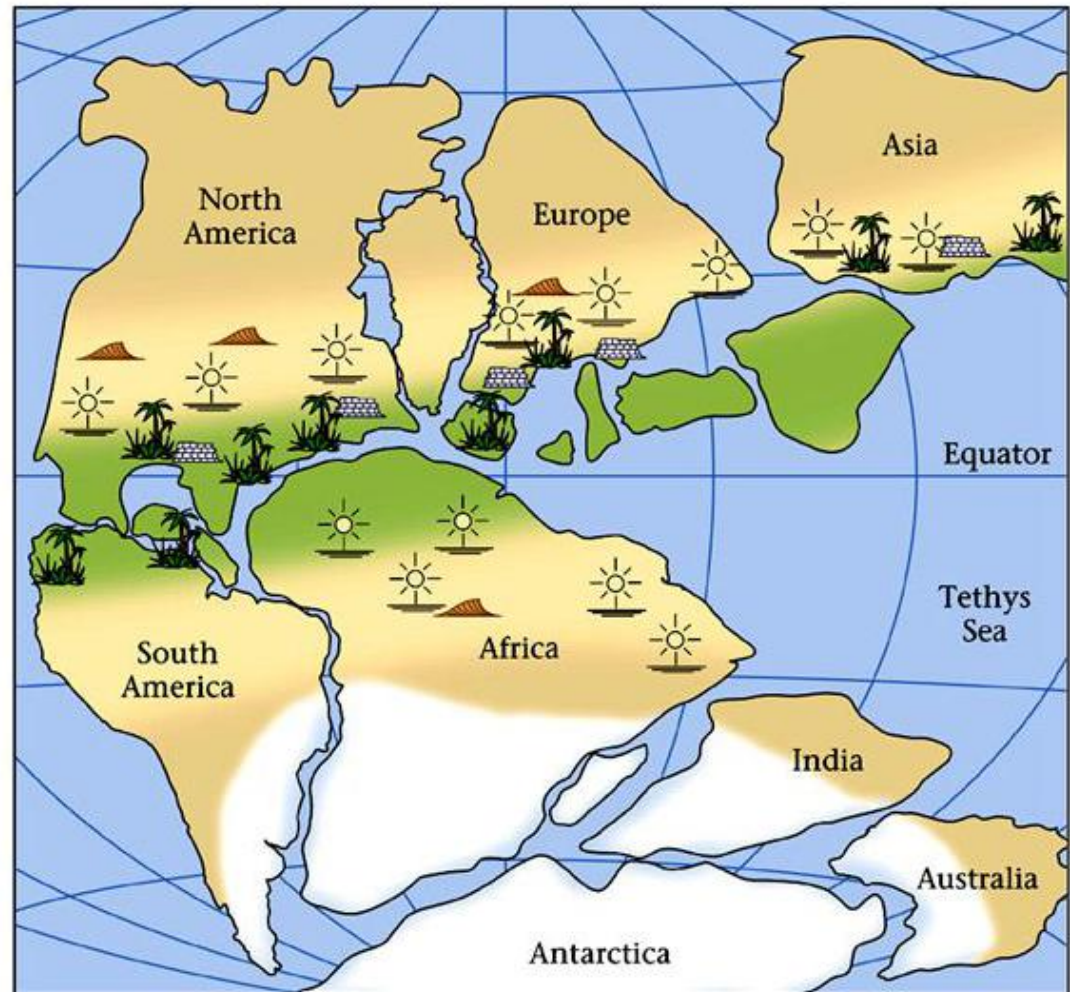
Com os continentes na configuração proposta por Wegener, as regiões com rochas de origem glacial, desértica, e de ambientes de pântano apresentavam uma distribuição contínua e coerente.



- Clima tropical
- Clima desértico
- Glaciares

# As evidências de Wegener

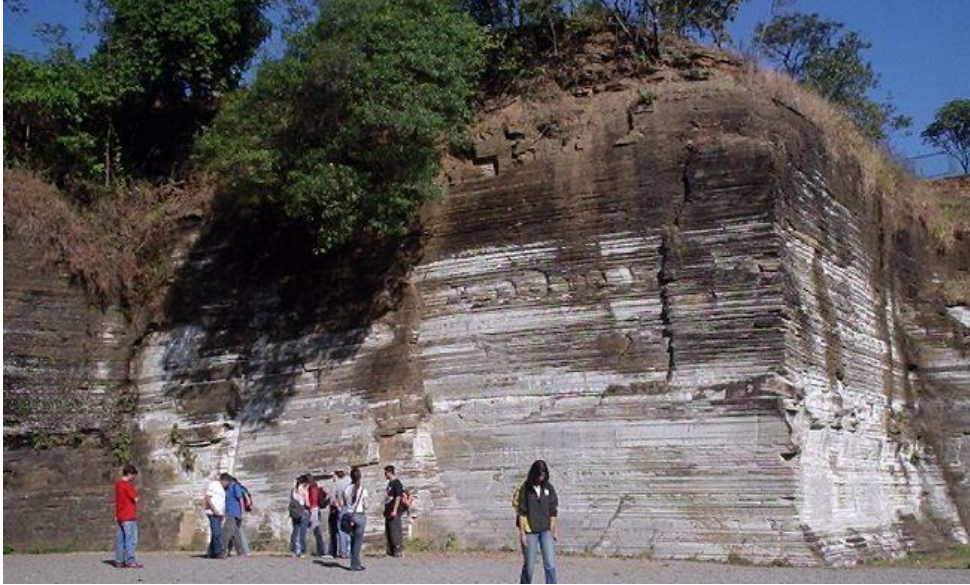
Com os continentes na configuração proposta por Wegener, as regiões com rochas de origem glacial, desértica, e de ambientes de pântano apresentavam uma distribuição contínua e coerente.





# As evidências de Wegener

Parque do Varvito – Itu – São Paulo



# As evidências de Wegener

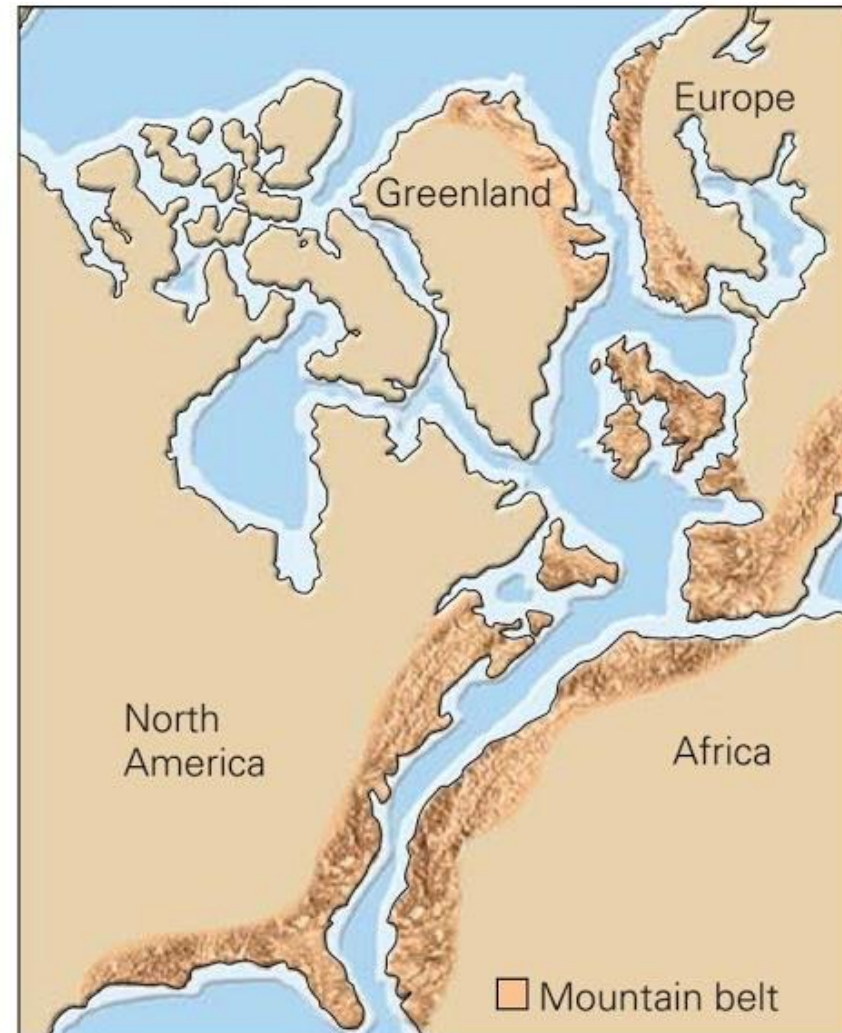
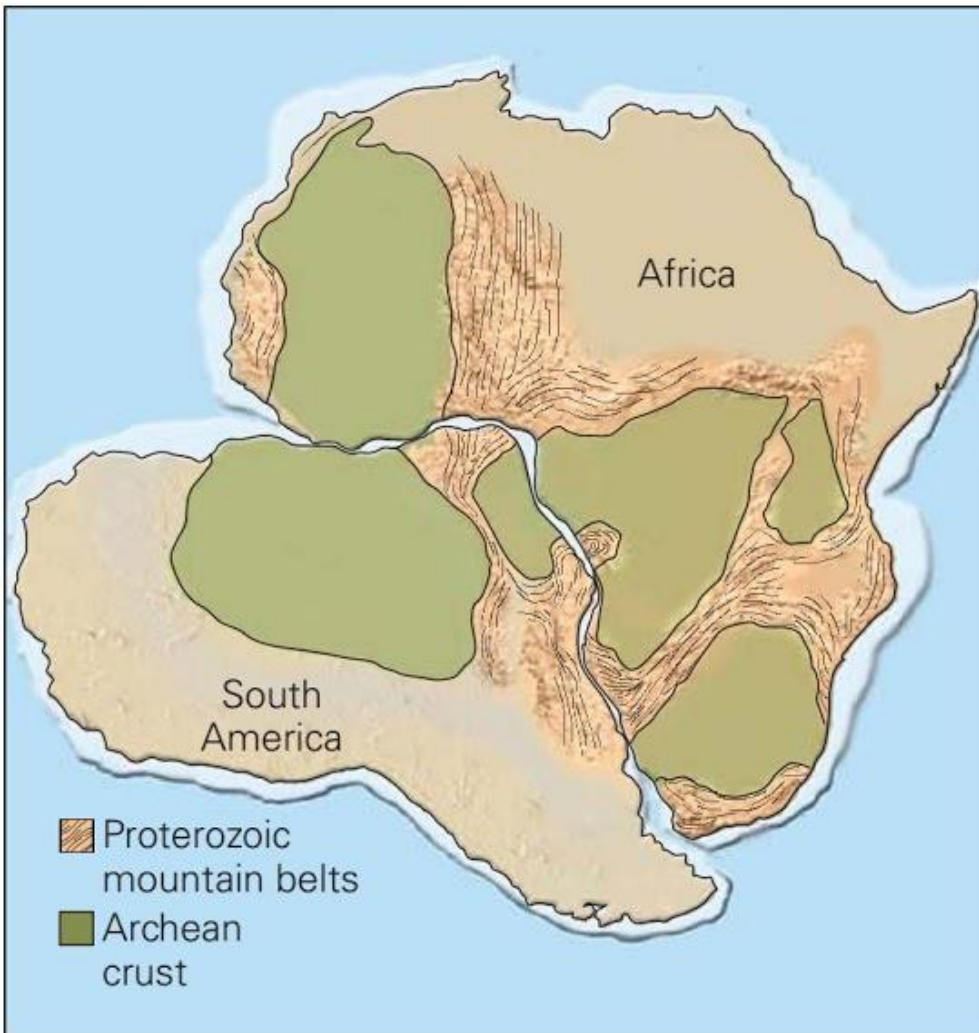
Algumas estruturas geológicas e fisiográficas que apresentavam continuidade além dos oceanos também não eram bem explicadas se os continentes sempre estiveram na posição que ocupam hoje na superfície terrestre.





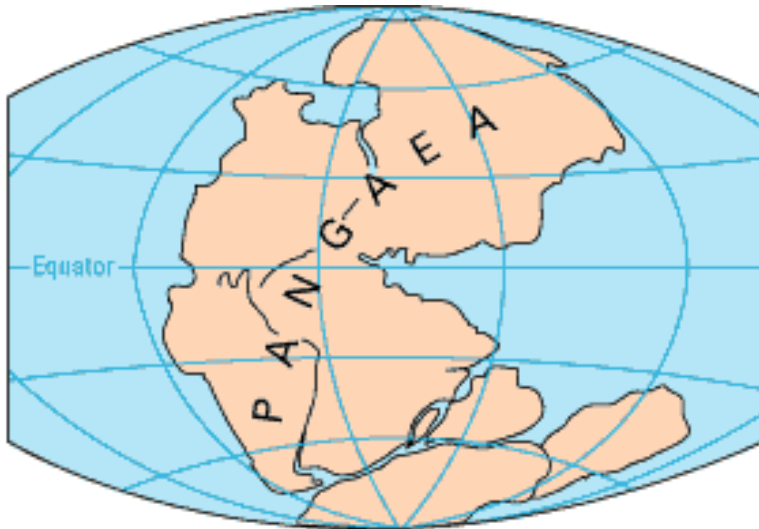
# As evidências de Wegener

Na configuração pré-separação, grandes estruturas hoje separados por oceanos apresentam-se contínuas.



# A teoria de Wegener

A teoria de mobilidade continental proposta por Wegener explicava bem a distribuição dos fósseis, o ajuste das linhas de costa, e as dramáticas mudanças nos climas observadas em ambos os continentes, bem como a continuidade de grandes feições fisiográficas cruzando oceanos.



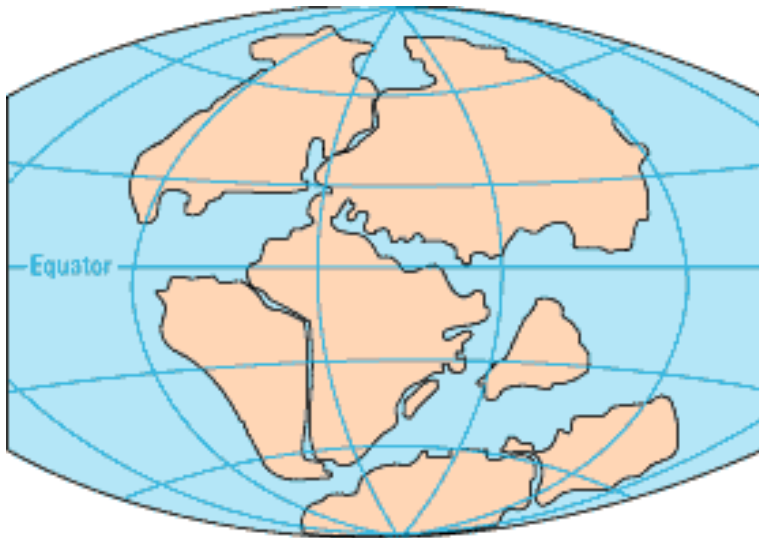
PERMIAN  
225 million years ago



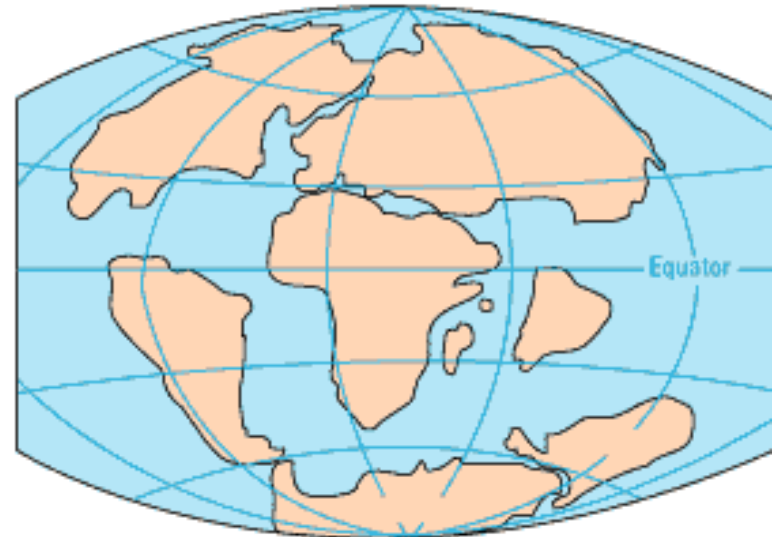
TRIASSIC  
200 million years ago

# A teoria de Wegener

A teoria de mobilidade continental proposta por Wegener explicava bem a distribuição dos fósseis, o ajuste das linhas de costa, e as dramáticas mudanças nos climas observadas em ambos os continentes, bem como a continuidade de grandes feições fisiográficas cruzando oceanos.



