

Deriva Continental & Tectônica de Placas

Geólogo Paulo César Manzig

O Brasil e a África

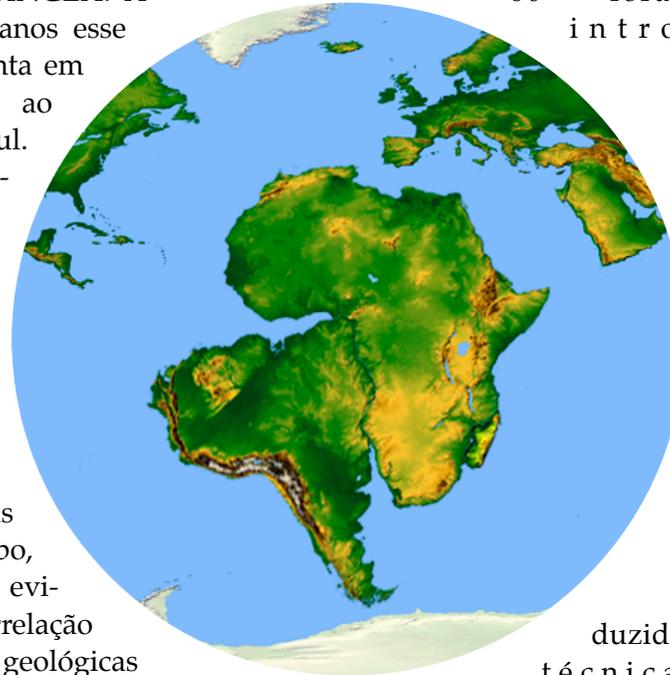
Ao olhar para um mapa-mundi nos chama a atenção a semelhança entre as linhas de costa do Brasil e da África, que parecem encaixarem-se perfeitamente. Surge então a inevitável pergunta: teriam sido estas terras unidas no passado e depois separadas? Certamente sim! Mas este foi um processo que levou milhões e milhões de anos, e que continua ainda hoje, mas numa velocidade lenta demais para a nossa percepção humana. Este deslocamento de continentes é por demais evidente aqui no Atlântico Sul, mas também ocorre e ocorre em todos os cantos do mundo, modelando continuamente a geografia do planeta Terra. Quando se formou, a Terra era um agregado de material fundido, cuja superfície começou lentamente a esfriar, originando uma crosta rochosa primitiva. Em 1915, o cientista alemão Alfred Wegener apresentou a teoria da DERIVA CONTINENTAL, segundo a qual

haveria, há cerca de 600 milhões de anos, um único supercontinente, ao qual deu-se o nome de PANGEA. A partir de 200 milhões de anos esse supercontinente se fragmenta em duas partes: LAURÁSIA ao norte e GONDWANA ao sul. Laurásia e Gondwana continuam se dividindo em partes menores que se deslocam gradativamente até a configuração da geografia conhecida hoje. Wegener argumentou sua teoria não apenas na similaridade de contornos que observamos nos mapas de todas as regiões do globo, mas principalmente nas evidências fósseis e na correlação entre as estruturas geológicas encontradas nos diversos continentes (Página 2). A teoria de Wegener contudo, não explicava satisfatoriamente as causas e os movimentos da

deriva continental, e assim foi posta de lado pela ciência. A partir dos anos 60 foram introduzidas técnicas inovadoras para prospecção e rastreamento dos oceanos, possibilitando aos cientistas

explicar o mecanismo-motor que faz movimentar os continentes e os fundos oceânicos. A velha Deriva Continental de Wegener começa então, fazer parte de uma teoria maior e muito mais elegante, a TECTÔNICA DE PLACAS.

O termo vem do grego *tekton*, "construtor", denominando assim os processos pelos quais são construídas as placas continentais e oceânicas. Pode-se afirmar sem exagero, que esta foi uma das maiores conquistas na história da ciência, que possibilitou uma compreensão mais abrangente da dinâmica terrestre, e abriu os caminhos para pensar a geologia em escala mundial. Vamos examinar nas ilustrações seguintes o que é exatamente a Tectônica de Placas e como ela explica a deriva dos continentes, através de princípios simples e coerentes com as observações efetuadas pelas geociências.



duzidas técnicas

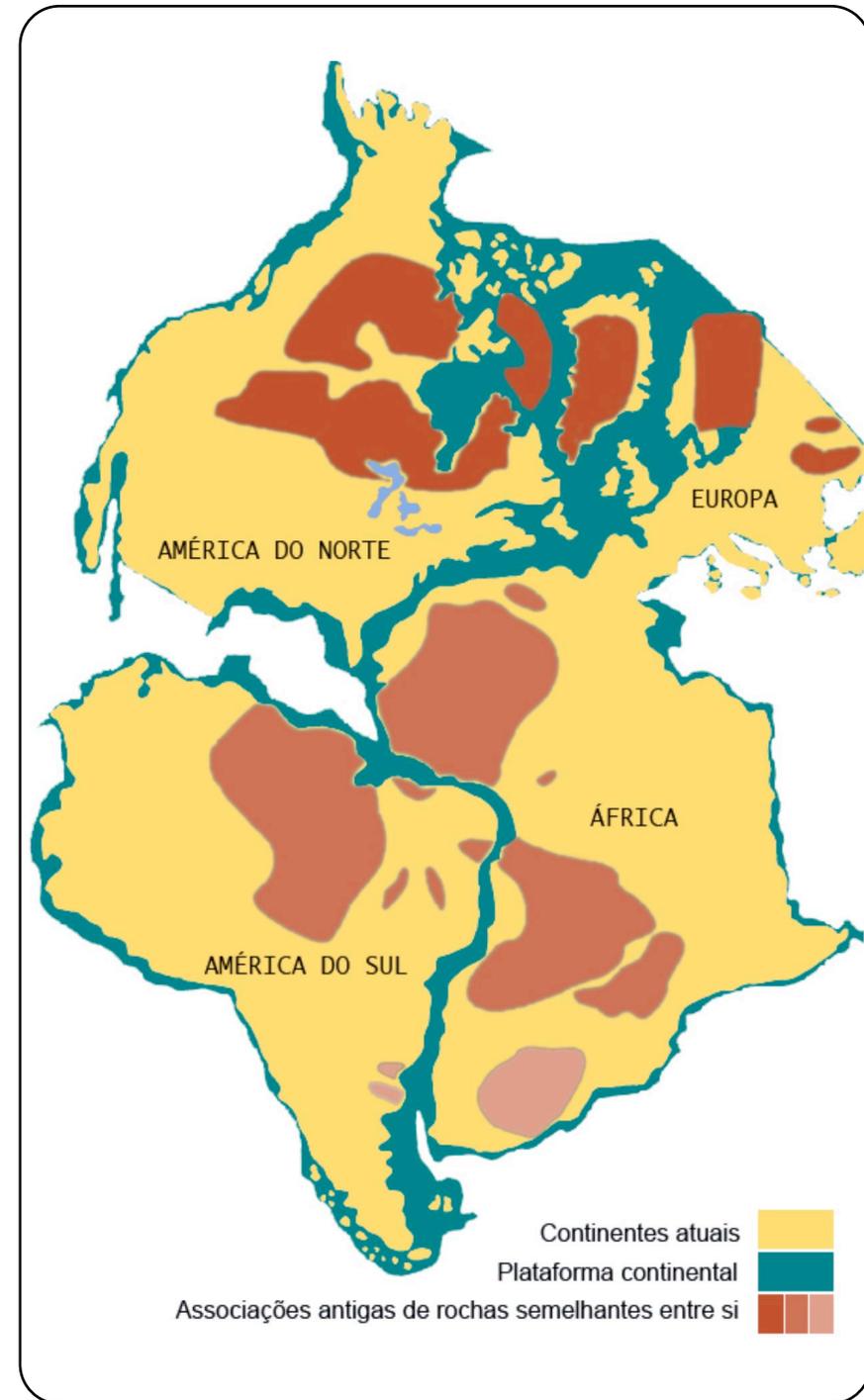
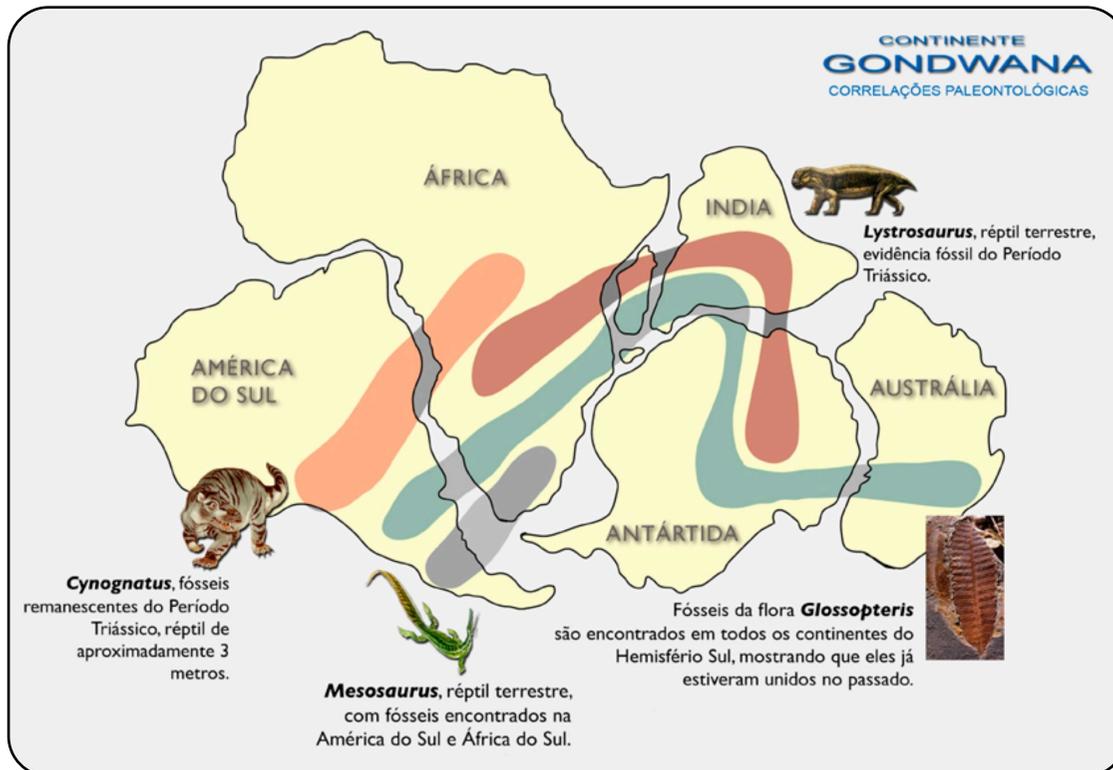
inovadoras para