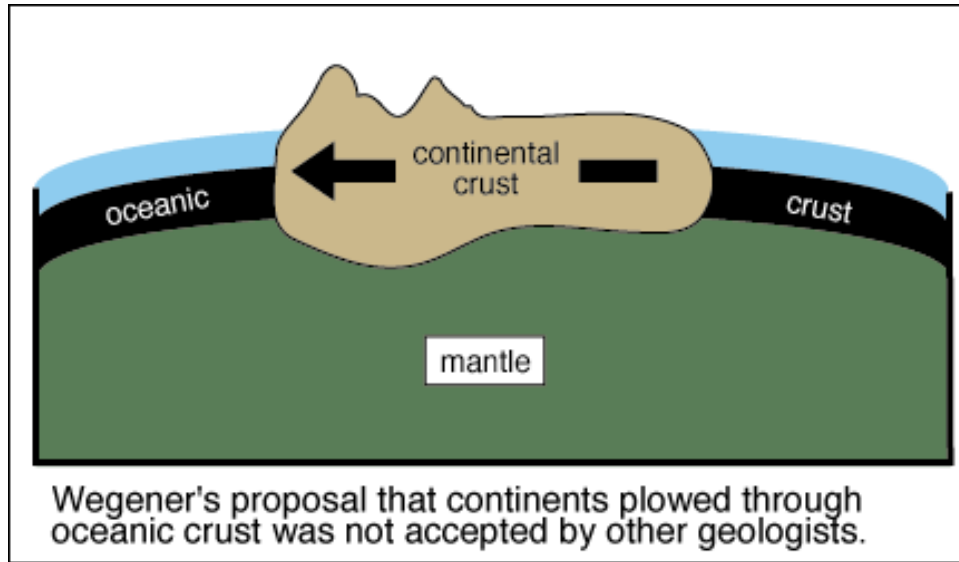
JURASSIC  
135 million years ago



CRETACEOUS  
65 million years ago

# O maior problema de Wegener

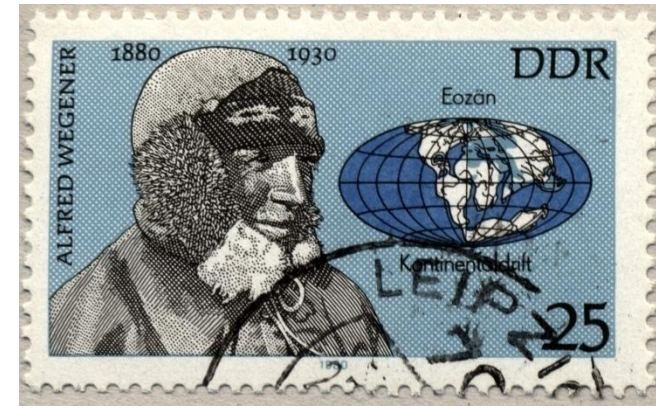
A pergunta fundamental que Wegener não conseguia responder era: *“que tipo de força conseguiria mover tamanhas massas a tão grandes distâncias?”*





# A morte de Wegener

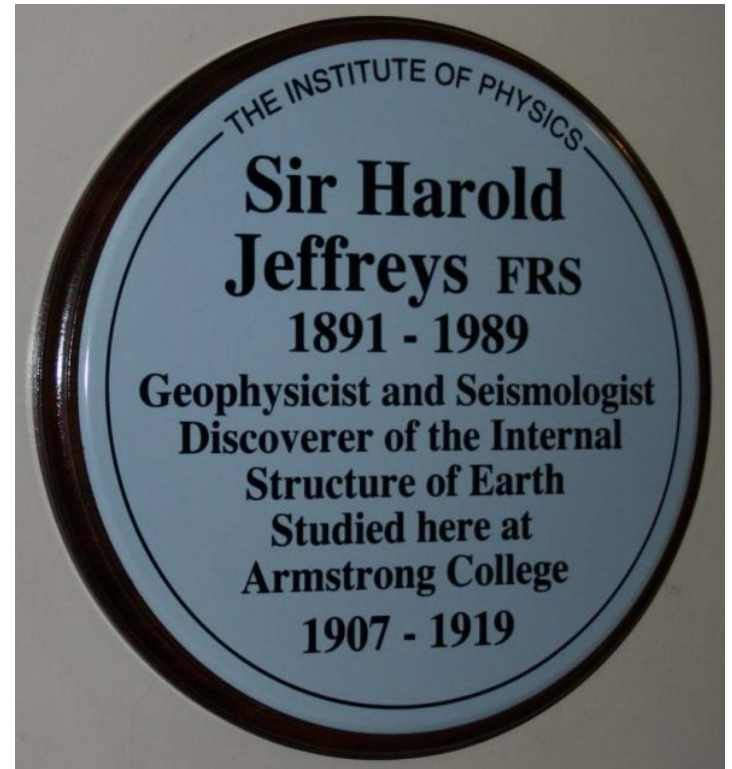
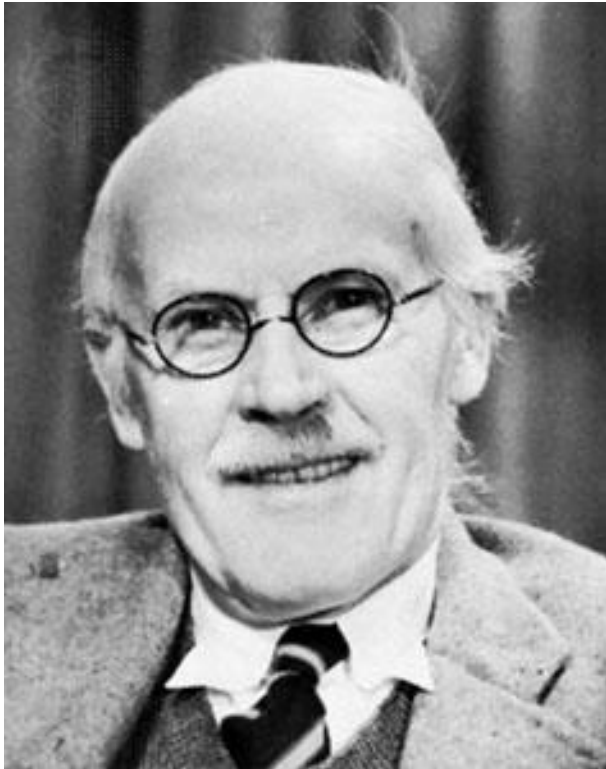
Alfred Wegener morreu durante uma expedição meteorológica à Groenlândia, em 1930. A idéia de comprovar a teoria da deriva continental ocupou toda a sua vida.



Uma das últimas fotos de Wegener, em novembro de 1930, pouco antes de partir para a sua derradeira expedição na Groenlândia.

# A Terra pós-Wegener

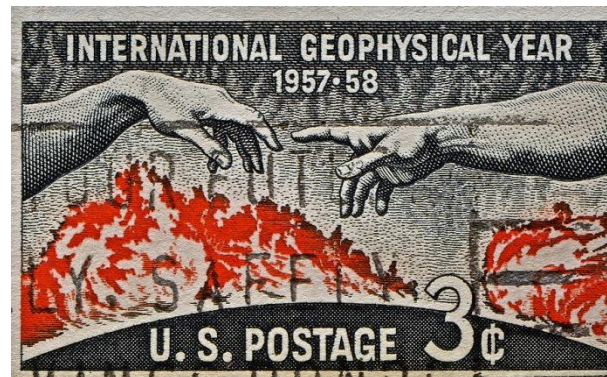
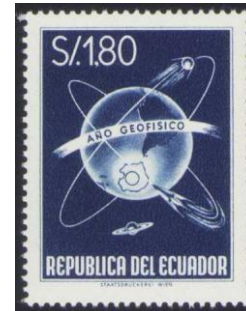
A teoria de Wegener foi muito contestada nos anos seguintes à sua morte, com o principal ponto negativo sendo o fato de que as massas continentais não poderiam se movimentar pelos oceanos da maneira proposta sem se fragmentar inteiramente, o que foi demonstrado por Harold Jeffreys, um renomado sismólogo inglês.





# A Terra pós-Wegener

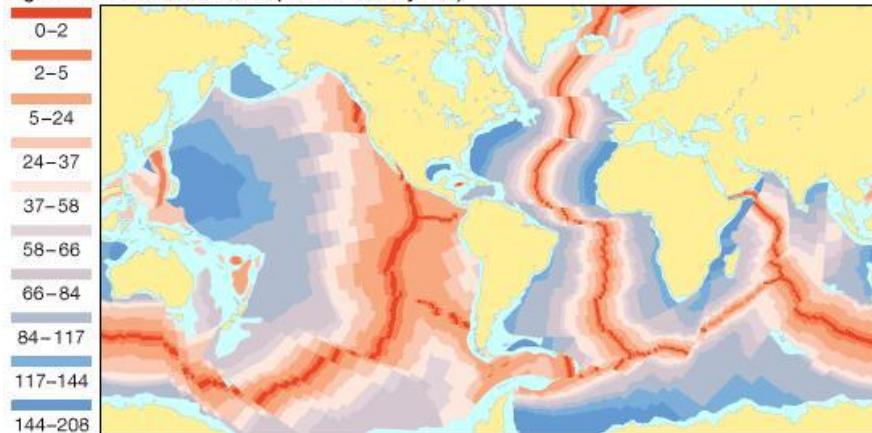
No início da década de 1950, porém, as idéias de Wegener foram retomadas, face a novas observações e descobertas científicas, ligadas especialmente aos oceanos. Um novo debate surgiu sobre as provocativas idéias de Wegener e suas implicações.



# Ideias de Wegener

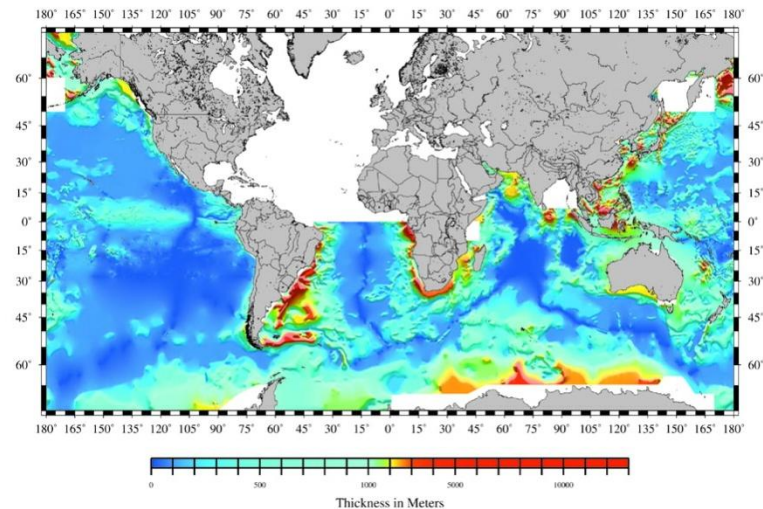
Algumas outras contribuições de Wegener na área diziam respeito à idade do assoalho oceânico. Ele percebeu que os oceanos mais rasos eram mais jovens, ou seja, que a crosta oceânica mais profunda é mais velha. Esta informação foi importante para a evolução da idéia da deriva continental para a teoria da TECTÔNICA DE PLACAS.

Age of Earth's oceanic crust (in millions of years)



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

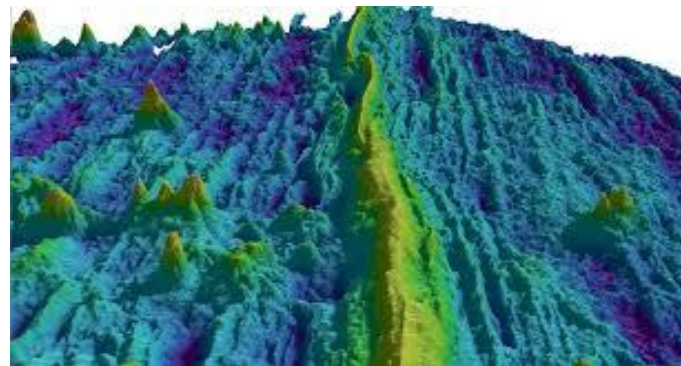
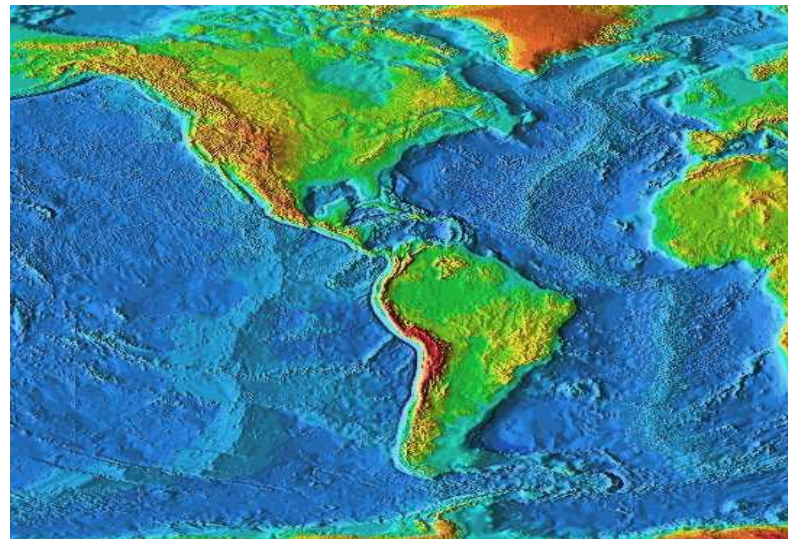
Total Sediment Thickness  
Database in Progress





# O assoalho oceânico irregular

Durante as guerras mundiais, muito esforço foi feito para um mapeamento preciso do fundo oceânico, resultando em uma imagem inesperada: um assoalho “*enrugado*”, com montes e depressões, o que foi constatado quando da necessidade da implantação de cabos telegráficos submarinos. Foram descobertas enormes cadeias de montanhas submarinas, situadas no meio do oceano Atlântico.

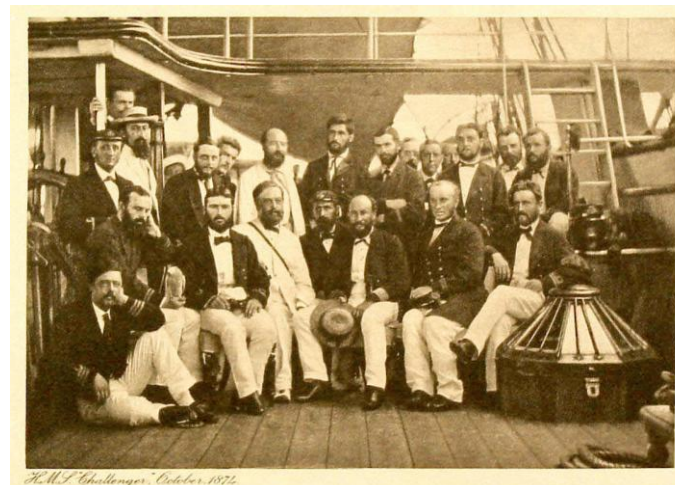


# O assoalho oceânico irregular

- Medidas antigas usando cordas e pesos como bolas de canhão sugeriam que o fundo oceânico era bastante complexo;

- Em 1854 Matthew Fontaine Maury identificou em seu mapa um platô no meio do Atlântico Norte;

- Nos anos 1870, medidas a bordo do HMS Challenger mostravam uma elevação no Atlântico Central, e medidas de temperatura indicavam que havia uma compartimentação entre duas porções da bacia oceânica na região.



*H.M.S. Challenger, October, 1872.*

# O assoalho oceânico irregular



During World War II, Ewing and Joe Worzel, working at Woods Hole, had developed the continuous echo sounder for the Navy. With this new instrument, depth measurements could be made nonstop and round-the-clock. A sound signal, usually an electronic ping, would be sent out at a regular interval, and a microphone inside the hull of the ship would pick up the echo. As a ping was sent out, a stylus would be set in motion downward across a continuously spooled strip of four-inch-wide paper. When the echo returned, the stylus would mark the recording paper by burning it with an electric spark. The result was an uninterrupted profile of seafloor depths along the ship's course.



# Marie Tharp e o fundo oceânico

I never would have gotten the chance to study geology if it hadn't been for Pearl Harbor. Girls were needed to fill the jobs left open because the guys were off fighting. A year after the war started, the geology department at the University of Michigan opened its doors to women.

In 1943, about ten of us girls responded to one of their fliers, which promised a job in the petroleum industry if we got a degree in geology. It seemed like something I could do. I earned a master's degree and got a job with Stanolind Oil and Gas Co. in Tulsa, Oklahoma.



**Marie Tharp** (July 30, 1920 – August 23, 2006)



# O assoalho oceânico irregular



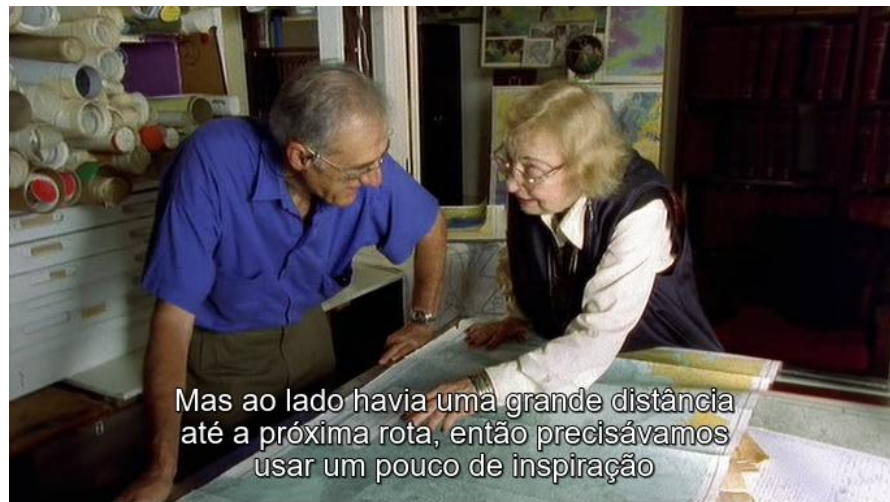
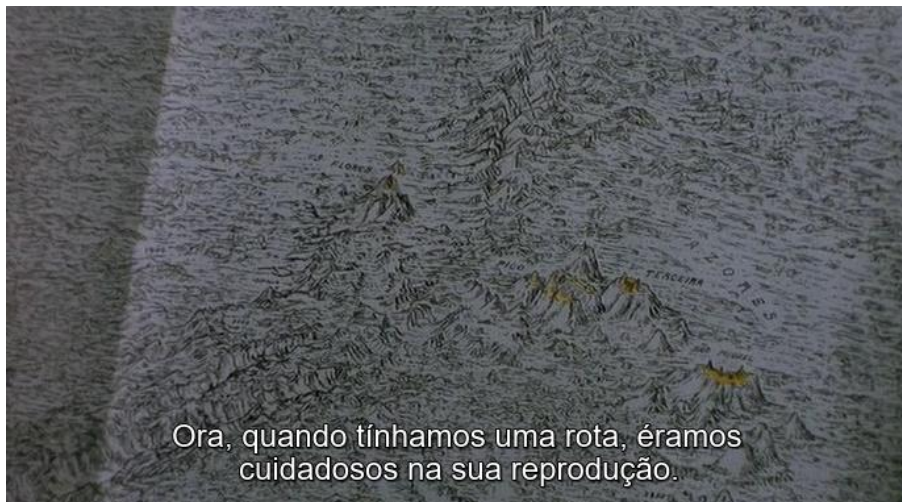
Duas das primeiras pessoas a fazer isso foram Bruce Heezen e sua colega Marie Tharp.



Seus mapas finalmente começaram a revelar como o fundo do oceano se parecia.

Hester Haring and I went to work in 1952 at drafting tables in a lab on the second floor of Lamont Hall, near Bruce's office with its coveted private study (a former Lamont bathroom). First, Hester would plot the depths from the sounding data. Then we plotted profiles with significant selected depths along the ship's course. The profiles had to be drawn in a consistent manner. Any mistakes and someone like Bruce or I would scrawl a message like, 'Plotted Backwards!' on the profile and have it redrawn. Bruce and I would then compare the depths on the profiles with the original soundings.