prospecção e rastreamento dos oceanos, possibilitando aos cientistas

As evidências dos fósseis e das rochas

A ilustração abaixo mostra uma simplificação do que teria sido o continente de GONDWANA, constituído pelo que chamamos hoje de América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártida, que há 200 milhões de anos atrás formavam um bloco único de terras contínuas. Era a porção sul da PANGEA. As áreas coloridas correspondem às faixas de ocorrências de fósseis semelhantes, como por exemplo o *Mesosaurus*, (área em cinza), que só é encontrado em sedimentos da América do Sul e na África, evidenciando que essas regiões eram contíguas, permitindo o trânsito livre destes animais entre elas.

Também é notável as características semelhantes que apresentam as rochas mais antigas em ambos os lados do Atlântico Norte e Sul, como mostrado na figura ao lado. Estas associações rochosas adjacentes entre América do Norte e Europa, e América do Sul e África, foram apontadas por Wegener para fundamentar sua teoria, mas ainda assim não foram suficientes para que a ciência tomasse a Deriva Continental como um modelo científico amplamente aceito. Era preciso descobrir como se dava esse processo que fazia os continentes se deslocarem no decurso do tempo geológico. Isto só aconteceria 60 anos mais tarde com a Tectônica de Placas.



A estrutura interna da Terra

Para entender a tectônica de placas é bom começar pela estrutura interna do planeta Terra, ilustrada aqui como se tivesse sido cortada como uma fruta. Ela está formada por uma série de camadas concêntricas, como as camadas de uma cebola, cuja natureza vamos examinar a seguir, partindo da superfície para o seu interior.

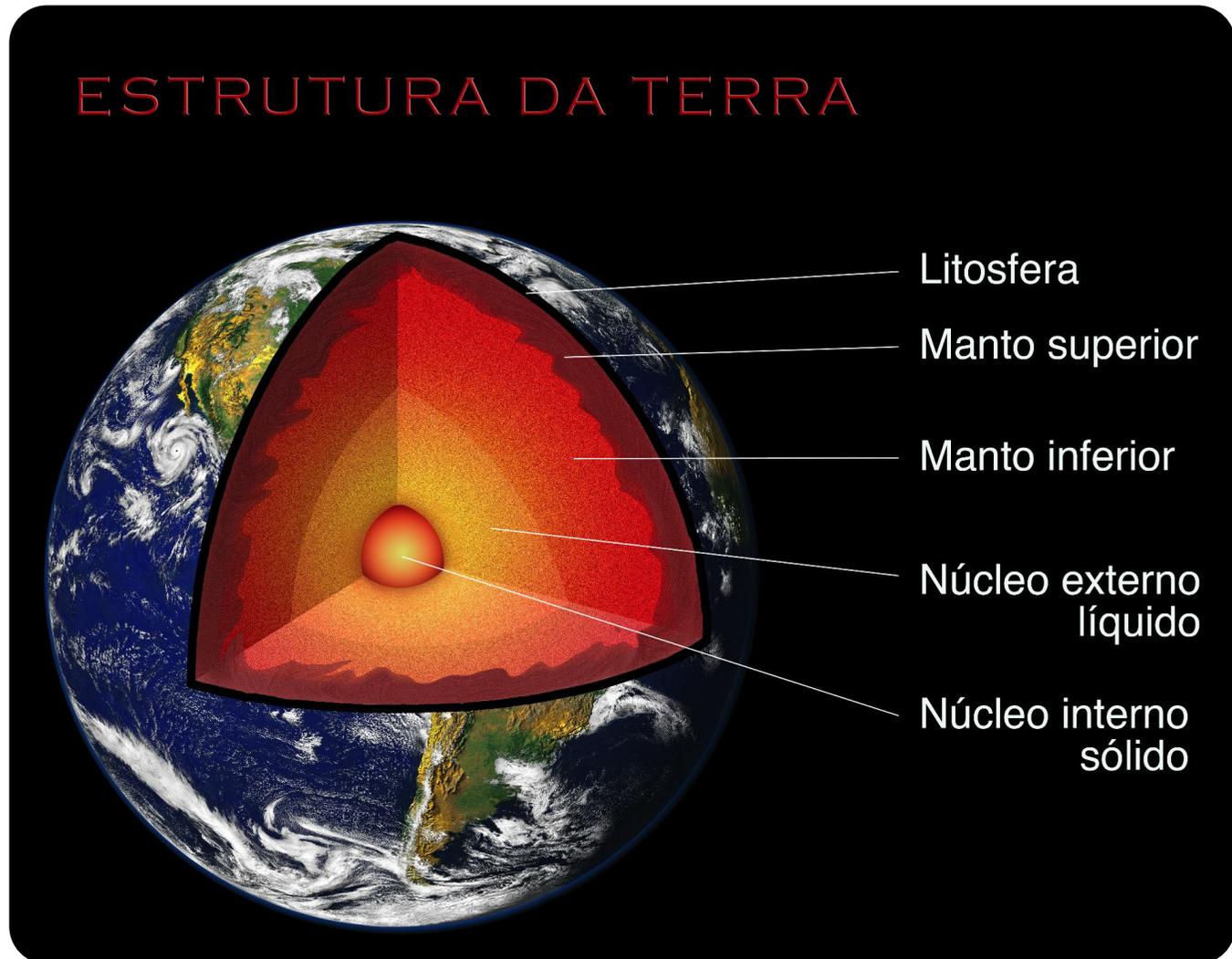
Litosfera é a camada mais externa, constituída pela crosta continental e pela crosta oceânica. Os continentes variam em espessura entre 25 e 90 km e são constituídos predominantemente por rochas ricas em sílica e alumínio, como os granitos, por exemplo, razão pela qual também são referidos como SIAL. Já os fundos oceânicos são bem menos espessos, variando entre 5 e 10 km, e com rochas similares aos basaltos, ricas em sílica e magnésio, daí a denominação SIMA, também muito usada. Comparativamente ao diâmetro da Terra, a Litosfera é uma camada fina, representada ao lado por uma linha preta bordejando o corte. A Litosfera não deve ser entendida como uma camada homogênea e contínua de rocha, ou como a casca fina de um ovo, mas sim como uma junção de fragmentos que formam as chamadas placas tectônicas, que flutuam e se movimentam sobre a astenosfera ou manto superior.