# O assoalho oceânico irregular

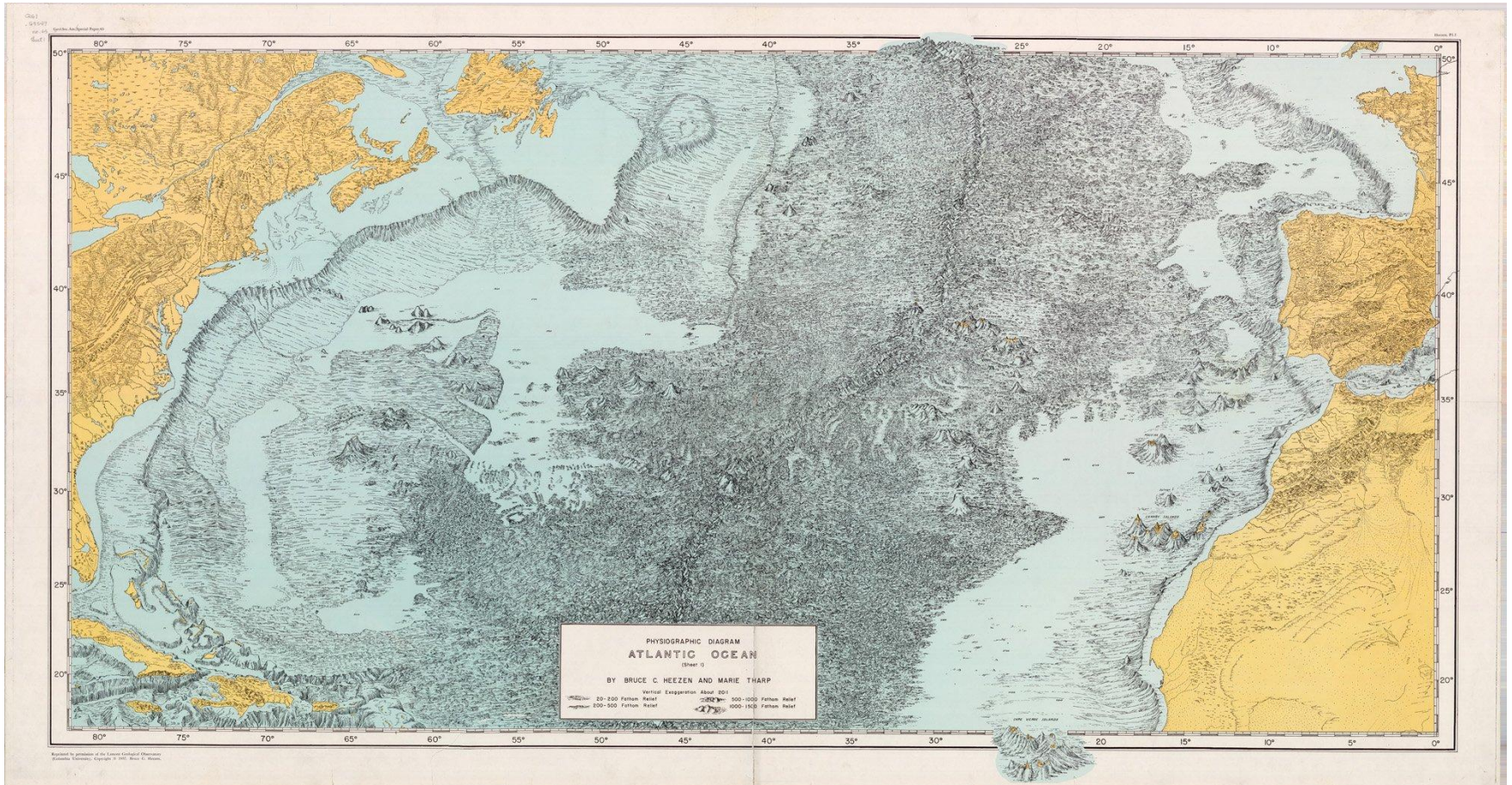


Meanwhile, I had extended the Mid-Atlantic Ridge and rift valley into the South Atlantic, using data from another legendary oceanographic expedition, the 30 trans-South Atlantic cruises of Germany's Meteor in 1925-27. Sounding data from those cruises would have confirmed right then that the Mid-Atlantic rise extended into the South Atlantic and that it was not broad and gentle, as Maury and Thomson had thought, but narrow and extremely rugged.



# O assoalho oceânico irregular

Sounding data from those cruises would have confirmed right then that the Mid-Atlantic rise extended into the South Atlantic and that it was not broad and gentle, as Maury and Thomson had thought, but narrow and extremely rugged.



# O assoalho oceânico irregular

Bell Laboratories was interested in laying new cables and asked Bruce to help determine the best locations for them. Bruce hired Howard Foster, a deaf graduate of the Boston School of Fine Arts, to plot the location of recorded earthquake epicenters in the oceans. In this pre-computer era, Howard had to plot tens of thousands of earthquakes by hand.

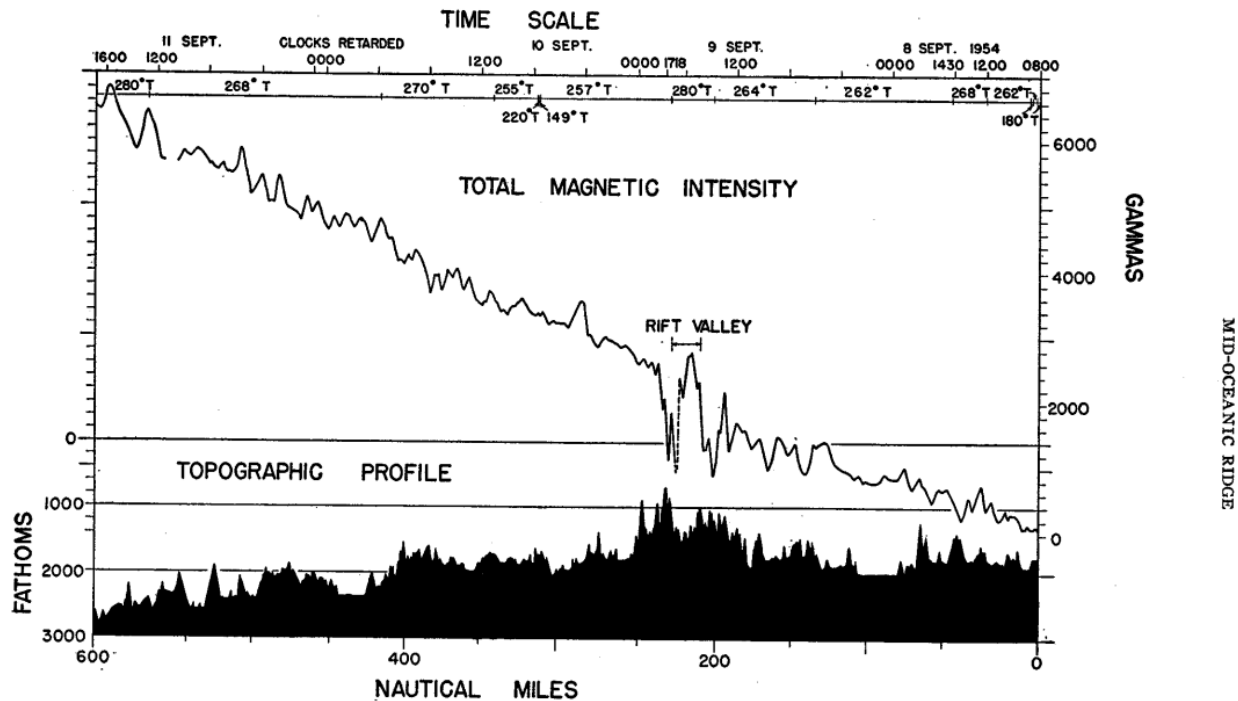


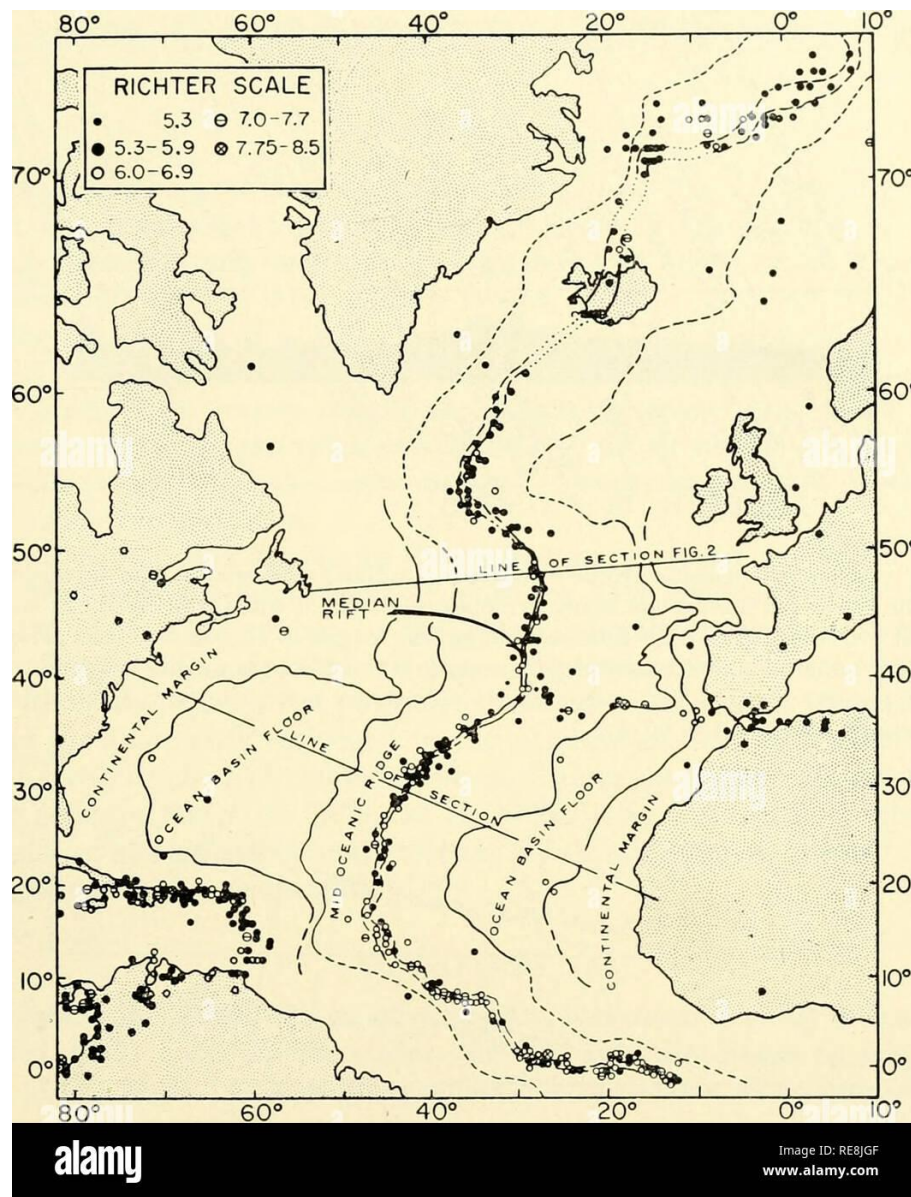
FIGURE 48.—Profile of total magnetic intensity and topography, Mid-Atlantic Ridge  
Soundings made with PDR. Magnetic measurements made with fluxgate total-intensity magnetometer. Magnetic values in gammas relative to an arbitrary zero.



# O assoalho oceânico irregular

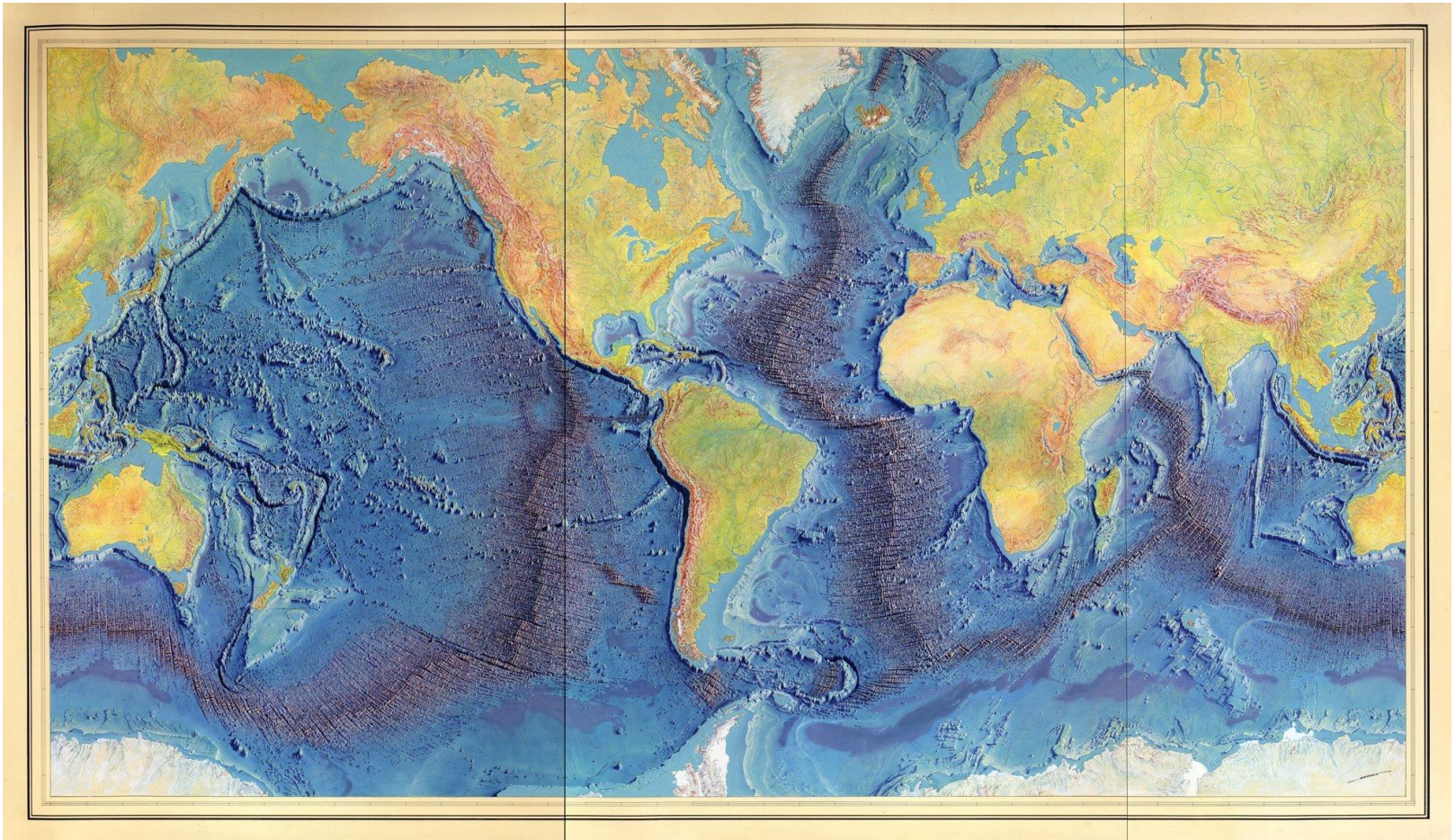
While I was at my map table, plotting the position of the Mid-Atlantic Ridge and the alleged valley, Howard sat at an adjoining table making the map of oceanic earthquake locations. Both maps were created on the same scale, as Bruce insisted.

The earthquake epicenters weren't as precisely located as our sounding data. Their positions could sometimes only be located anywhere within an abominably wide range of several hundred miles. But when Bruce accounted for this, he noticed that a nearly continuous line of earthquake epicenters ran down the center of the Mid-Atlantic Ridge.





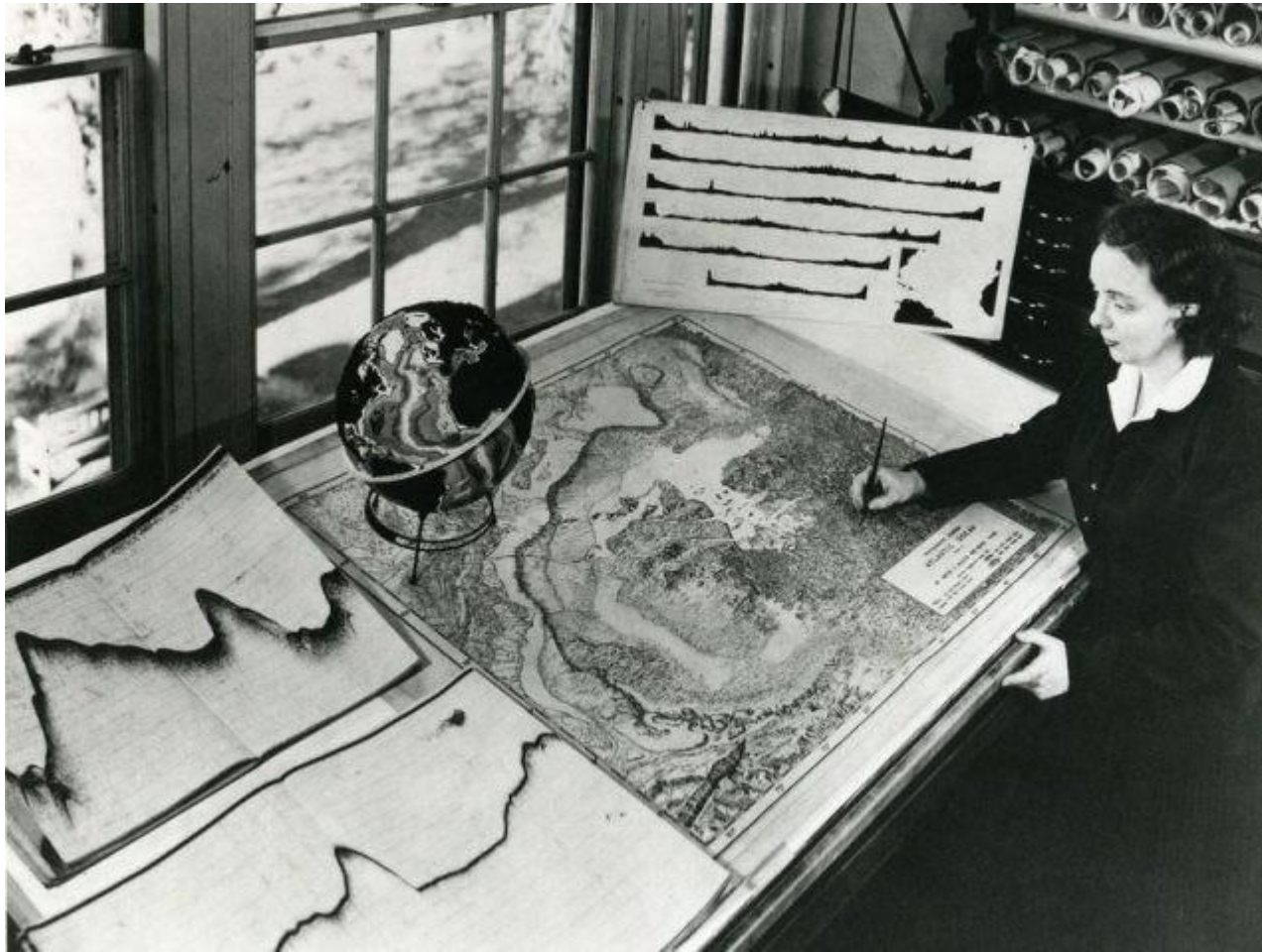
# O assoalho oceânico irregular



Recognizing the validity of the correlation between earthquakes and the rift valley, we plotted the position of the valley by using earthquake epicenters for locations where there were no soundings.

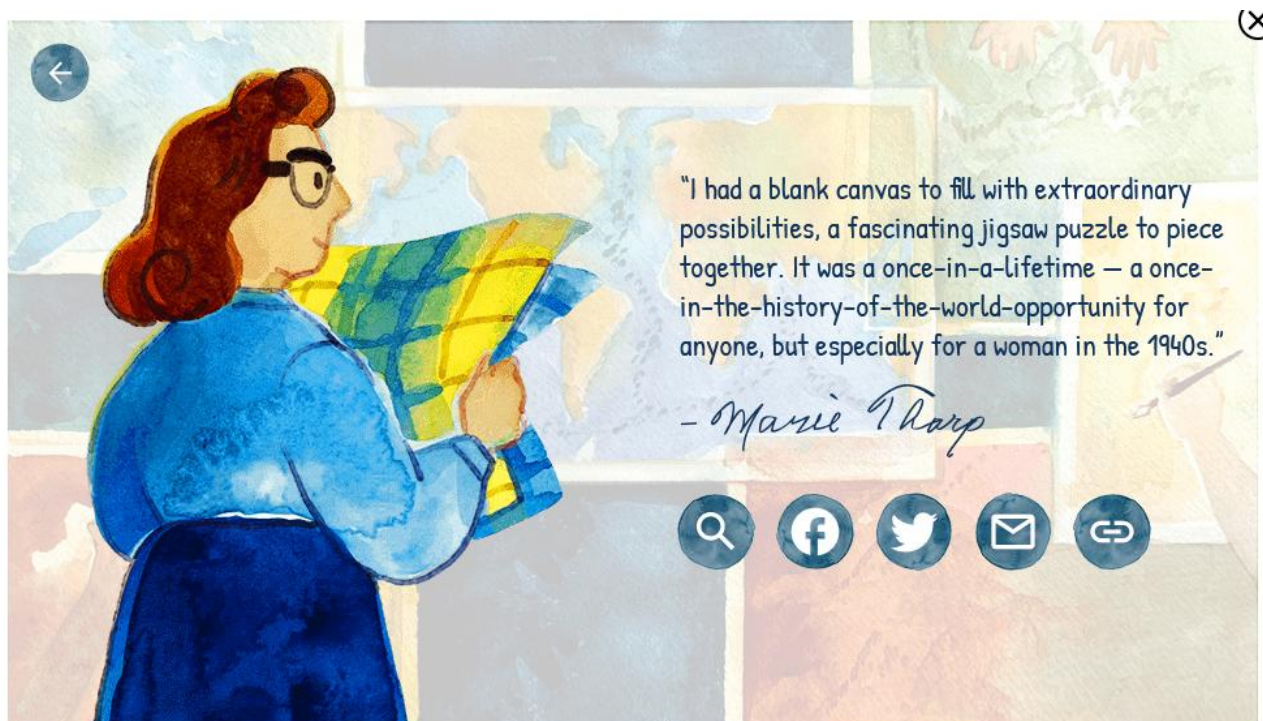


# Marie Tharp e o fundo oceânico





# Marie Tharp e o fundo oceânico



<https://www.google.com/doodles/celebrating-marie-tharp>

# A idade do assoalho oceânico

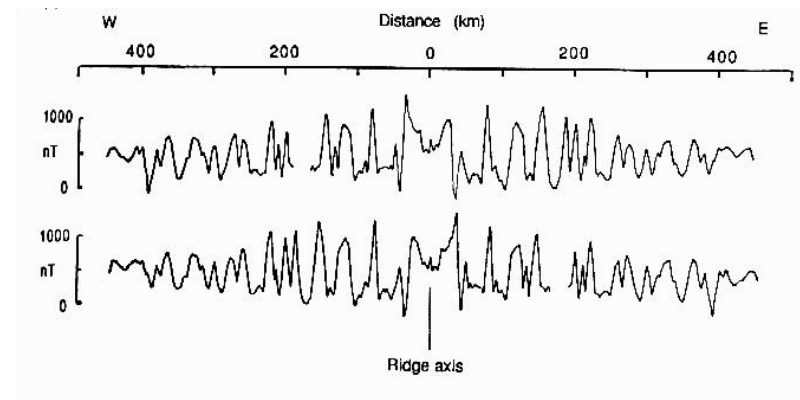
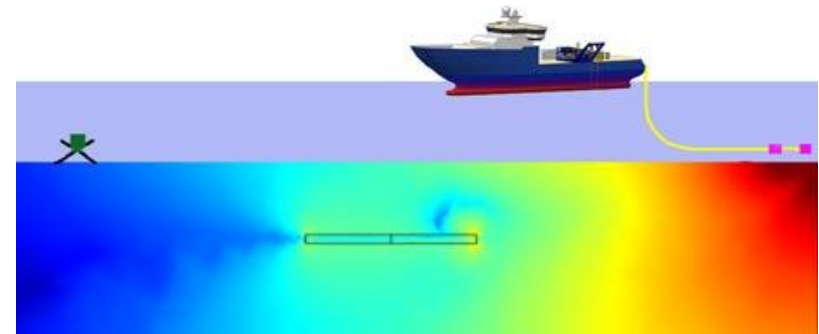
**Acreditava-se que o assoalho oceânico tinha em média 4 bilhões de anos, e, portanto, deveria apresentar uma camada sedimentar bastante espessa; em 1957, sismólogos no navio USS Atlantis verificaram que em diversos locais a idade e a espessura dos sedimentos eram muito pequenas.**



# Reversões do campo magnético

No início da década de 1950, os cientistas utilizaram os magnetômetros (desenvolvidos na Segunda Guerra Mundial para a detecção de submarinos) para investigar a crosta oceânica.

Era esperado que o material da crosta oceânica apresentasse alguma resposta magnética, pois o basalto contém minerais com características magnéticas.



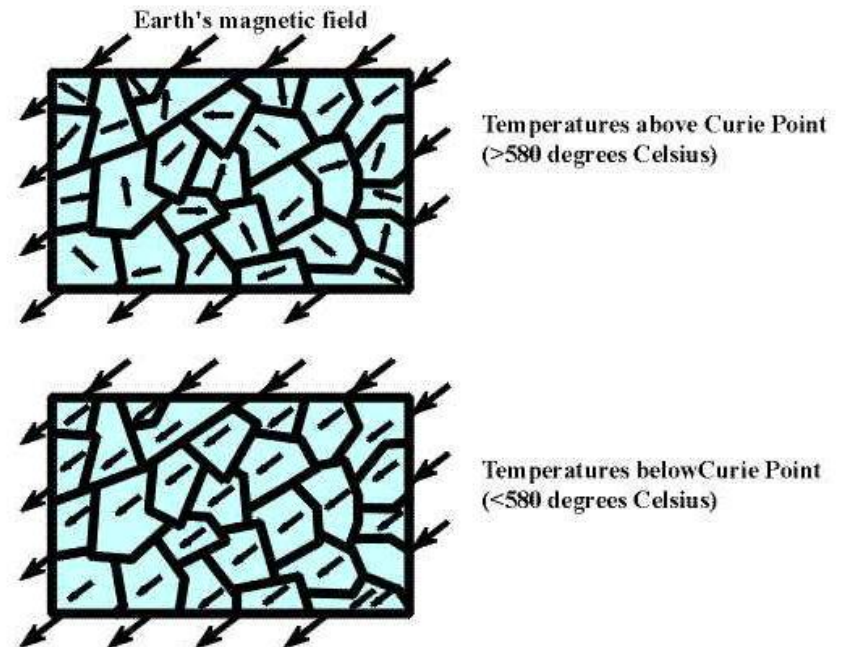


# Reversões do campo magnético

Os cientistas sabem que as rochas podiam guardar a informação magnética proveniente do campo terrestre presente no momento de sua geração.

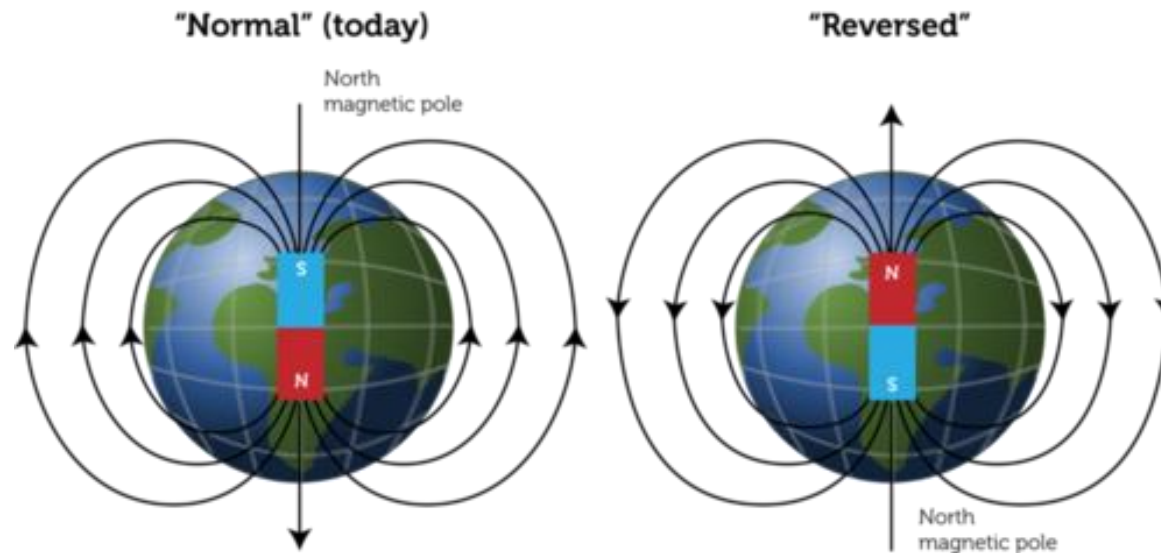
Desta forma, as rochas podem ser usadas para investigar o comportamento do campo magnético no passado.

Development of Magnetic alignment in minerals during cooling from a magma



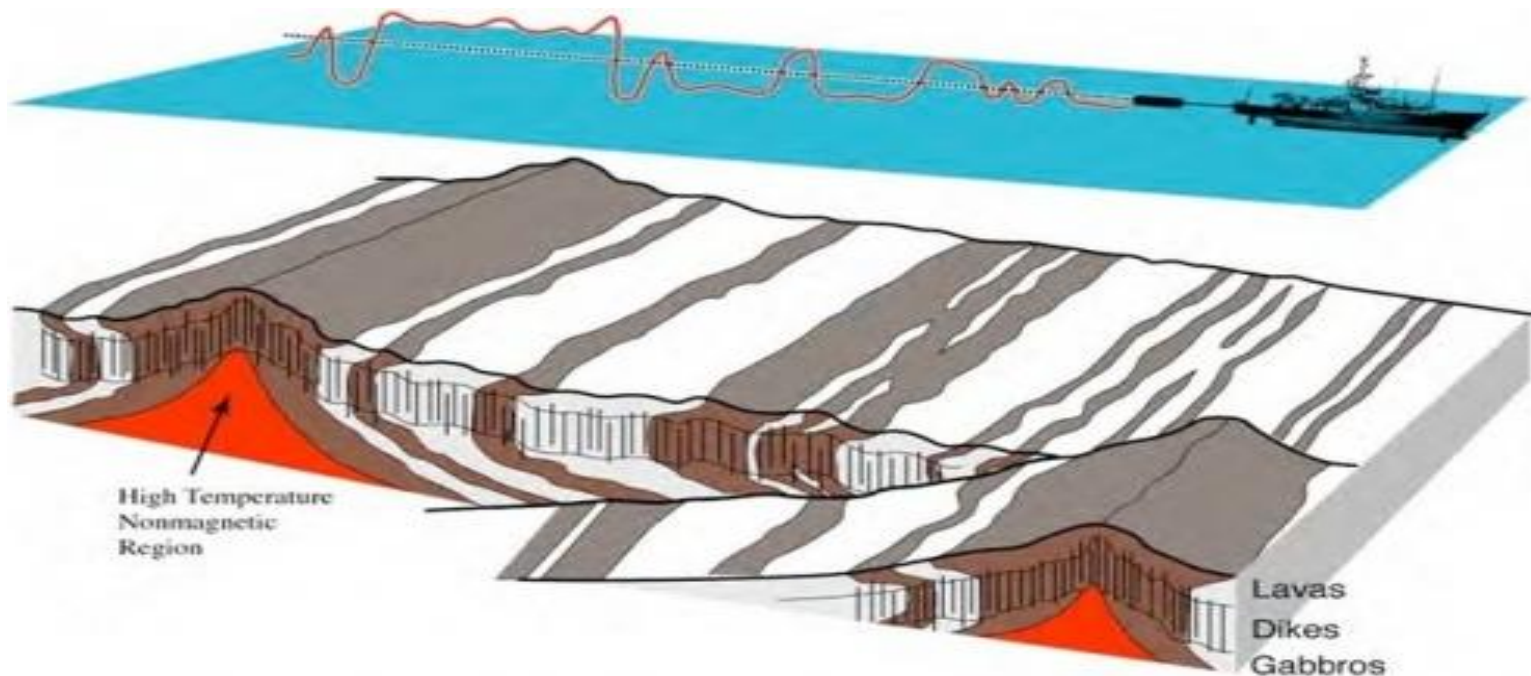
# Reversões do campo magnético

Em meados do século XX, os paleomagnetistas verificaram que as rochas terrestres continentais podiam ser classificadas em dois grupos: as que apresentavam polaridade magnética compatível com a do campo presente, e as que apresentavam polarização reversa. Isso foi atribuído às reversões do campo magnético terrestre.



# Reversões do campo magnético

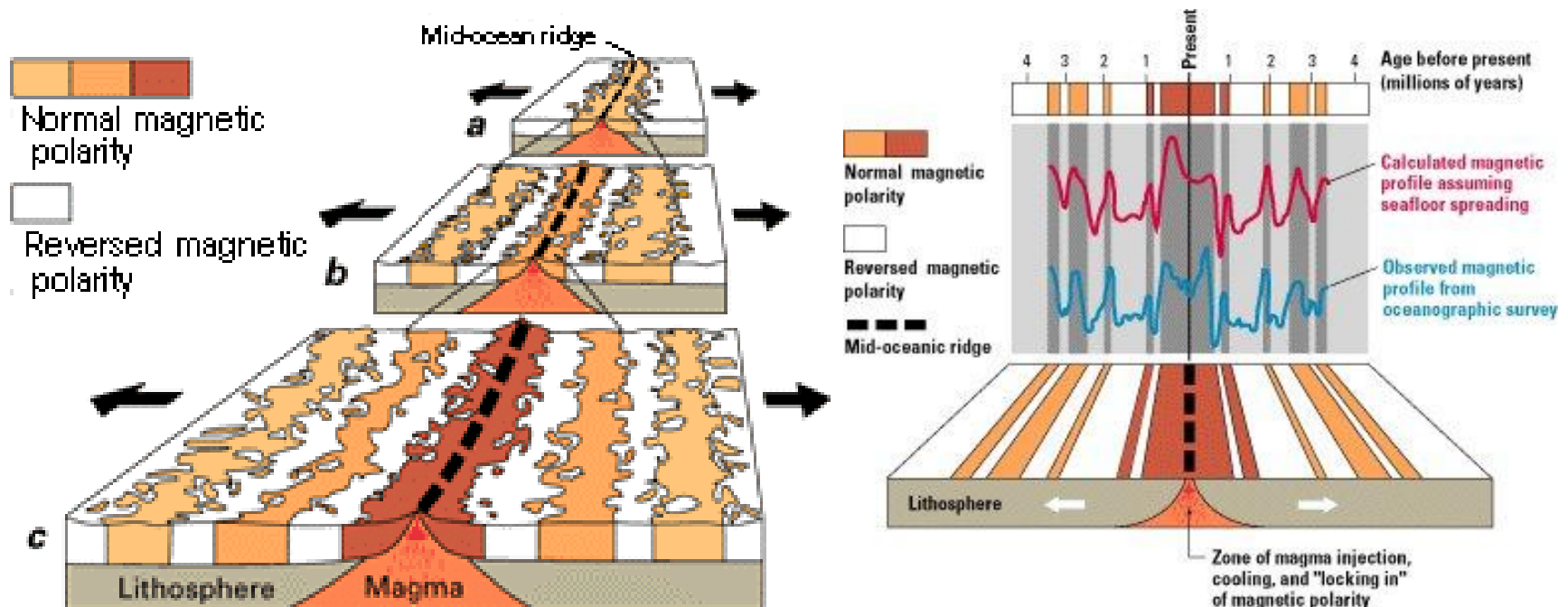
As rochas do fundo oceânico apresentavam o mesmo tipo de assinatura magnética normal e reversa das rochas continentais.





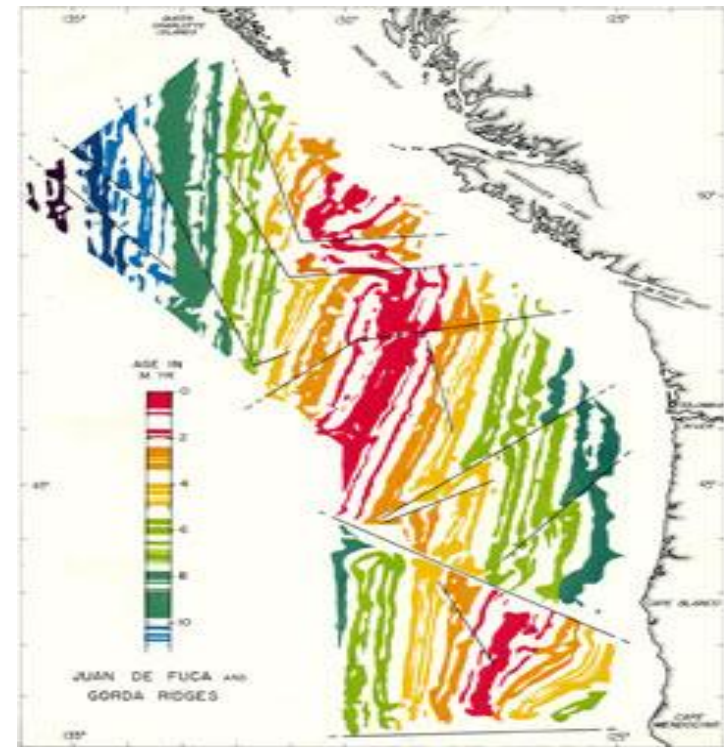
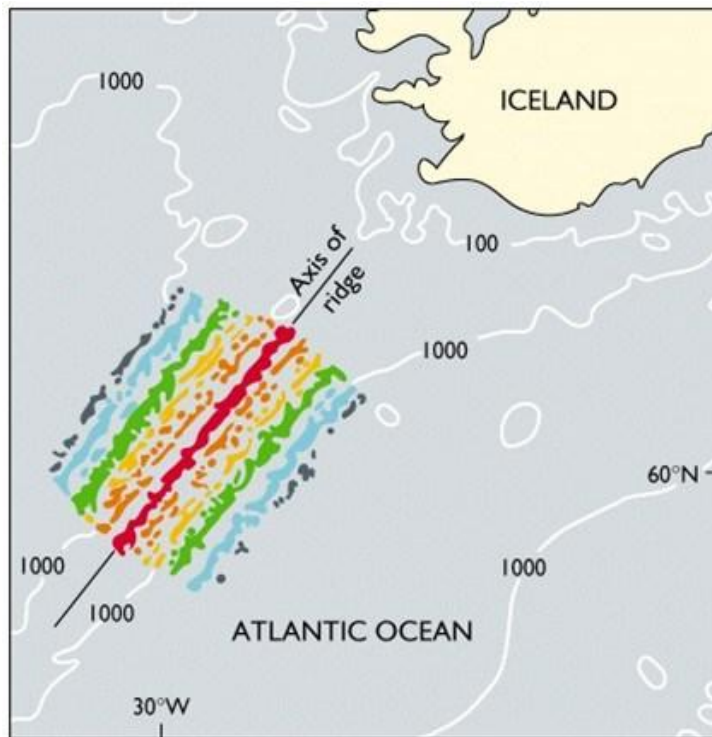
# Reversões do campo magnético

Esta resposta magnética das rochas oceânicas mostrava uma variação na intensidade magnética com uma curiosa simetria em torno de um eixo.