Manto superior ou **Astenosfera**, é essa camada abaixo da litosfera, constituída por material rochoso dúctil (deformável) que serve de substrato para os deslocamentos das placas tectônicas. Possui espessura variável, chegando a 400 km.

Manto Inferior é a continuação da astenosfera em direção ao centro de globo, estendendo-se desde 400 km até cerca de 2.900 km.

Núcleo externo líquido está constituído predominantemente por ferro liquefeito em movimento, produzindo o campo magnético terrestre.

Núcleo interno sólido, também constituído por ferro, é o centro da Terra, uma esfera com aproximadamente 1.250 km de raio.

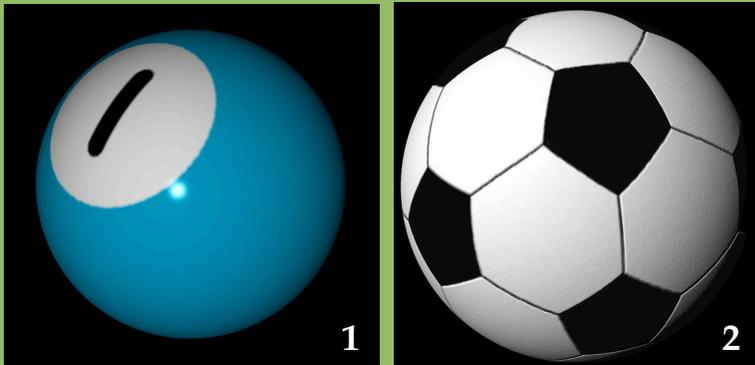


A Terra foi formada no mesmo processo que deu origem ao Sistema Solar e demais planetas, a partir de uma nebulosa solar em rotação, constituída de gás e poeira cósmica. A maior parte da matéria dessa nebulosa inicial se concentrou na região interna originando um proto-Sol. O restante da matéria remanescente

foi se agregando pela força gravitacional, e formando bólidos que se tornariam depois os planetas. A estrutura em camadas ocorreu por diferenciação. Elementos mais pesados como o ferro, afundaram para constituir o núcleo, e os elementos mais leves ascenderam para formar a crosta e os continentes.

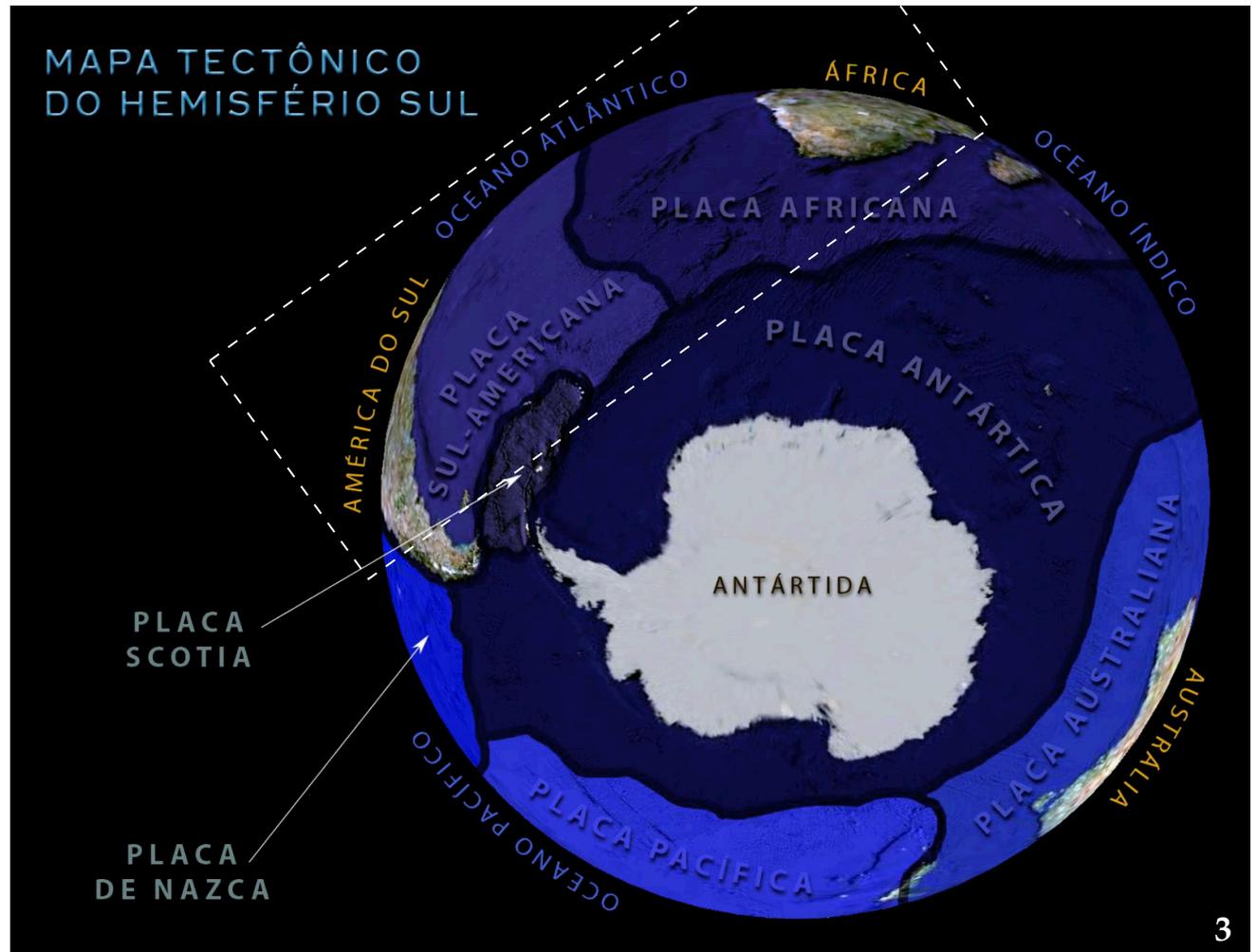
“O mundo é uma bola...”

...é uma expressão metafórica que usamos corriqueiramente, e como toda metáfora não deve ser interpretada de modo literal, menos ainda se o que queremos é compreender a estrutura da Terra, ou em outras palavras, como ela é feita por dentro e por fora. Mas as metáforas podem ajudar a nossa imaginação para entender modelos muito complexos. Tomaremos assim uma bola de bilhar e outra de futebol para nos auxiliar nessa tarefa.



A bola de bilhar (figura 1) é um bom exemplo de tudo aquilo que a Terra **não** é, ou seja, uma esfera sólida contínua, lisa, e constituída por um único material. Já vimos na página anterior que a estrutura da Terra apresenta camadas aproximadamente concêntricas e de constituição química diversa. Cada um de nós sabe também, por experiência própria, que sua superfície é bastante acidentada, com montanhas, vales, planícies, rios, mares etc.