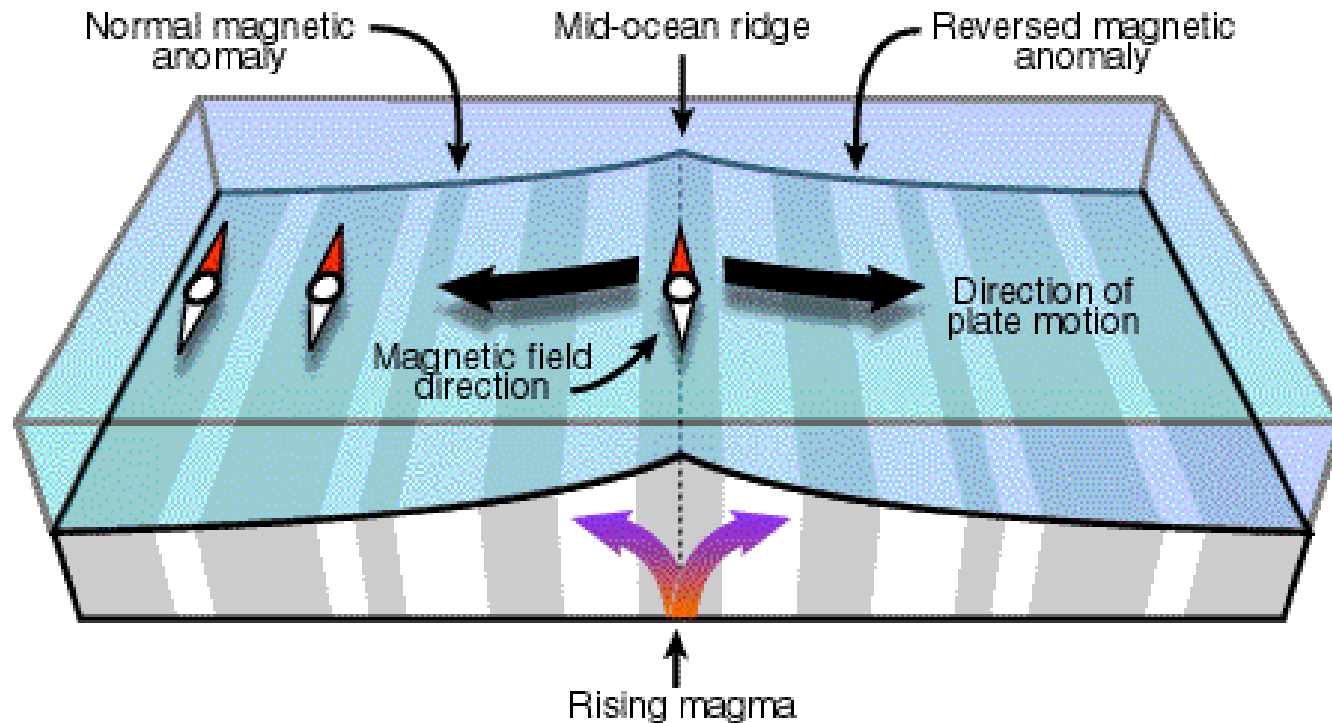
# Reversões do campo magnético

Esta resposta magnética das rochas oceânicas mostrava uma variação na intensidade magnética com uma curiosa simetria em torno de um eixo.



# Reversões do campo magnético

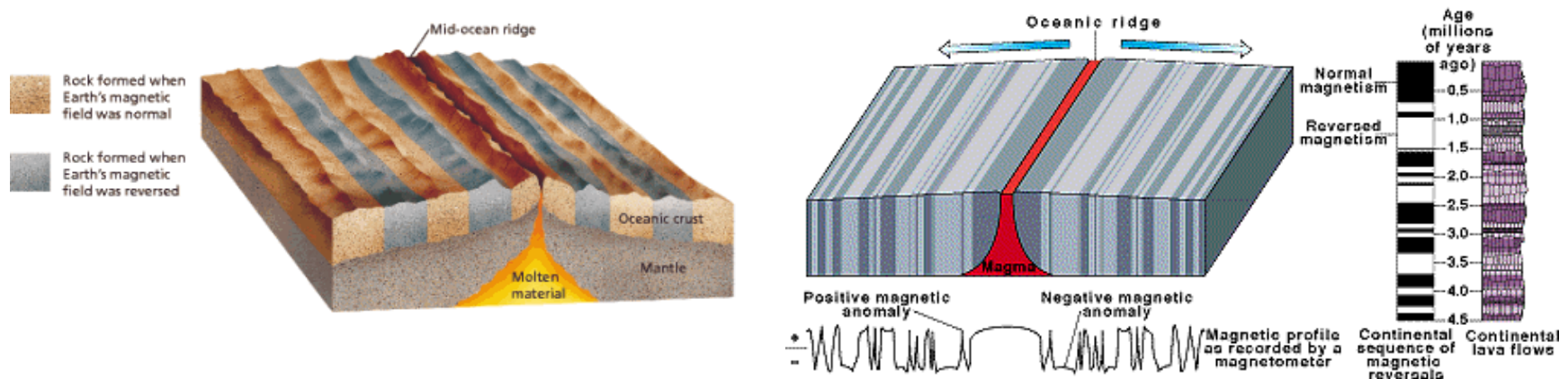
A magnetização destas rochas implicava em um processo que gerasse um padrão simétrico em relação a um centro de espalhamento.





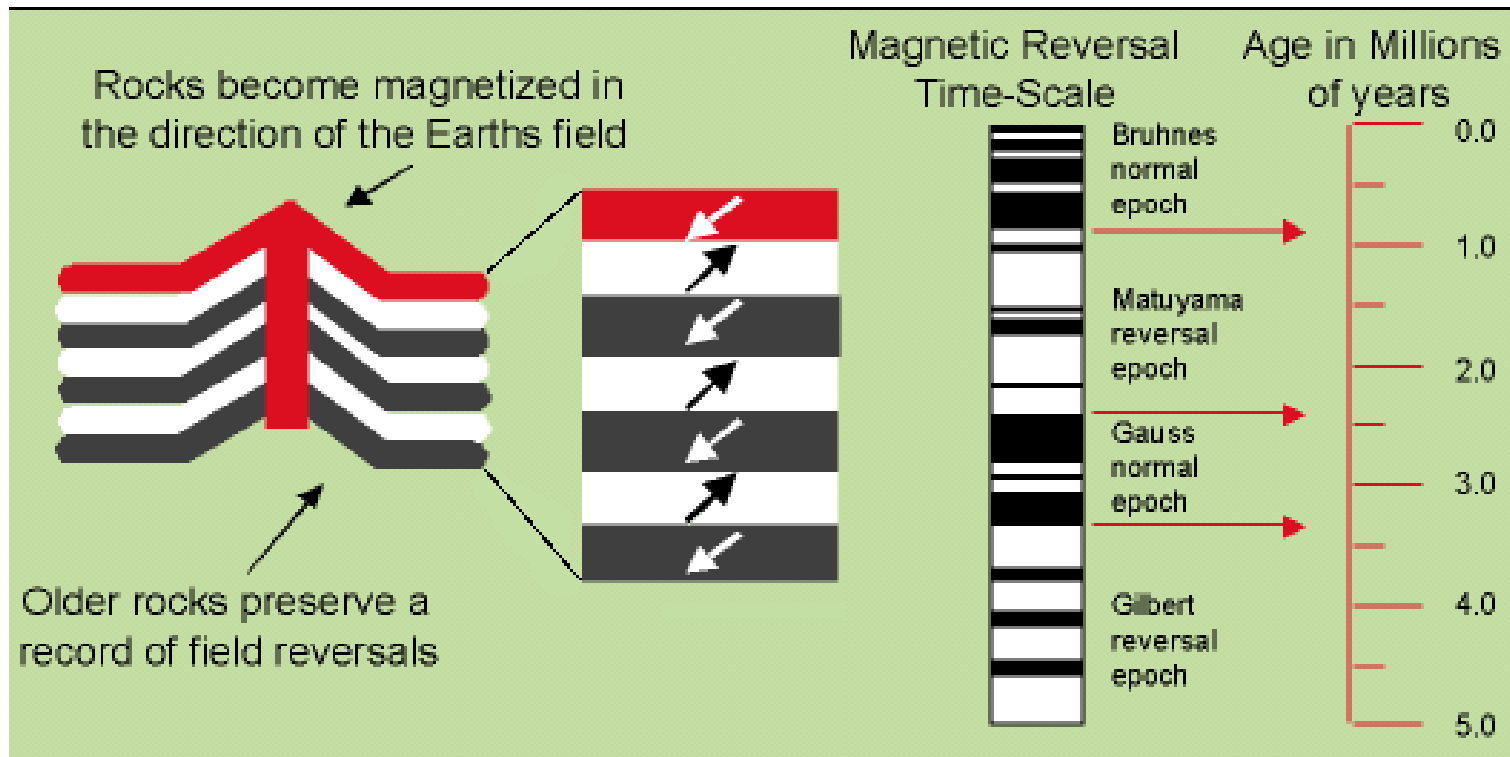
# Reversões do campo magnético

Este padrão poderia ser explicado se as rochas tivessem sido formadas em um centro de espalhamento, onde o material magnético registraria a direção e intensidade do campo magnético da época da formação.



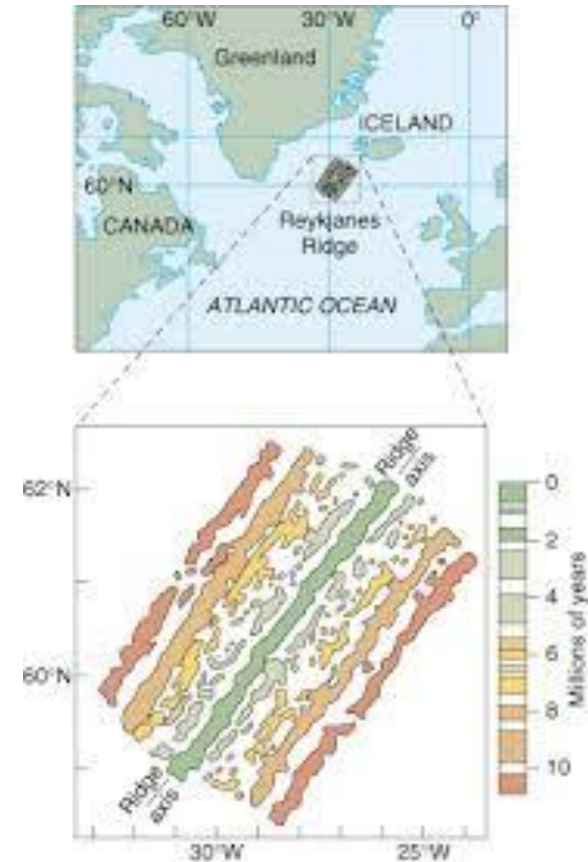
# Reversões do campo magnético

As rochas conteriam, então, um registro do “magnetismo fóssil” da Terra.



# O “padrão zebrado” do assoalho oceânico

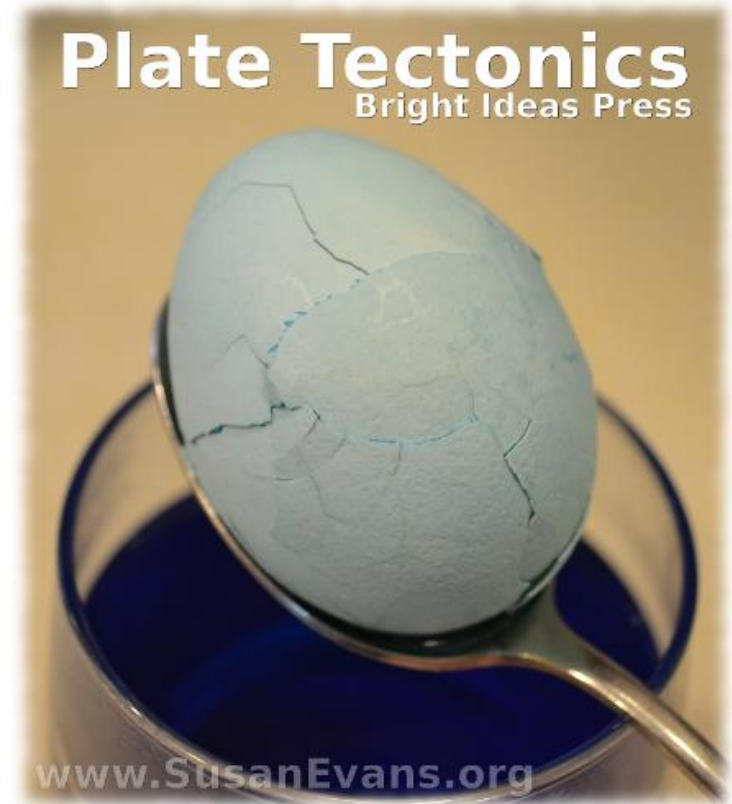
A evidência do padrão simétrico de anomalias magnéticas trazia uma questão importante: “qual o processo de formação da crosta oceânica que explica este padrão?”



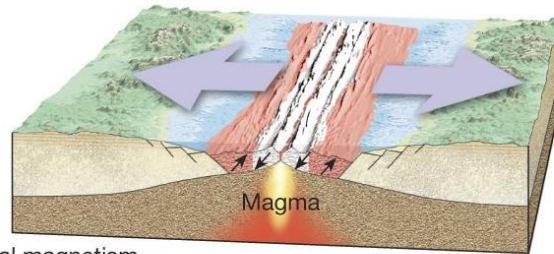


# O afastamento do assoalho oceânico

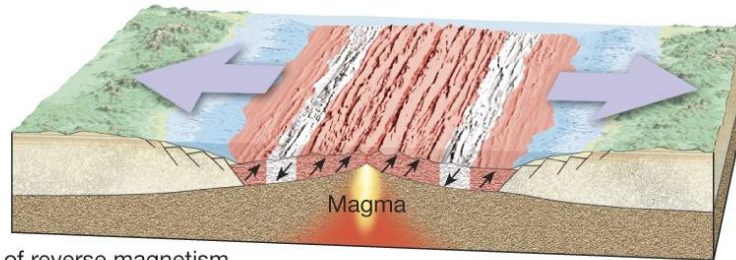
As teorias da época (1961) diziam que as dorsais meso-oceânicas eram zonas de fraqueza da crosta, onde o material do manto subjacente se incorporava às placas, afastando-as. Este processo, denominado espalhamento do assoalho oceânico, duraria milhões de anos, formando as cadeias oceânicas observadas. Se esta teoria estivesse correta, as rochas, ao se formarem, guardariam a magnetização da época da Terra, gerando o padrão observado.



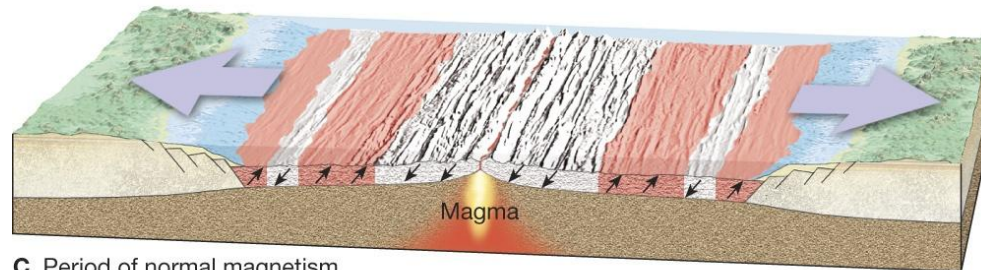
# O afastamento do assoalho oceânico e o padrão zebraado



A. Period of normal magnetism



B. Period of reverse magnetism

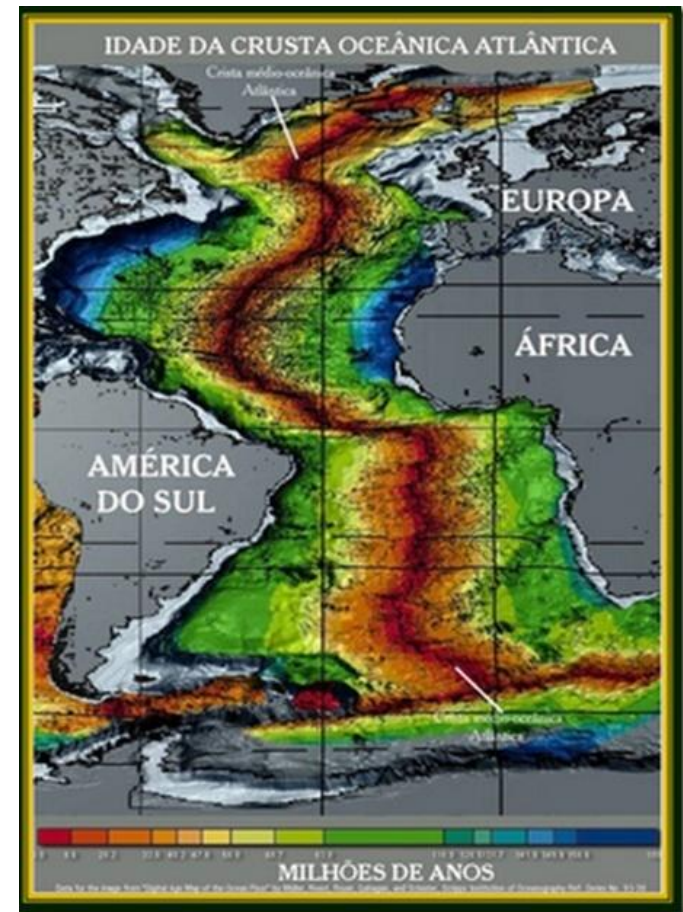


C. Period of normal magnetism

# O “padrão zebrado” do assoalho oceânico

Fatos que comprovam a teoria do espalhamento do assoalho oceânico:

1) As rochas nas proximidades da dorsal são muito jovens, aumentando sua idade com o afastamento da dorsal;

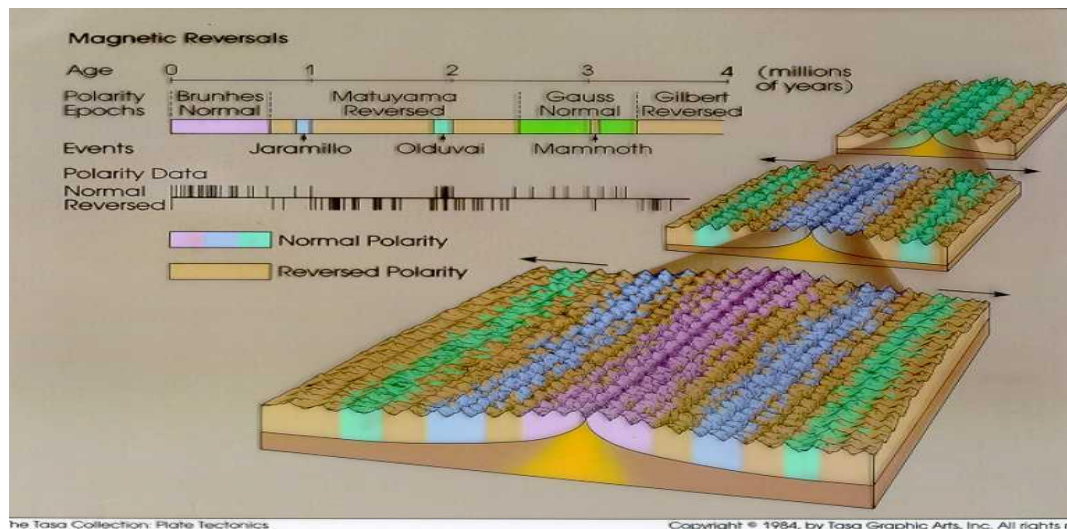




# O "padrão zebrado" do assoalho oceânico

Fatos que comprovam a teoria do espalhamento do assoalho oceânico:

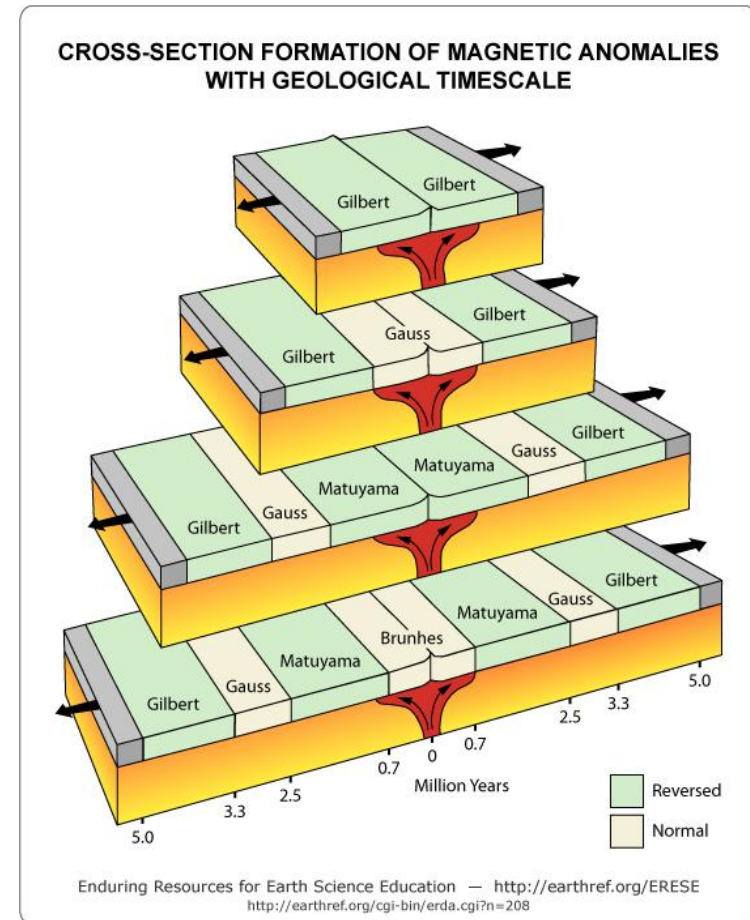
2) As rochas mais jovens, próximas da dorsal, sempre apresentavam polaridade positiva (idêntica ao do campo geomagnético atual);



# O “padrão zebrado” do assoalho oceânico

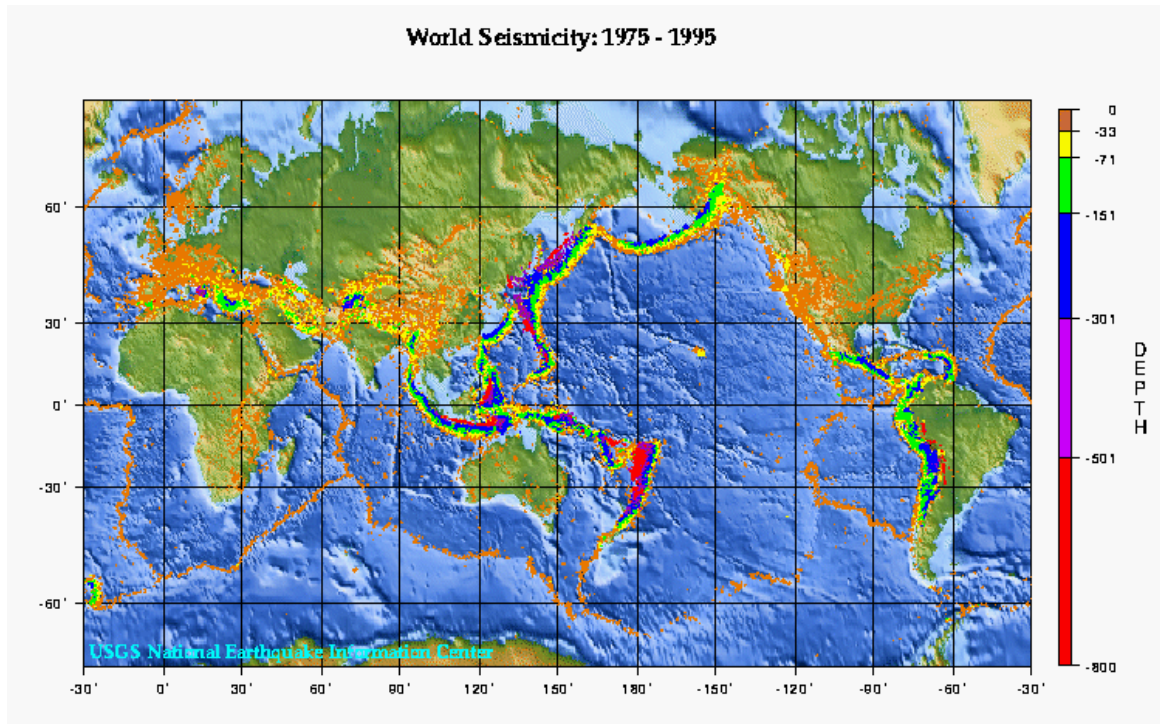
Fatos que comprovam a teoria do espalhamento do assoalho oceânico:

3) Há um padrão de magnetização que apresenta simetria em relação à dorsal (rochas à mesma distância da dorsal apresentavam polaridade idêntica). Isto mostra a simetria do espalhamento, e a frequência de inversão da magnetização.



# A distribuição dos terremotos

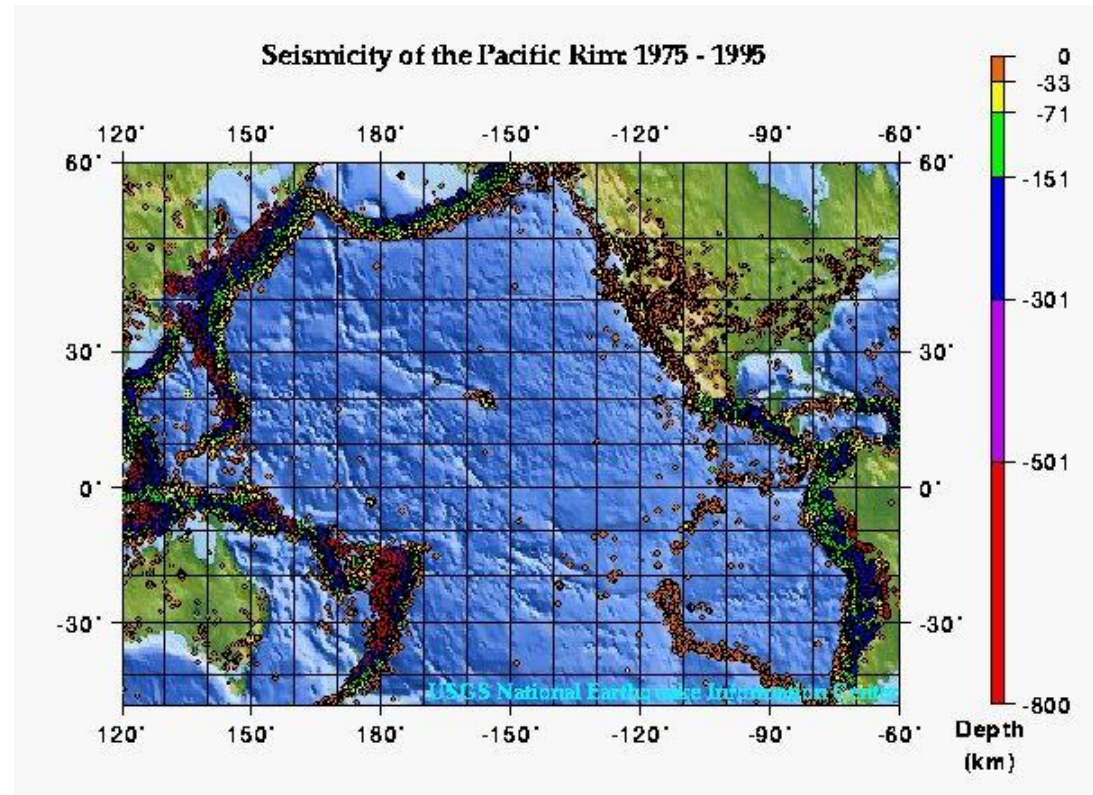
Com o desenvolvimento dos sismógrafos no início do século XX, os cientistas perceberam que os terremotos concentravam-se preferencialmente ao longo das trincheiras oceânicas e dorsais meso-oceânicas.



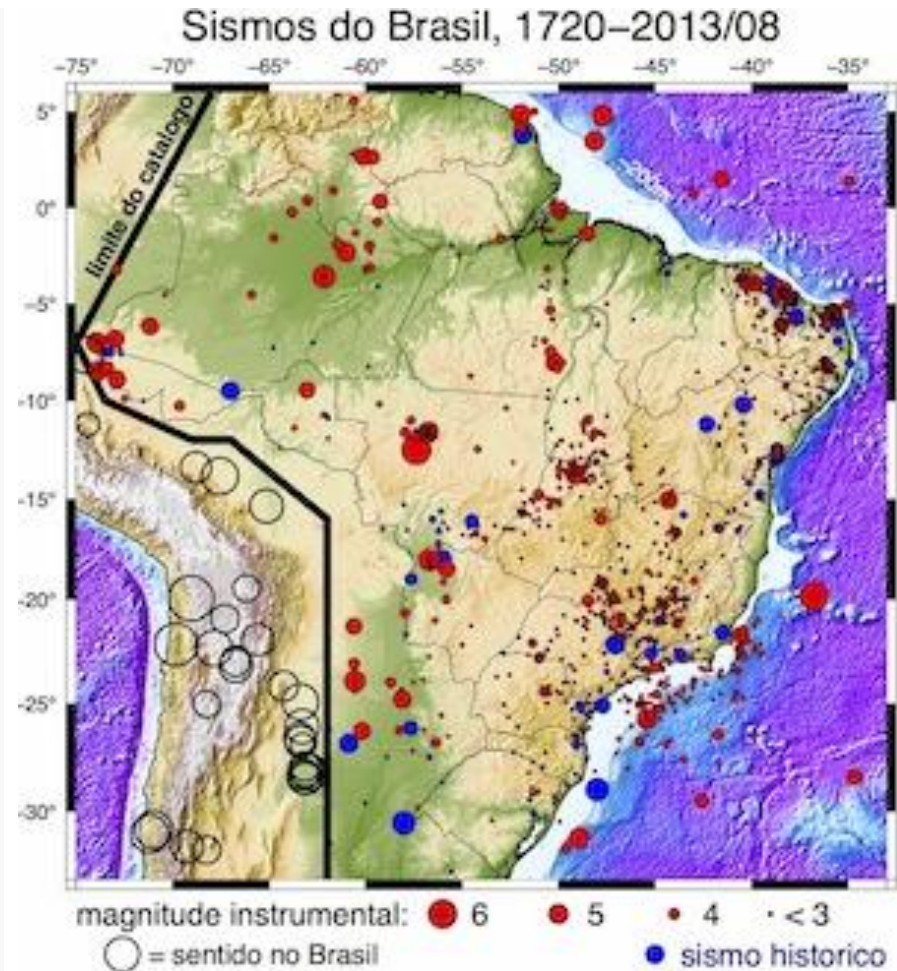
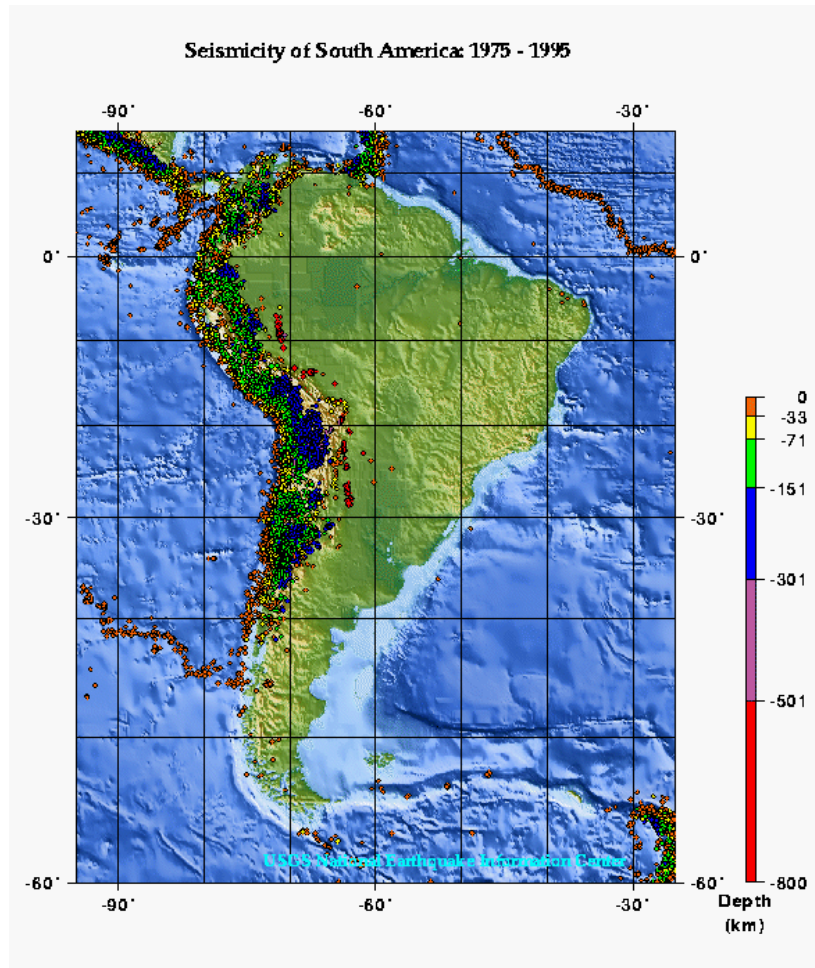


# A distribuição dos terremotos

A implantação da rede mundial de sismógrafos (para detectar explosões nucleares clandestinas) trouxe grande avanço no conhecimento da distribuição dos abalos sísmicos.



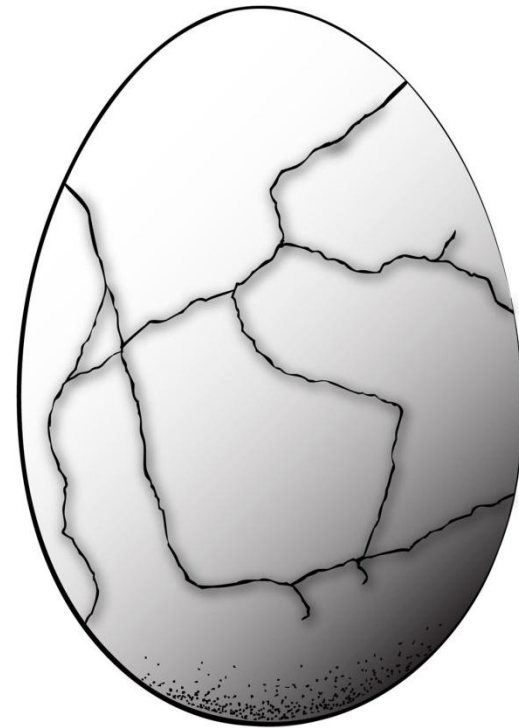
# A distribuição dos terremotos





# A distribuição dos terremotos

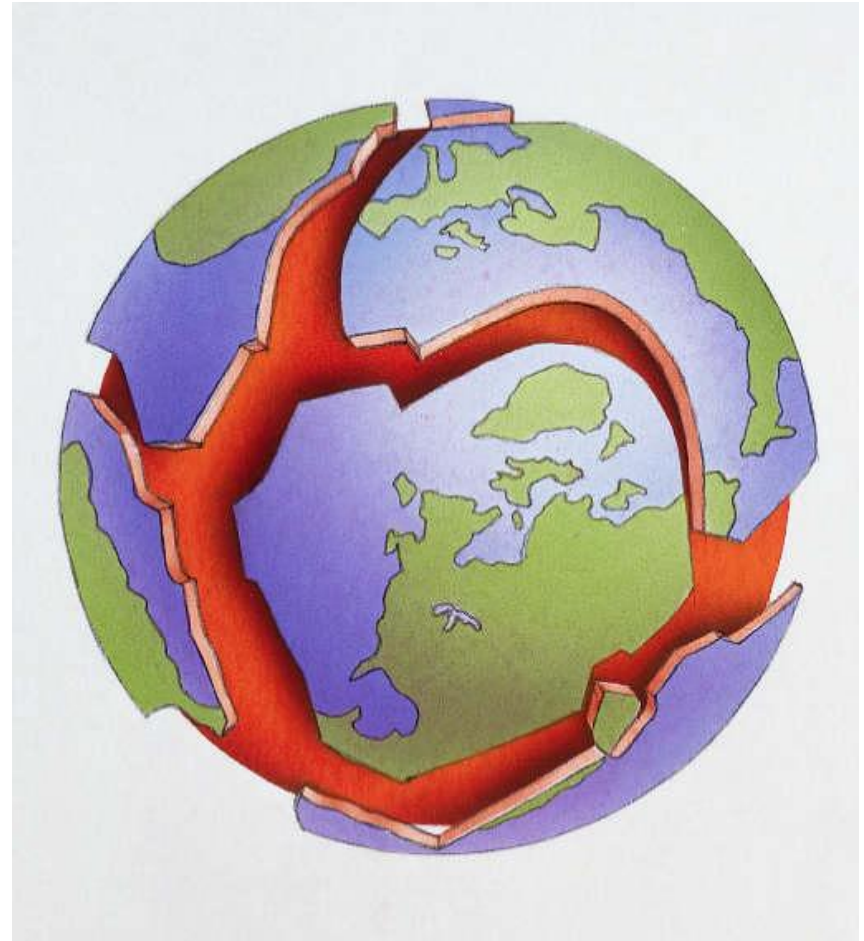
A camada superficial do planeta parecia então, apresentar grandes zonas de fraqueza, onde havia a concentração de sismos e a criação de nova crosta pela saída do material subjacente.