Uma bola de futebol (figura 2) é um exemplo mais interessante, mas ainda assim muito longe da realidade. Os gomos pentagonais que formam a bola, poderiam ser comparados grosseiramente aos grandes gomos (pedaços) irregulares que formam a crosta terrestre, os quais foram chamados mais apropriadamente de **PLACAS TECTÔNICAS**. A figura 3 ilustra o globo terrestre com os contornos destas placas, a partir de um ponto de vista do Hemisfério Sul.



Os gomos da bola estão firmemente costurados. As placas tectônicas, ao contrário, “flutuam” sobre a camada do manto superior, ou Astenosfera, e se deslocam sobre ela, ora afastando-se umas das outras (e alargando os espaços oceânicos que as separam), ora colidindo entre si (elevando grandes cadeias montanhosas, em função dessa colisão, como os Himalaias e os Andes).

Observe na figura 3 a Placa Sul Americana e a Placa de Nazca, e

guarde bem esses nomes. Por estarem relacionadas aos eventos geotectônicos que ocorrem em nosso continente, voltaremos a falar sobre elas mais adiante.

O retângulo tracejado na ilustração, mostra uma área que será vista em corte com mais detalhes, na página 6. Antes disso, na sequência, vamos examinar como as placas tectônicas se distribuem por todo o globo.

Placas Tectônicas no Planeta Terra



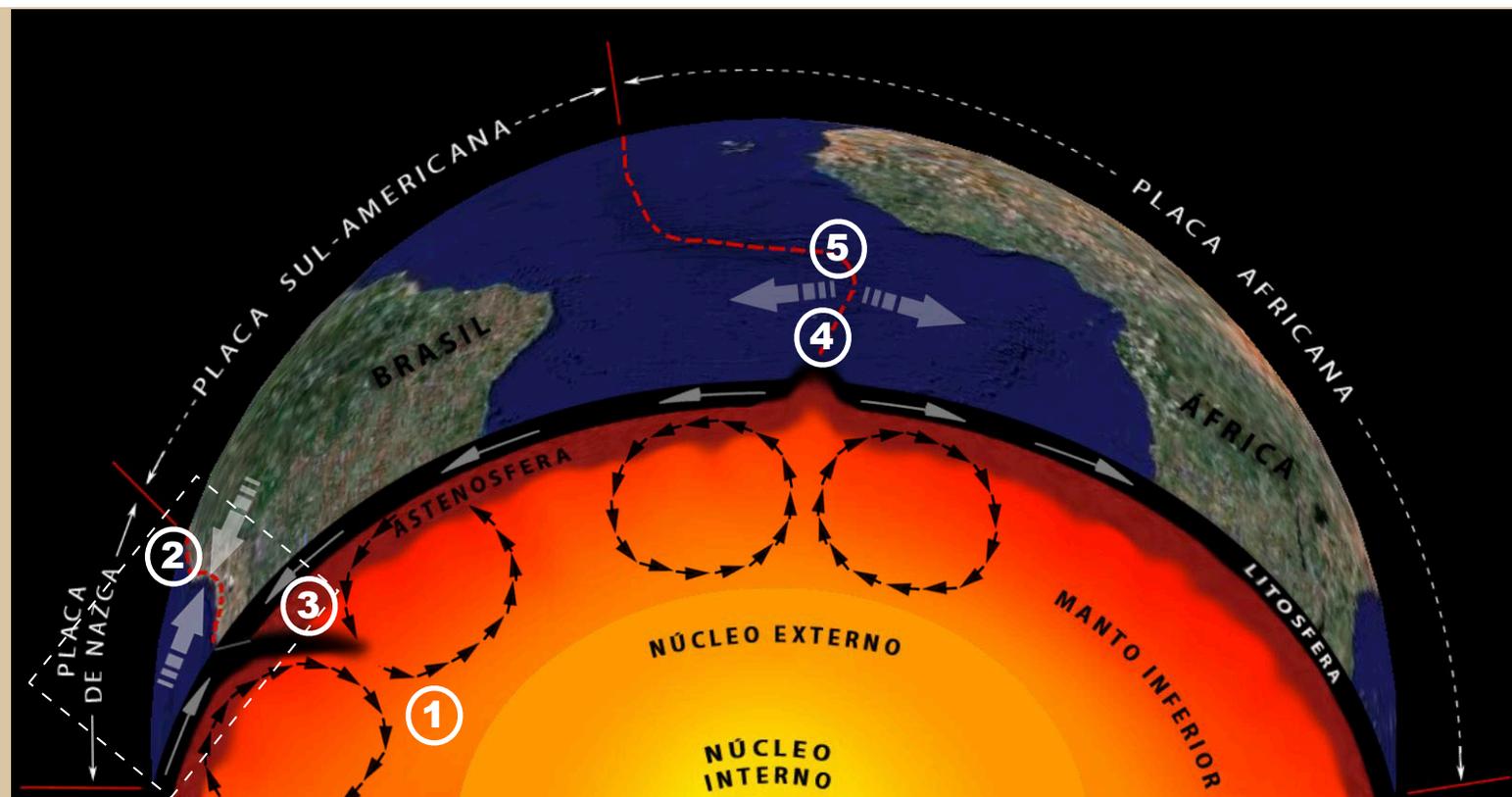
O mapa mostra a distribuição geográfica das placas tectônicas na Terra. As linhas vermelhas contínuas marcam os limites das placas. As setas indicam o deslocamento da placa nos seus limites, em relação à placa vizinha. Assim por exemplo, a Placa Sul Americana mantém um limite de tipo divergente (as placas se afastam uma da outra) ao leste, com a Placa Africana, e um limite de tipo convergente (as

placas colidem entre si) ao oeste, com a Placa de Nazca. No Hemisfério Norte, a Placa Norte Americana mantém um limite divergente em relação à Placa Eurasiana, e um limite de placa transformante com a Placa Pacífica, ou em outras palavras, as duas placas se deslocam paralelamente mas em sentidos opostos, sendo esta a causa da conhecida Falha de San Andreas e dos

terremotos que ameaçam as cidades de São Francisco e Los Angeles. Observe no mapa que o Japão encontra-se numa área de confluência de quatro placas tectônicas: Placas Eurasiana, Norte Americana, Pacífica e Filipina. A área conhecida como Círculo de Fogo (em lilás), está associada à maior concentração de atividade sísmica e vulcanismo no planeta.

As dinâmicas que move as placas tectônicas

A teoria da Tectônica de Placas nos apresenta um modelo bem consistente para explicar a dinâmica da Terra, como representado neste corte transversal desde a África até América do Sul. As placas da litosfera se deslocam sobre a Astenosfera (manto superior), camada parcialmente fundida e dúctil. Acompanhe abaixo as descrições numeradas para entender este mecanismo.



Supõe-se que ocorrem lentos movimentos de convecção (1) no interior do manto, que no decurso do tempo geológico vão empurrando as placas da litosfera (crosta) e deslocando-as vagarosamente de suas posições. A Placa de Nazca (porção do Oceano Pacífico a oeste da América do Sul) e a Placa Sul Americana, se deslocam em sentido convergente (2), colidindo uma com a outra. O resultado dessa colisão gigantesca é a elevação da Cordilheira dos Andes ao longo

de todo o contorno ocidental do continente sul americano. Porções inferiores da Placa de Nazca (3) mergulham por debaixo da Placa Sul Americana e são destruídas no manto. O retângulo tracejado em branco refere-se ao diagrama da página oito, onde veremos mais detalhes desse encontro de placas. No extremo oposto quando as placas tem deslocamento divergente (4), afastando-se uma da outra, o material fundido da Astenosfera sobe

por fraturas e fendas na zona de rompimento entre as placas, derramando-se na superfície na forma de lava basáltica (5). Esse derrame de lava se dá em ambos os lados da linha divisória entre as placas, formando ilhas e um novo assoalho oceânico na medida em que as placas vão se afastando, e gerando estruturas em relevo, ao longo dessa linha, chamadas de dorsais meso-oceânicas, como a extensa Dorsal Mesoatlântica (linha tracejada em ver

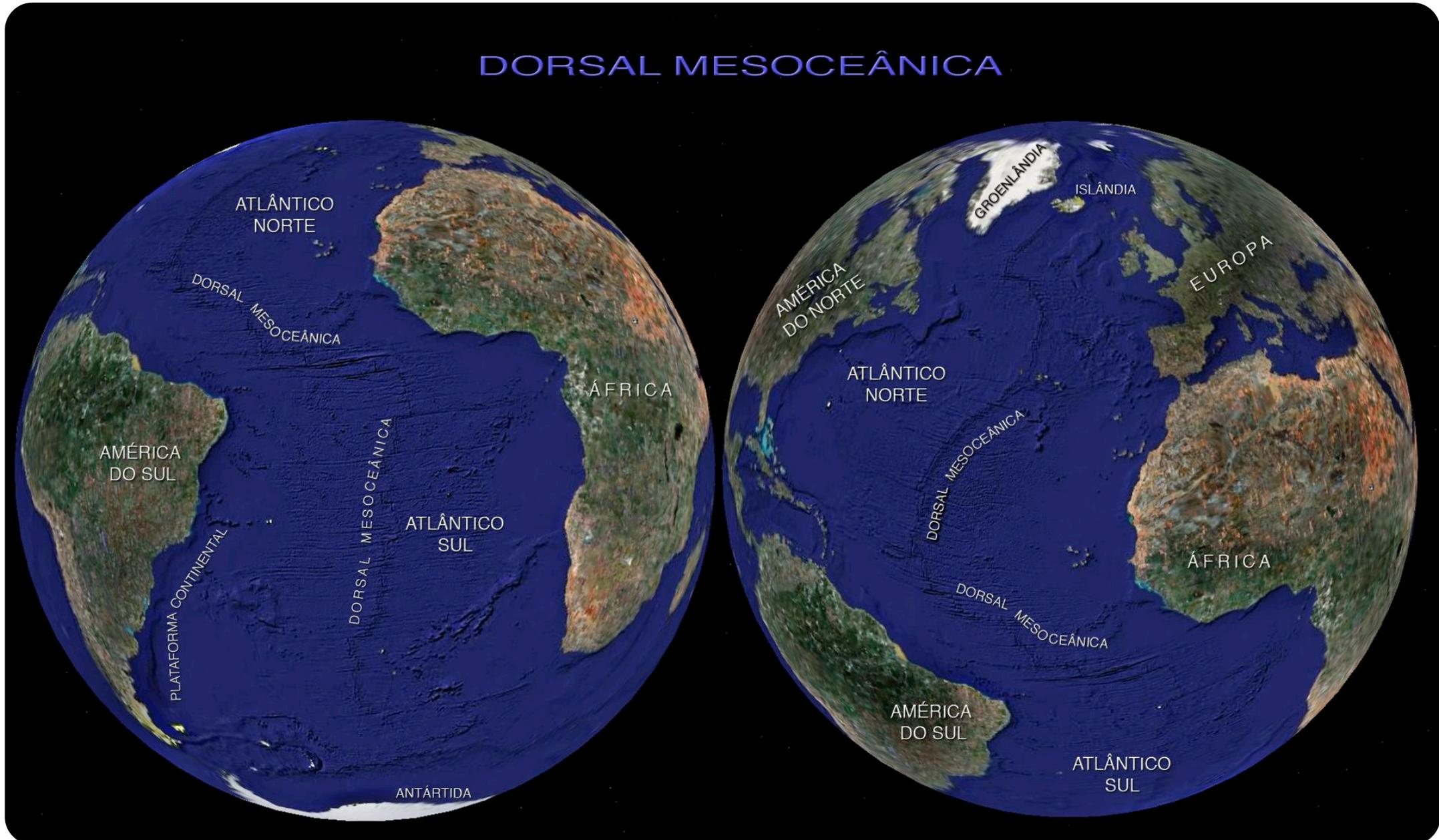
vermelho, na região centro-norte do diagrama), que divide ao meio o Oceano Atlântico desde o sul até o norte, separando simetricamente as placas Sul Americana e Africana, e no Hemisfério Norte as placas Norte Americana e Eurasiana. Na próxima página vamos ver como essa dorsal meso-oceânica se distribui pelo Oceano Atlântico.

A “espinha dorsal” da Terra

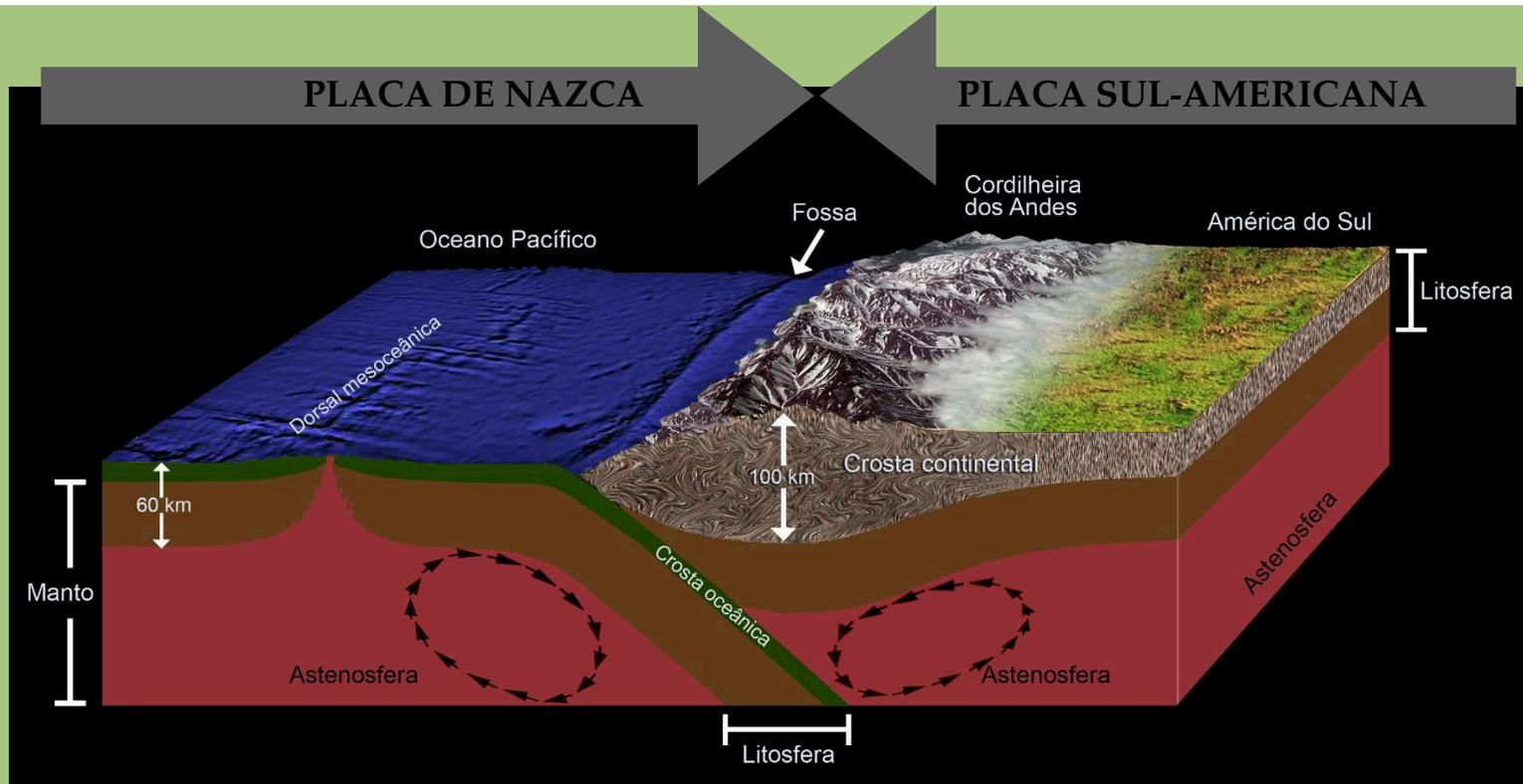
Quem navega pelo Google Earth já viu as feições de relevo que marcam os oceanos, especialmente o Atlântico Norte e Sul, predominando aqui a dorsal mesoceânica (Dorsal Meso Atlântica). Essa cadeia de

montanhas submersas testemunha a linha de separação dos continentes americano, africano e eurasiano, processo este ainda em andamento. Esta linha cruza a Islândia pelo meio, palco de intensos

eventos tectônicos atualmente. Esta ilha é um laboratório ativo para estudos sobre tectônica de placas (ver página 10).