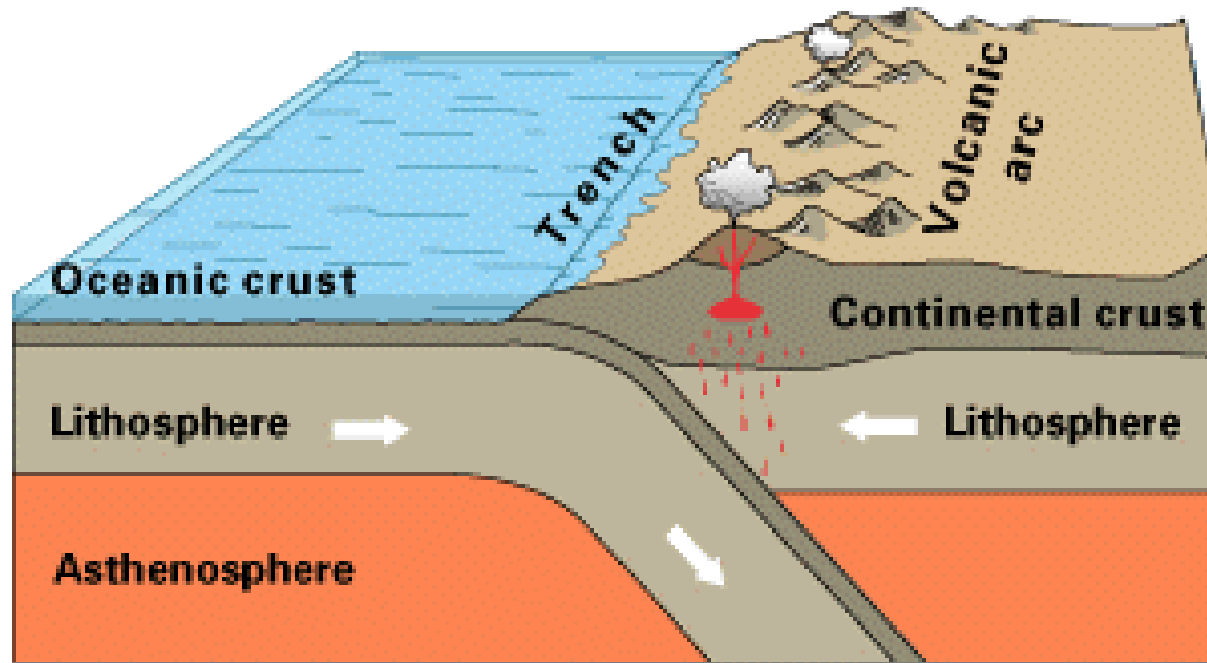
# O problema do modelo

**Se nas dorsais oceânicas havia contínua criação de placas, e não havia evidência de que a Terra estivesse aumentando de tamanho, em algum lugar deveria estar havendo o consumo das placas.**



# A solução do problema

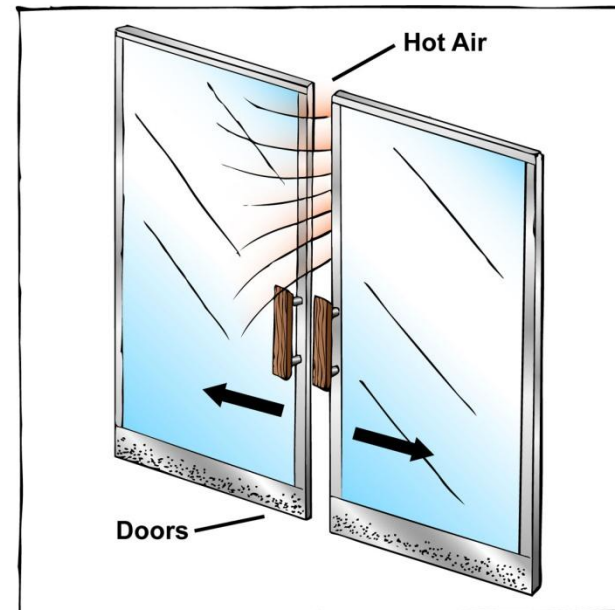
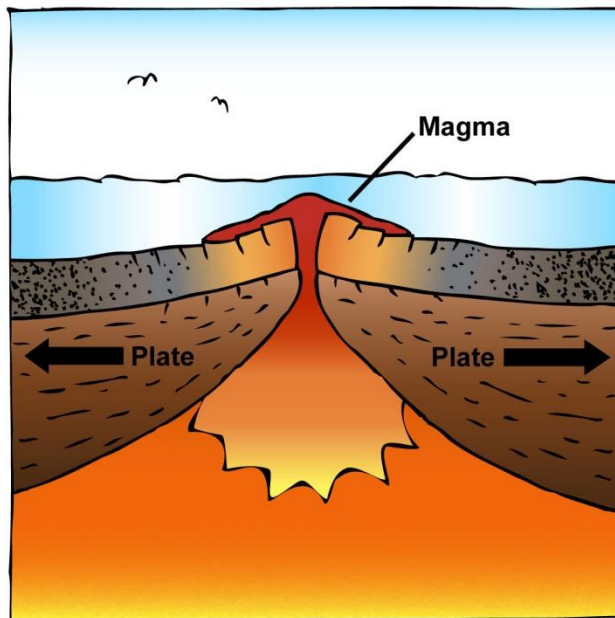
Dois cientistas, Dietz e Hess, postularam que, nas trincheiras oceânicas (faixas estreitas muito profundas ao longo do cinturão do Pacífico), a crosta\* oceânica estaria sendo consumida, em contraposição com a criação da crosta\* nas dorsais oceânicas.



# A solução do problema

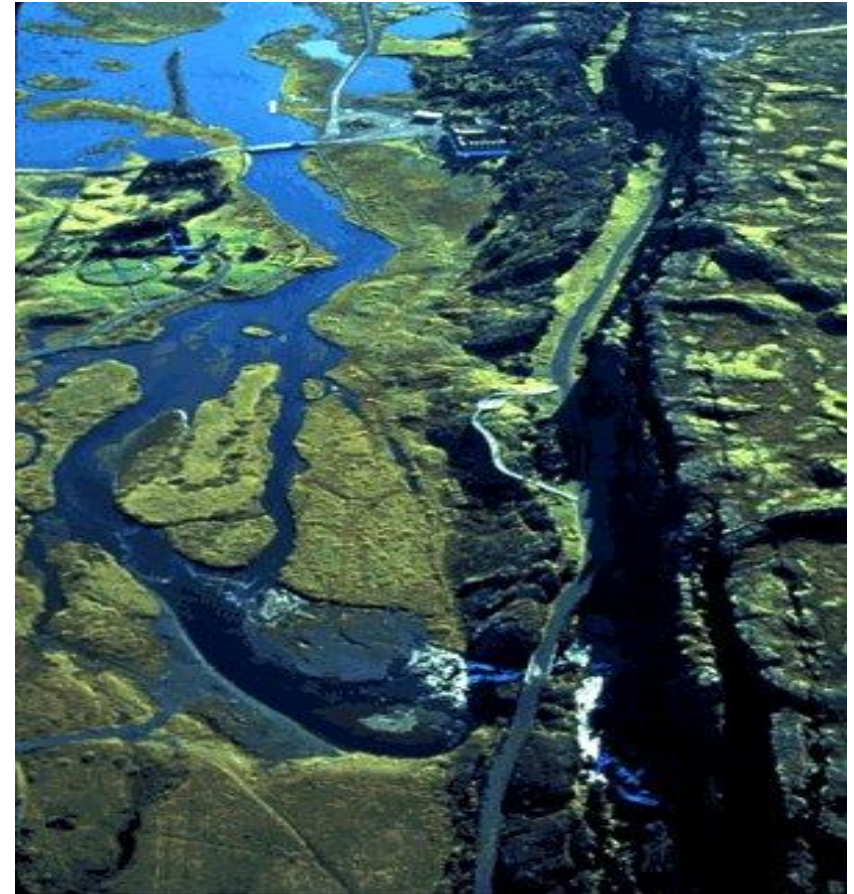
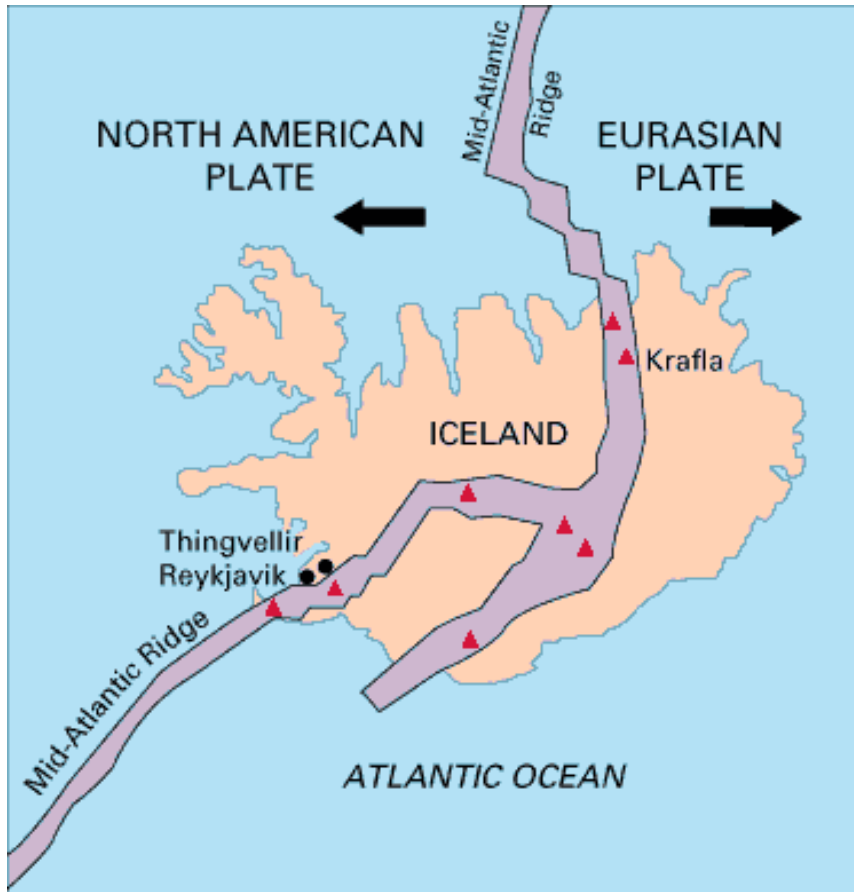
Com estes dados, o quadro mostrava-se completo:

Nas dorsais oceânicas, havia a criação de crosta\* por acreção de material do manto\* às bordas das placas; esta construção de placas era evidenciada pela idade progressiva da placa ao se afastar da dorsal, ao padrão magnético e à concentração de terremotos nestas regiões.



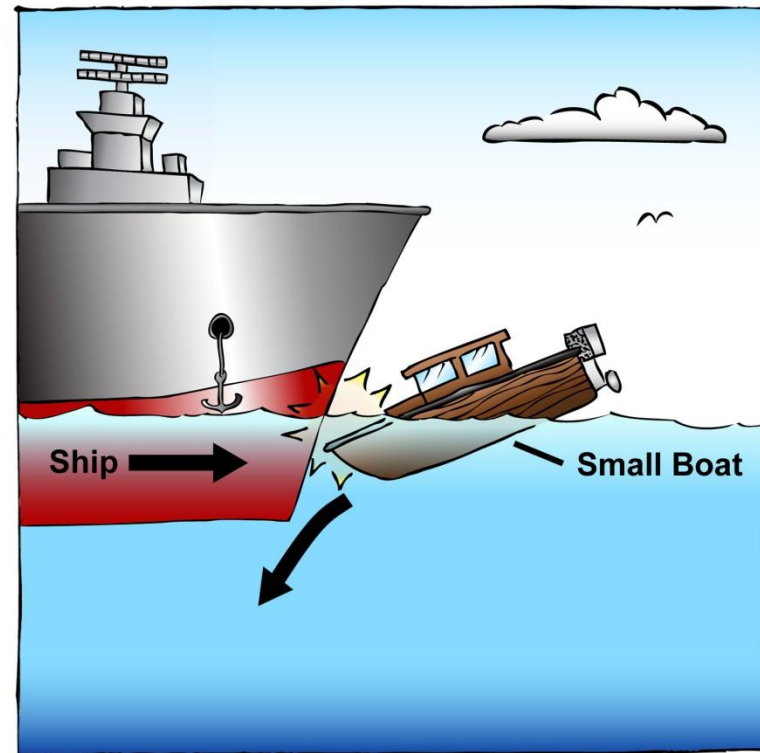
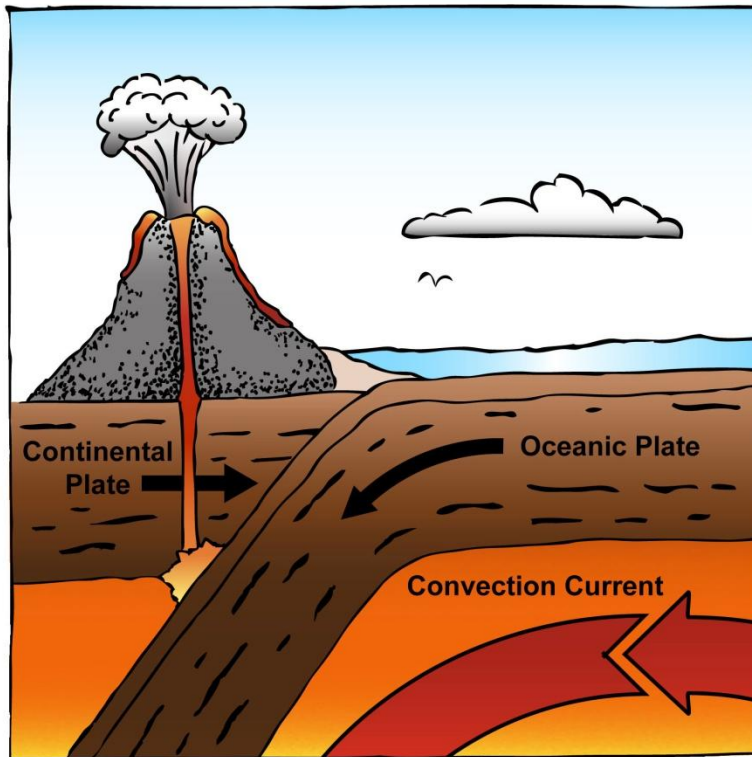


# Zonas de divergência



# A solução do problema

Nas regiões de trincheira, uma porção da camada superior da Terra estaria afundando sob a vizinha, com terremotos e vulcanismo na borda.



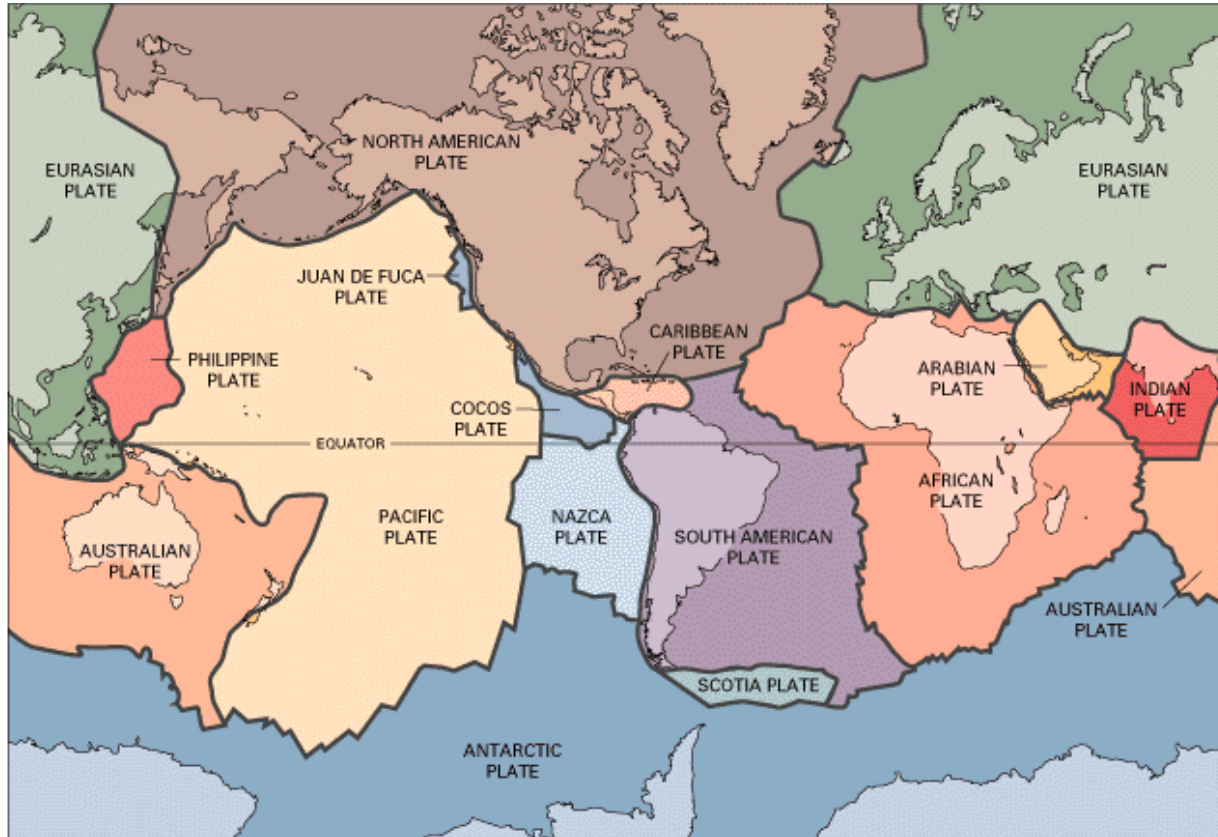
# Zonas de convergência





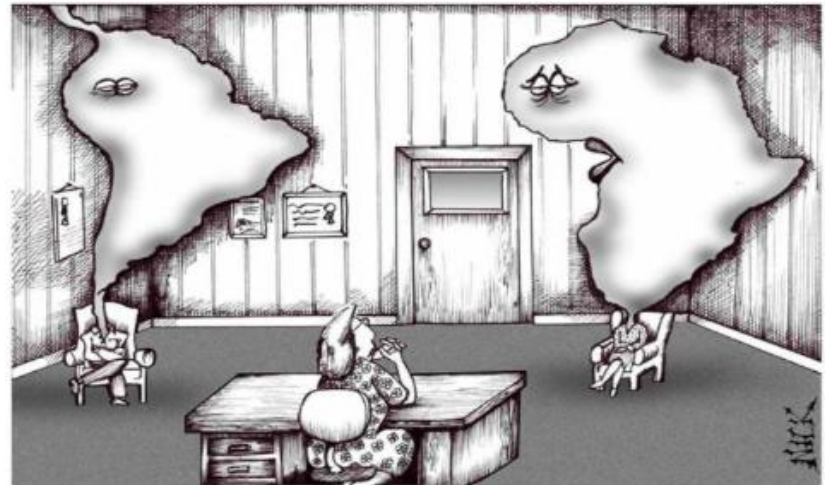
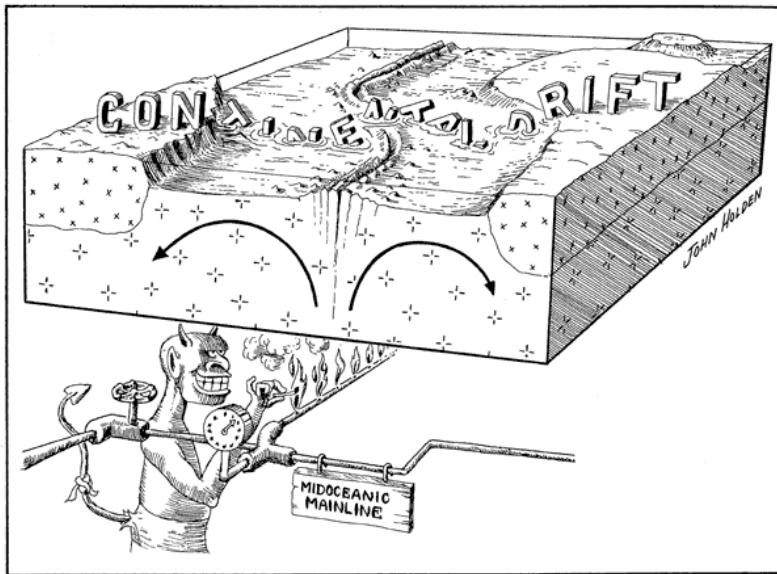
# Tectônica de Placas

A camada superficial da Terra está dividida em grandes porções, que denominamos **PLACAS LITOSFÉRICAS**.



# Tectônica de Placas

A interação entre as placas litosféricas é responsável por fenômenos como terremotos, grande parte do vulcanismo, formação de cadeias de montanhas e oceanos, e consumo de porções continentais e oceânicas da camada mais externa do planeta, e explica adequadamente a mobilidade das massas continentais e oceânicas.

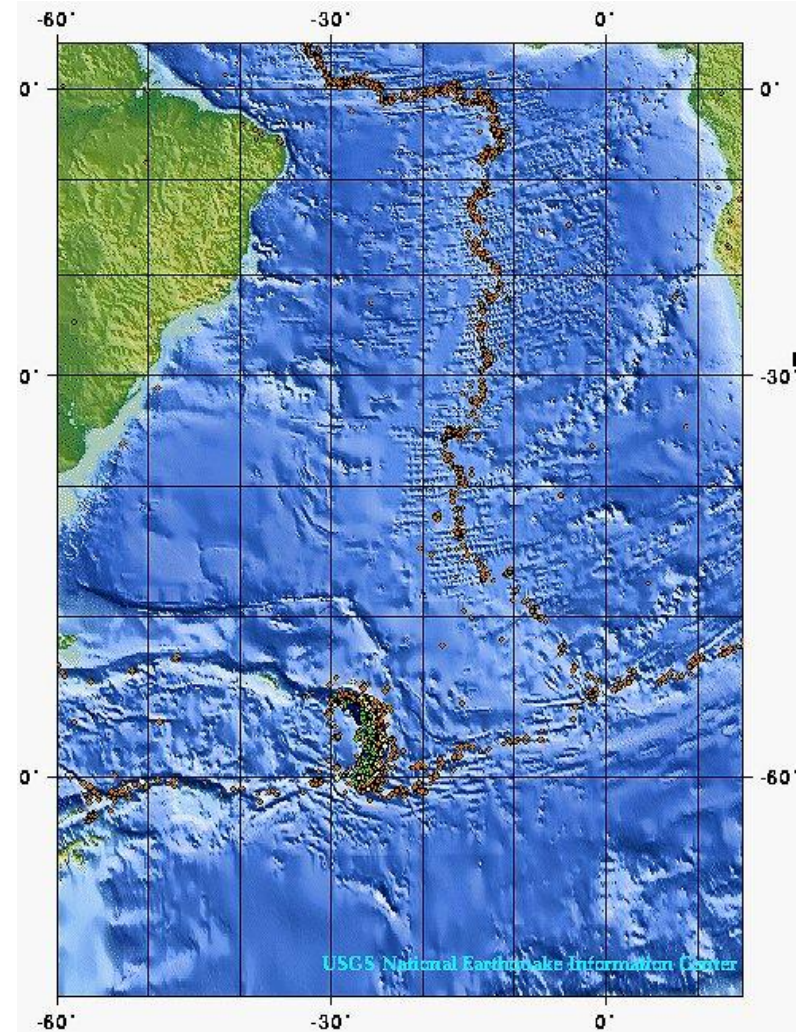
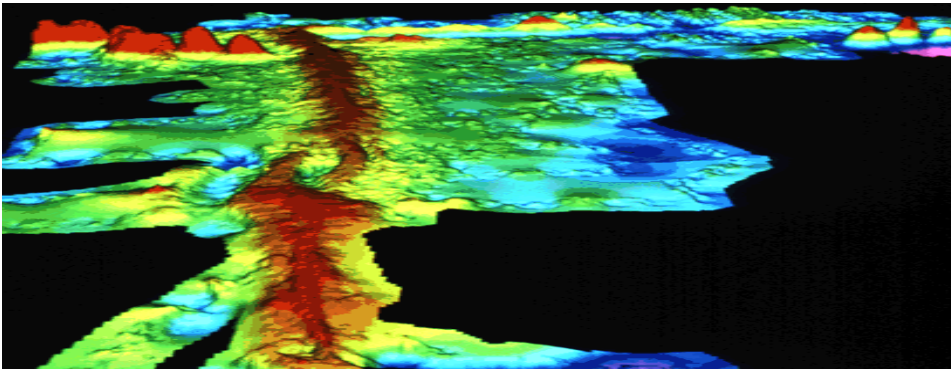


*"Well looking back I suppose it's been going on for quite some time, but I only noticed we were drifting apart during the last 50 million years..."*

# Tipos de bordas de placas

## MARGENS DE DIVERGÊNCIA

Nas dorsais oceânicas, há uma contínua separação entre duas placas, com acréscimo de material proveniente do manto às bordas das placas. É uma região de constante separação entre as placas, injeção de novo material e crescimento lateral das placas.

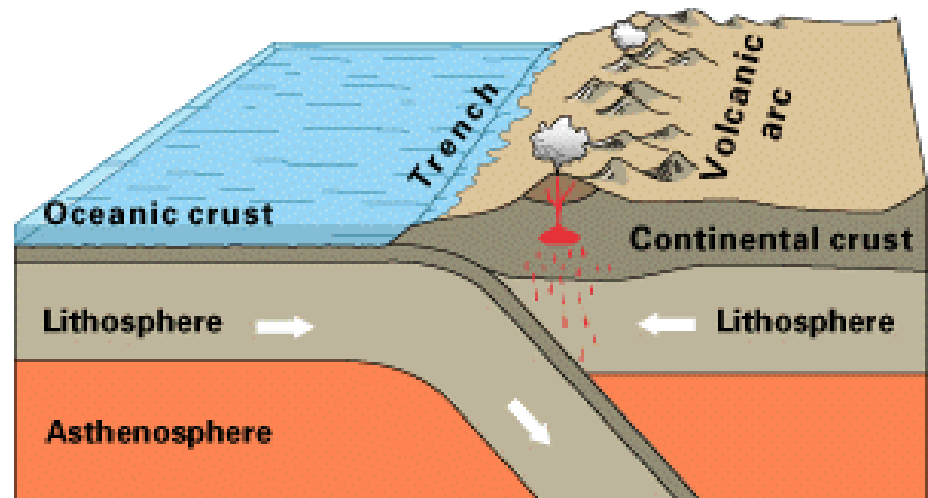




# Tipos de bordas de placas

## MARGENS DE CONVERGÊNCIA

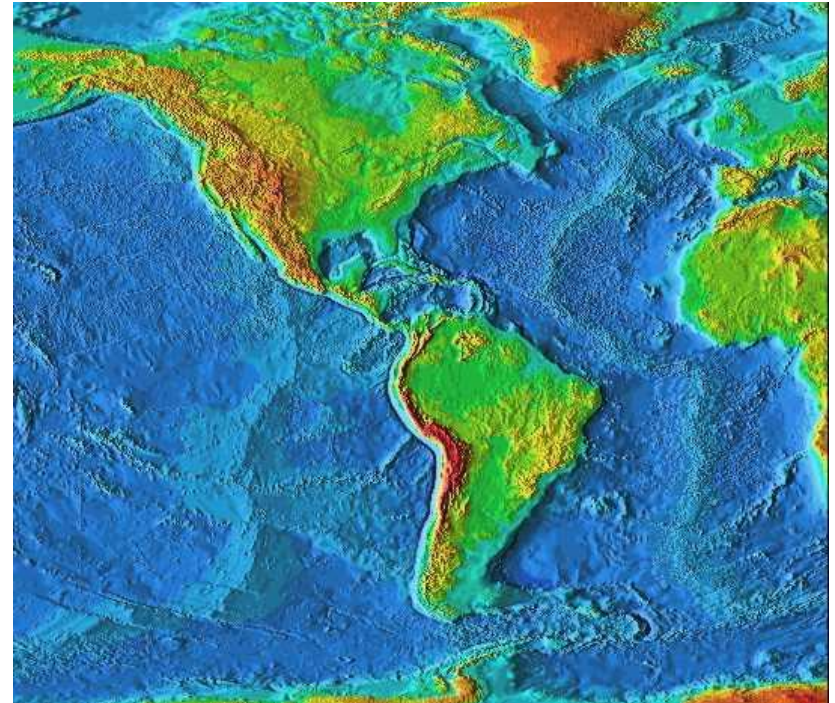
Local onde duas placas colidem, havendo a subducção de uma delas. A elas estão associados os sismos que ocorrem em trincheiras oceânicas profundas, arcos de ilhas e cinturões de montanhas.



# Tipos de bordas de placas

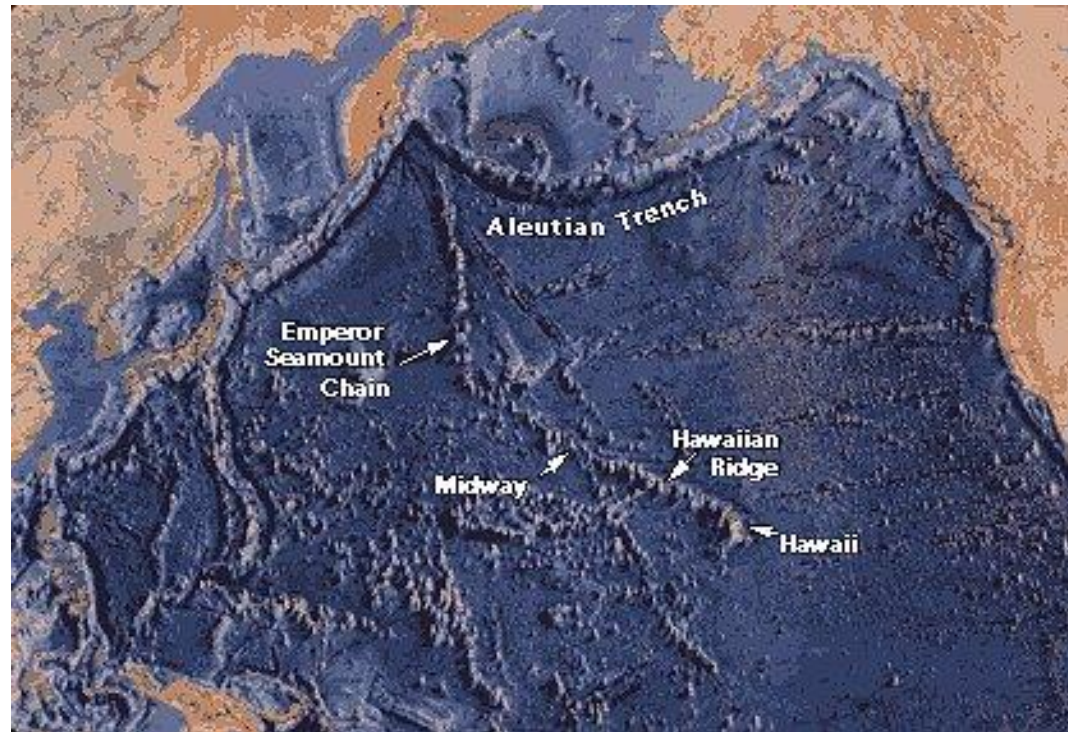
## MARGENS DE CONSERVAÇÃO

As falhas transformantes são estruturas presentes nas dorsais oceânicas, que conectam dois segmentos da dorsal. Podem também conectar segmentos de zonas de subducção, mas o caso mais frequente é nas cadeias oceânicas. Neste tipo de margem de placa, não há criação ou destruição de placa, há apenas o deslocamento relativo entre duas placas.



# Os hot-spots

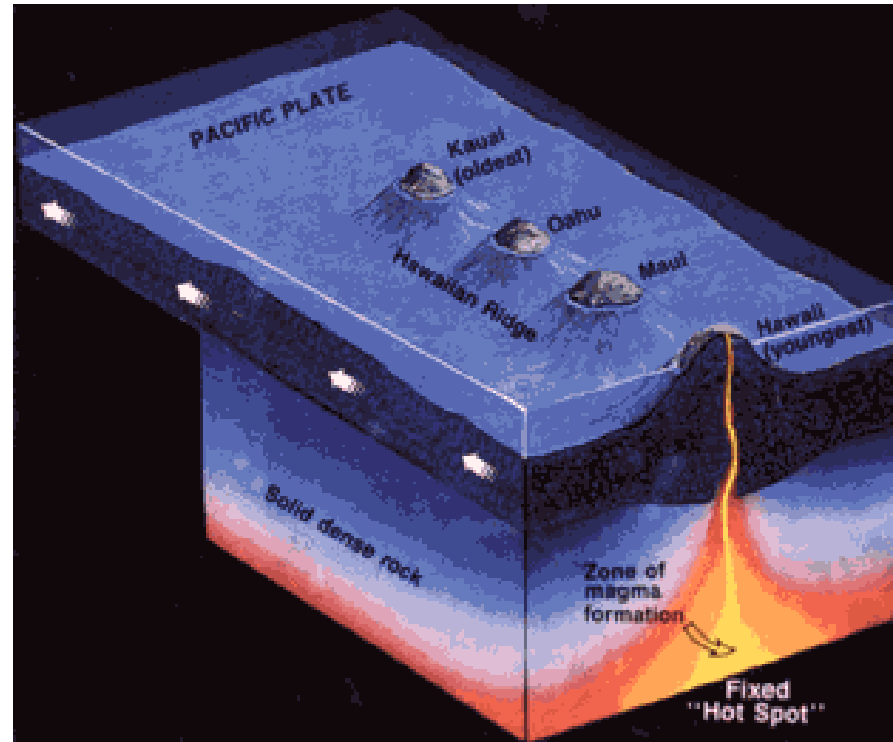
A maior parte do vulcanismo terrestre está associado aos processos que ocorrem nas bordas das placas. Alguns pontos específicos são exceção, como por exemplo, a cadeia vulcânica do Havái.





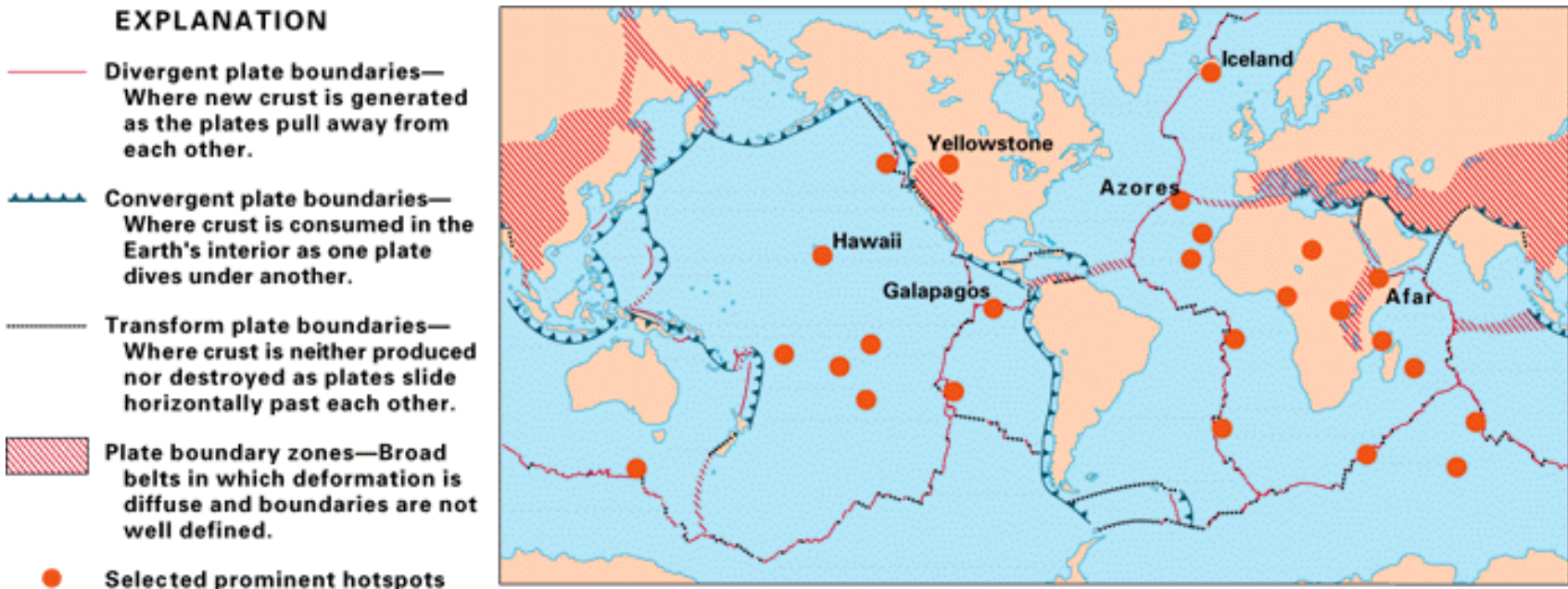
# Os hot-spots

Em 1963, Tuzo Wilson, que já havia descoberto as falhas transformantes, sugeriu um mecanismo para este vulcanismo que ocorria fora das regiões de bordas de placas. Ele notou que em certas regiões, o vulcanismo esteve ativo por um longo período de tempo, e sugeriu que deveria haver regiões pequenas, quentes e de longa duração - os pontos quentes (hot-spots).



# Distribuição dos hot-spots

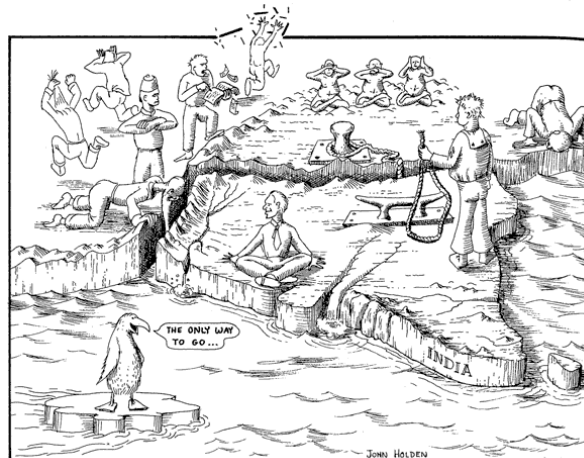
Vários hot-spots já foram identificados, a maioria no interior das placas. Os hot-spots devem ser a expressão de grandes “plumas” de material proveniente da interface manto/núcleo (camada D”), que atravessam todo o manto e atingem a superfície.



# Tectônica versus Deriva

A ideia de Wegener sobre a mobilidade das massas continentais não estava incorreta em sua essência. O mecanismo pelo qual se dá esta mobilidade é que não foi desvendado.

A diferença fundamental entre a Deriva Continental e a Tectônica de Placas é o fato de que na primeira **OS CONTINENTES** estavam se deslocando pela camada superficial do planeta, ao passo que na segunda os continentes **FAZEM PARTE DE UMA PLACA LITOSFÉRICA**, e é o movimento das placas que faz com que eles se desloquem.





# Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG-USP

IAG-USP

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

Departamento de Geofísica

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

ENDEREÇO

Cidade Universitária:

Rua do Matão, 1226

11-3091-4755

[geofisica@iag.usp.br](mailto:geofisica@iag.usp.br)

Eder Cassola Molina

[eder@iag.usp.br](mailto:eder@iag.usp.br)