Um megadesastre na América do Sul: placas convergentes



O melhor exemplo de encontro convergente entre placas tectônicas oceânica e continental, está aqui na América do Sul. A formação da Cordilheira dos Andes é resultado direto da colisão entre duas grandes placas: a Placa de Nazca, à oeste, com a Placa Sul Americana, ao leste.

A Placa de Nazca é formada pela crosta oceânica na porção oriental do Oceano Pacífico desde a América Central até quase o extremo sul do continente. A Placa Sul Americana abrange toda a América do Sul mais a parte ocidental da crosta oceânica do Atlântico Sul. O choque destas duas placas desenha o contorno oeste do continente sul-americano. Observe que a crosta oceânica da Placa de Nazca (em verde) mergulha sob a crosta continental da Placa Sul Americana em direção ao manto de

magma, onde ela é destruída. É nessa zona que ocorrem os focos dos grandes e frequentes terremotos que abalam o Chile, Peru e Equador. A interseção entre o plano de mergulho da Placa de Nazca com o plano da Placa Sul Americana forma uma extensa fossa submarina ao largo da costa do Pacífico, conhecida como Fossa Peruano-Chilena. Observe também que a crosta oceânica é menos espessa que a crosta continental. Também podemos dizer por suas composições químicas e

mineralógicas, que a crosta continental tem menor densidade que a oceânica, e sendo portanto mais leve tende a ficar mais elevada em relação à outra. Não custa lembrar que estes processos geotectônicos se realizam numa escala de tempo que se conta em milhões de anos, e que não assim percebidos pela breve história do ser humano. Através de técnicas modernas de GPS, tem se calculado a velocidade de deslocamento de placas. Variam de 5 cm a 15 cm por

ano, em média. Fazendo a conta, para a taxa mais lenta, teríamos uma deriva de 500 quilômetros a cada intervalo de tempo de 10 milhões de anos. Considerando que a evolução das formas de vida também exige um longo período de tempo da mesma proporção, fica fácil entender que a transformação dos ambientes geográficos tem um interferência determinante na evolução e distribuição da diversidade biológica no planeta Terra.

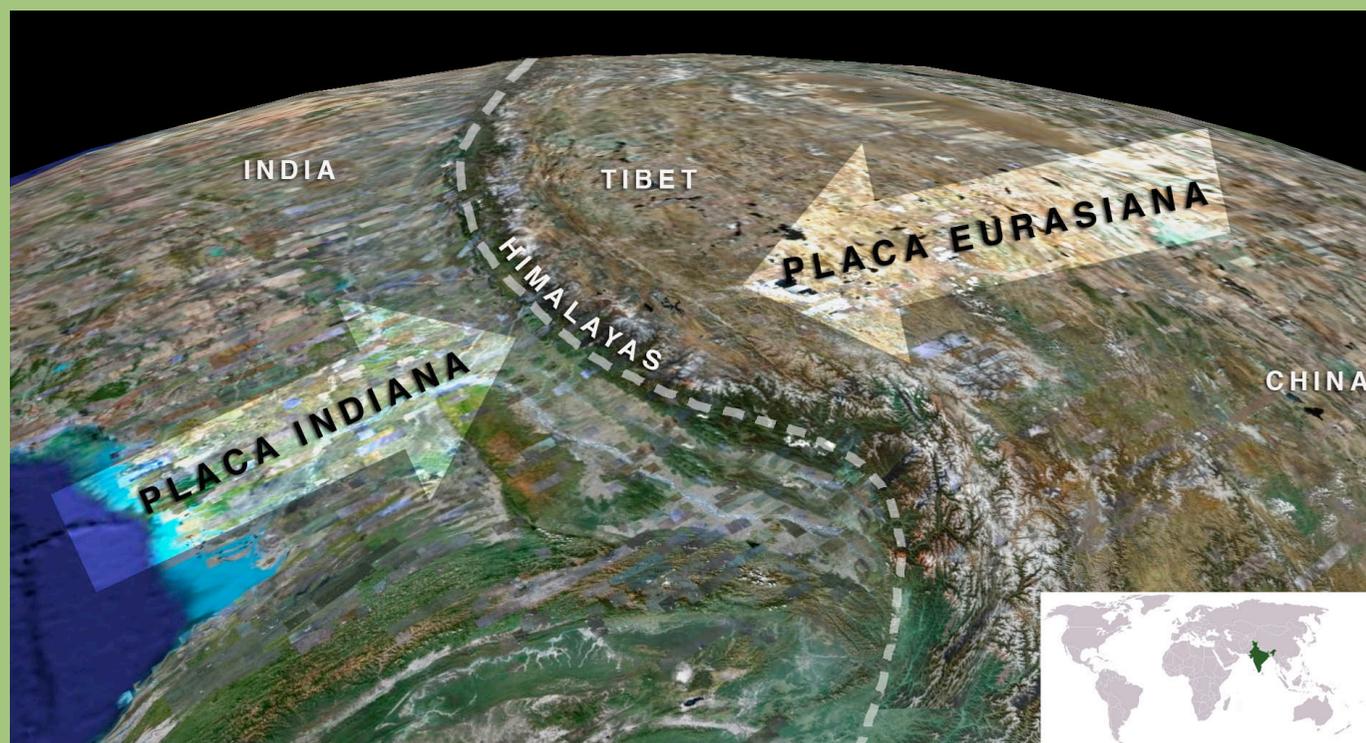
Um megadesastre na Ásia: placas convergentes



No exemplo anterior vimos a convergência entre uma placa oceânica e uma placa continental. Aqui temos outro exemplo de placas convergentes, mas neste caso são duas placas continentais que colidem. O resultado desta grande trombada são os HIMALAIAS.

Quando o continente Gondwana se fragmentou (página 2), a Índia separou-se da Antártida, África e Austrália, iniciando uma longa, lenta mas contínua marcha em direção ao norte (ao lado), até que entre 50 a 40 milhões de anos atrás encontrou pela frente a Placa Eurasiana. Essa grande trombada tectônica ainda está em andamento. A Placa Indiana penetra abaixo da

Placa Eurasiana, soerguendo a grande Cordilheira dos Himalaias. Toda a região do Tibet com seu relevo acidentado e altitude média de 4.600 metros, é resultado desse choque monumental. É a mais alta cadeia de montanhas do mundo chegando a 8.854 metros acima do nível do mar, e continua elevando-se a uma taxa de 1 cm por ano.



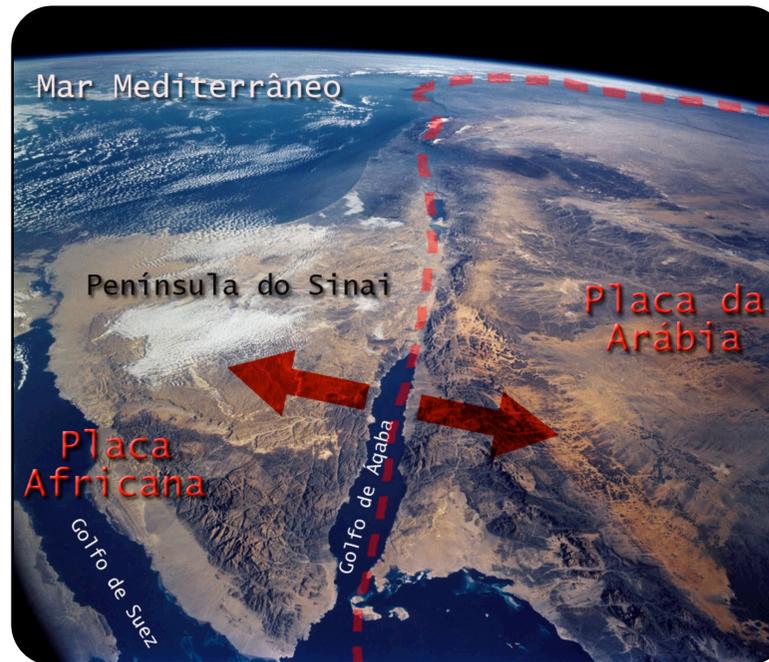
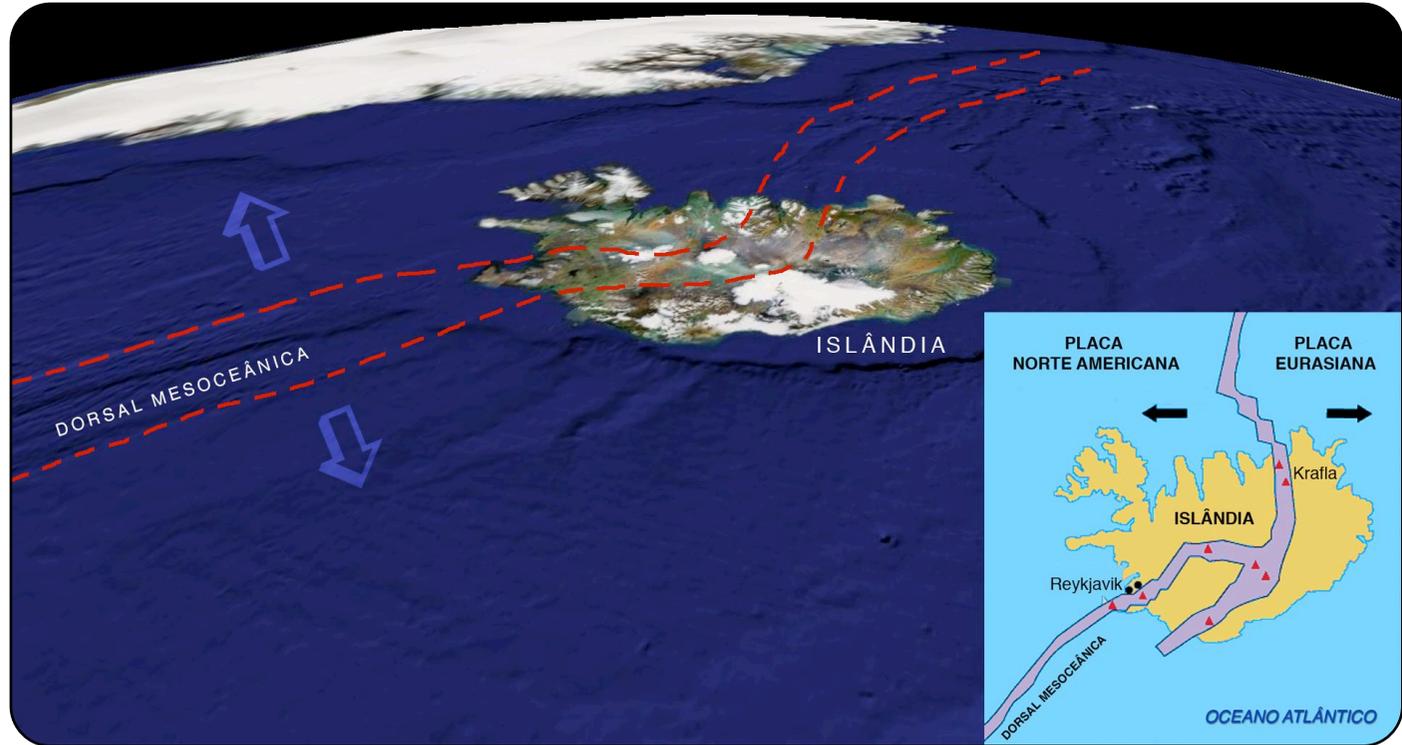
Rasgando a Terra: placas divergentes

A Dorsal Mesoatlântica é o melhor exemplo de limite de placa divergente. A Islândia fica lá em cima nas bordas do Mar Ártico, entre a Inglaterra e a Groenlandia, mas, está bem no caminho da Dorsal Mesoatlântica.

Está passando portanto por um processo gradual de ruptura, tal como aconteceu com o antigo continente Gondwana, quando América do Sul e



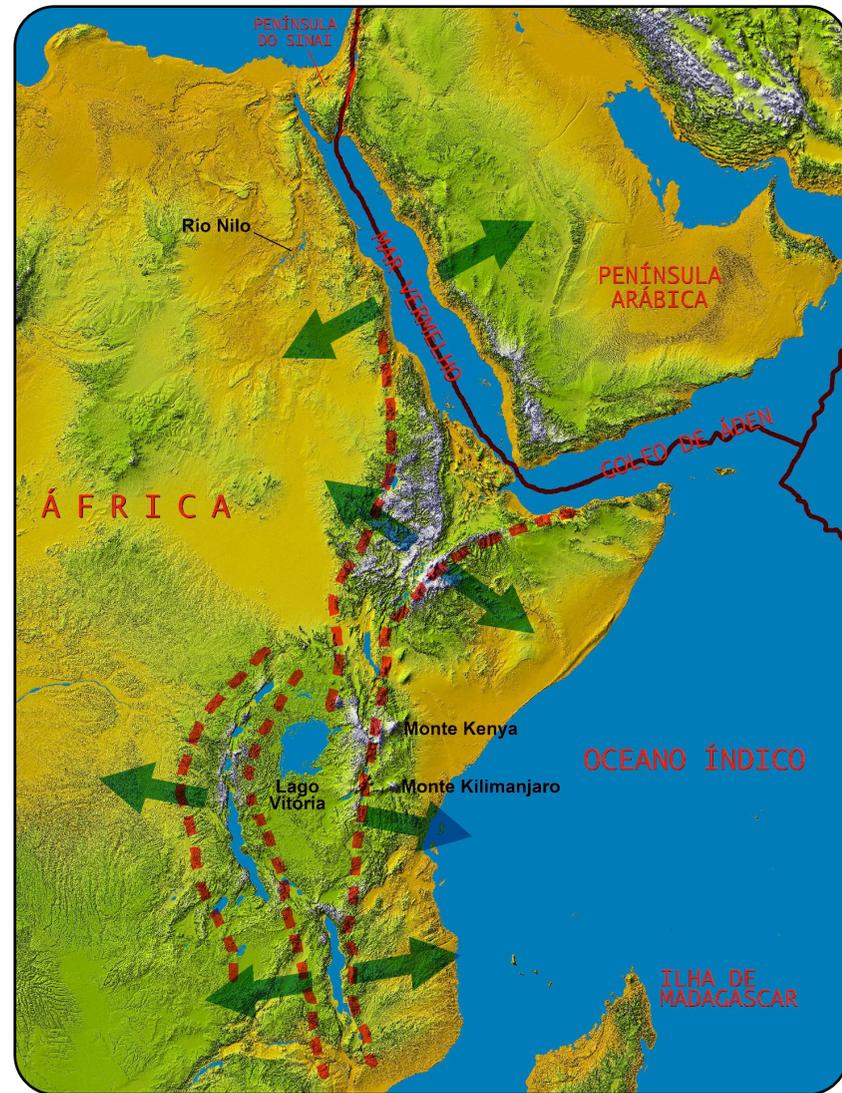
África se separaram, dando origem a um primitivo e estreito Oceano Atlântico, que foi se alargando na medida em que as placas divergentes foram se afastando uma da outra. O mesmo acontece hoje na Islândia. A fotografia acima mostra a dorsal aflorando em superfície e a linha a partir de onde as Placas Norte Americana e Eurasiana se separam. Imagine que esta área será um dia invadida pelo mar. Assim nascem os oceanos. No desenho da figura superior à direita, está mapeada a zona da dorsal em território islandês. Os triângulos em vermelho assinalam alguns dos inúmeros vulcões ativos presente na ilha.



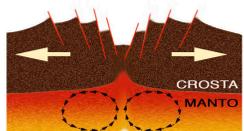
Outro bom exemplo de divergência de placas é mostrado nesta foto da NASA. A Península do Sinai, que faz parte da Placa Africana, está se separando da Placa da Arábia, dando origem ao Golfo de Aqaba e rompendo o Oriente Médio através da linha tracejada. Talvez num futuro bem distante o Mar Mediterrâneo se conecte diretamente ao Oceano Índico. As imagens da Terra captadas pelas naves espaciais tem sido de enorme valia para os estudos de geotectônica, pois possibilitam investigações aprimoradas da superfície terrestre por meio de técnicas de sensoriamento remoto e interpretação, que antes não estavam disponíveis. Essas mesmas técnicas são aplicadas no estudo de outros corpos celestes.

O grande "rift" africano: placas divergentes

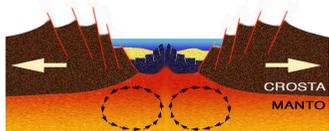
Rift é um termo que designa uma grande estrutura de relevo semelhante a um extenso vale, originando um rebaixamento do terreno por falhas de gravidade. Em outras palavras, quando um continente é rasgado ao meio, se forma nessa zona de ruptura uma grande depressão alongada. É o rift, termo consagrado na geologia. O grande "Rift Valley" da África Oriental é o melhor exemplo. Veja a linha tracejada vermelha no mapa menor. O que está acontecendo ali é uma grande partição da Placa Africana em dois pedaços. No mapa maior as linhas marcam os limites da zona de rift, onde a porção oriental do continente africano está se dividindo para formar futuramente uma grande ilha destacada do resto. A área do grande rift será então invadida por águas do Oceano Índico. Esse processo que



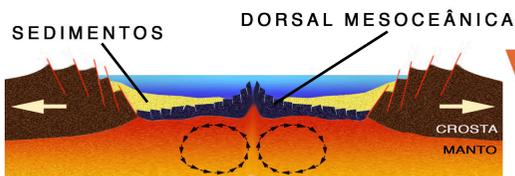
FORMAÇÃO DOS OCEANOS



RIFT VALLEY AFRICANO



OCEANO JOVEM - MAR VERMELHO



OCEANO MADURO - OCEANO ATLÂNTICO

está em andamento deve se parecer muito com o que aconteceu há cerca de 200 milhões de anos atrás, quando as placas Sul Americana e Africana se separaram e seguiram rumos diferentes até chegar às posições que ocupam hoje. É nessa área de rift que se encontram os principais lagos africanos e os principais vulcões, como Monte Kilimanjaro e Monte Kenya.

O grande Rift Valley Africano é um laboratório natural para se estudar como se formam os oceanos. No diagrama à esquerda se representam tres estágios de maturidade de um oceano. O Rift Valley é uma fase primitiva, quando há um rebaixamento do terreno mas ainda não há invasão de águas. O Mar Vermelho exemplifica muito bem um oceano recém formado, caracterizado por sua largura ainda estreita. O Atlântico, entretanto, já é um oceano com maturidade. Observe que as correntes de convecção do manto impulsionam material magmático ascendentemente, para formar as dorsais mesoceânicas através de sucessivos derrames de lava basáltica.



Limites entre placas tectônicas



Direções divergentes do rifteamento



Zona de Rift Valleys na África Oriental

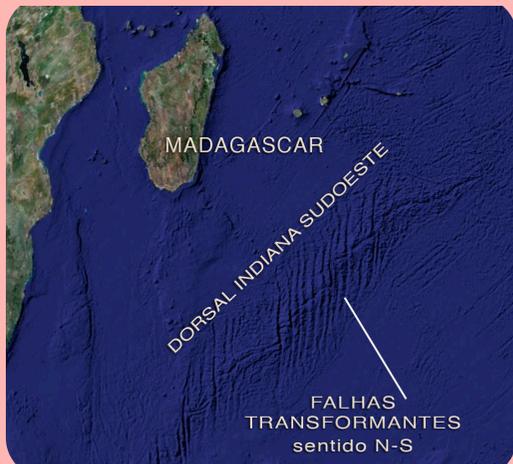
Catástrofe anunciada: placas transformantes



Não é preciso ter uma bola de cristal, todo mundo sabe que as cidades de Los Angeles e San Francisco vão sofrer um grande terremoto em breve. Elas estão na borda de duas grandes placas que medem forças entre si, a Placa Norte Americana e a Placa Pacífica. A tendência é toda a parte sul da Califórnia separar-se do continente e constituir uma ilha.

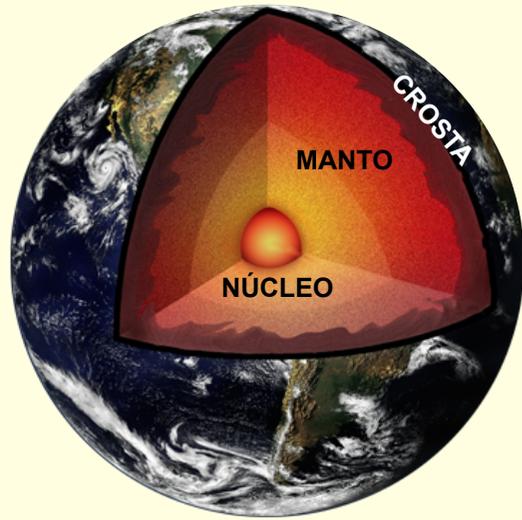
A zona entre duas placas deslizando horizontalmente uma em relação a outra, é chamado de limite de placa transformante. Não existe nesse processo nem criação nem destruição

de placas, somente um gigantesco atrito capaz de provocar abalos sísmicos de grande magnitude. A maioria das falhas transformantes encontram-se nos assoalhos oceânicos, associadas às dorsais meso-oceânicas, e cortando estas transversalmente (à esquerda). Poucas ocorrem em superfície. O exemplo mais conhecido de todos é a Falha de San Andreas, na Califórnia, vista na foto acima em perspectiva aérea. Ela faz parte de um complexo de falhas e fraturas presente em toda essa região (à direita), e que são monitoradas diuturnamente, uma vez que o risco de um deslocamento catastrófico nos próximos 25 anos é real, e motiva preocupação e cuidados.

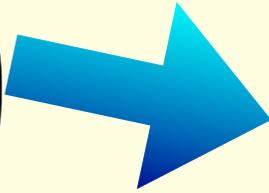


A Falha de San Andreas ocupa uma extensão de cerca de 1.300 quilômetros ao longo da Califórnia, e marca a zona de contato onde a Placa Pacífica e a Placa Norte Americana deslizam em sentidos opostos, desde 10 milhões de anos. Esse longo tempo de movimento foi suficiente para colocar lado a lado blocos de terreno com características litológicas completamente diversas, em função do deslocamento lateral entre as placas.

Resumindo



ESTRUTURA DA TERRA



PANGEA

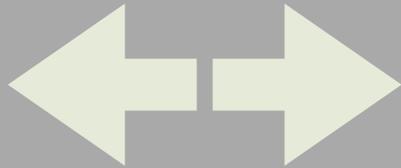
FRAGMENTAÇÃO



TERRA HOJE

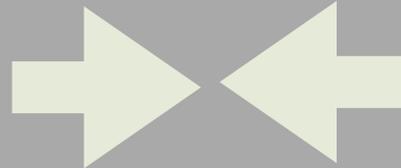
TIPOS DE LIMITES ENTRE PLACAS TECTÔNICAS

Limite de Placa



DIVERGENTE

Limite de Placa



CONVERGENTE

Limite de Placa



TRANSFORMANTE

Exemplo



OCEANO ATLÂNTICO

Exemplo

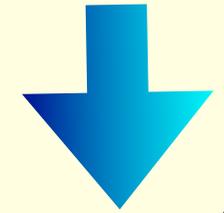


CORDILHEIRA DOS ANDES

Exemplo



FALHA DE SAN ANDREAS CALIFÓRNIA



PLACAS TECTÔNICAS