INTRODUÇÃO À GEOLOGIA

O que é Geologia?

A Geologia é a ciência da Terra, de seu arcabouço, de sua composição, de seus processos internos e externos e de sua evolução. O campo de atividade da Geologia é, por conseguinte, a porção da Terra constituída de rochas que, por sua vez, são as fontes de informações. Entretanto, a formação das rochas decorre de um conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos, donde os interesses se entrecruzarem repetidamente.

Geologia, termo grego, onde geo (Ge) Terra, logia (logos) ciência. A geologia tem como objetivo maior, como ciência, decifrar (pelo menos procura) a história geral da Terra (desde o momento de sua formação até o presente momento). A história da Terra, formada por um complexo conjunto de fenômenos físicos, químicos, físico-químico e biológico.

Os objetivos da geologia podem ser sintetizados desta forma:

- Estudo das características do interior e da superfície da Terra, em várias escalas;
- Compreensão dos processos físicos, químicos e físico-químicos que levaram o planeta a ser tal como o observamos;
- Definição da maneira adequada (não destrutiva) de utilizar os materiais e fenômenos geológicos como fonte de matéria prima e energia para melhoria da qualidade de vida da sociedade;
- Resolução de problemas ambientais causados anteriormente e estabelecimento de critérios para evitar danos futuros ao meio ambiente, nas várias atividades humanas;
- Valorização da relação entre o ser humano e a Natureza.

Breve Histórico da Geologia

Até meados dos Séc. XVIII persistiu um "obscurantismo" com relação ao interesse pelos fenômenos geológicos naturais. É provável que esse desinteresse tenha sido influenciado pelas idéias dominantes na época proveniente de uma observância do livro do Gênesis, que considerava que todo o tempo geológico não ultrapassava alguns poucos milhares de anos. Segundo tais idéias, as rochas sedimentares tiveram origem na ação do dilúvio bíblico e os fósseis eram interpretados como evidência de seres de invenções diabólicas afogados pelo dilúvio.

Não havia até então estímulos à especulação pela crosta terrestre, exceto na busca de minerais úteis. Nessa época, além das observações esparsas de filósofos gregos haviam surgido manuais de Mineralogia que tratavam de métodos de mineração e metalurgia escritos (1494-1555).

Na segunda metade do Séc. XVIII, as observações científicas de Steno, na Itália, e Hooke, na Inglaterra, produziram interpretações corretas do significado cronológico da sucessão de rochas estratificadas.

Arduíno, em 1760, classificou rochas de uma região da Itália em primárias, rochas cristalinas; secundárias, rochas estratificadas com fósseis; e terciárias, rochas pouco consolidadas com conchas.

James Hutton (1726-1797) recusou-se a imaginar a criação da Terra a partir de um dilúvio, ou seja, um evento repentino e único. Examinando as rochas estratificadas, encontrou vestígios de repetidas perturbações nas rochas em alternância com longos e calmos períodos de sedimentação. Em muitos lugares constatou que uma sequência de estratos assenta sobre camadas revolvidas, enquanto, em outros, corta camadas inclinadas. Ele explicou que inicialmente ambas as camadas eram horizontais, porém a inferior foi erguida e erodida antes da deposição da camada seguinte. Dessa forma, a história da crosta terrestre era a da "sucessão de mundos anteriores". Suas contestações foram resumidas na célebre frase "não encontramos nenhum sinal de um começo, nenhuma perspectiva de um fim".

O ponto de vista de Hutton veio a ser chamado "uniformitarismo", pois seus argumentos baseavam-se nas observações da erosão nos rios, vales e encostas, concluindo que todas as rochas se formaram de material levado de outras rochas mais antigas e explicando a formação de todas as rochas com base nos processos que estão agora operando, não se exigindo, para isto, outra coisa senão o tempo.

Abraham G. Werner (1749-1815), um dos mais persuasivos e influentes mestres europeus, defendia ardorosamente uma doutrina denominada "netunista", a qual se coadunava melhor com a história bíblica. Tal doutrina sustentava que todas as rochas haviam sido formadas a partir de um oceano primitivo único que no passado cobriu toda a Terra. As rochas calcárias, graníticas e basálticas formavam-se a partir de precipitados químicos. Quando a água recuou, ficaram expostas todas as rochas com a configuração que hoje se encontra por sobre toda a superfície terrestre.

A tese de Hutton sobre o uniformitarismo, embora muito popular, não conseguiu suplantar a de Werner naquela época, só logrando liderança efetiva com Charles Lyell (1797-1875).
William Smith (1769-1839), modesto engenheiro inglês, prestou pouca atenção às controvérsias existentes na época entre os "netunistas" e os "uniformitaristas", se é que realmente teve notícias da existência de tais discussões.

Trabalhando com movimentação de terras, escavações de canais e construção de estradas, foi incorporado a uma equipe que trabalhava na construção do canal de Somerset. Para isto havia sido enviado inicialmente para o norte da Inglaterra para estudar métodos de construção de canais. Aproveitando a viagem para examinar as rochas expostas, cada vez mais se confirmavam suas suspeitas: as mesmas formações que conhecia no sul da Inglaterra se estendiam pelo norte e dentro, da mesma ordem. Smith trabalhou cinco anos no canal de Somerset, quando descobriu que, entre diversas formações já conhecidas, à primeira vista, muitas eram semelhantes, porém tinham uma característica que as diferenciava: os fósseis que continham não eram os mesmos. Descobriu, então, que os sedimentos de cada época tinham seus fósseis específicos. Smith divulga, nessa ocasião, o primeiro mapa geológico, com divisões estratigráficas baseadas nos fósseis.

Outras investigações científicas realizadas posteriormente na Europa por Cuvier e Lamark, entre outros, terminaram por afastar a doutrina do netunismo. Com a publicação da obra Princípios de Geologia, de Charles Lyell, os conceitos de Hutton passaram a ser a idéia dominante. Em sua obra, Lyell expôs com clareza os conhecimentos científicos da época com apoio na doutrina de que o presente é a chave do passado. As unidades geológicas foram dispostas em ordem cronológica por "grupos" e estes foram subdivididos em "períodos".

A grande obra de Lyell teve substancial influência no preparo do terreno para o florescimento das ideias de Charles Darwin desenvolvidas no séc. XIX a respeito da evolução dos seres vivos.

O primeiro trabalho científico realizado no Brasil (publicado em 1792) foi da autoria de José Bonifácio de Andrada e Silva e seu irmão Martin Francisco Ribeiro de Andrada sobre os diamantes no Brasil.

Com a fundação da Escola de Minas de Ouro Preto, a partir de 1876 tem o Brasil iniciada a formação de geólogos que viriam a trazer grande impulso à pesquisa e ao ensino de Geologia nos país.

O estudo da Terra

Quando se olha para os mistérios do universo, o homem, reduzido a suas reais proporções, sente toda a humildade diante da dificuldade de compreender aquele infinito conjunto de luz e sombras. Em alguns pontos infinitamente pequenos do universo, na realidade espalham-se centenas de bilhões de galáxias semelhantes à nossa, com dezenas de trilhões de planetas e estrelas.

O sol, com 1.392,000 Km de diâmetro, é apenas uma estrela entre 100 milhões existentes e a Terra é um dos planetas do Sistema Solar, que é parte da Via Láctea, uma entre milhões de Galáxias que compõem o Universo.

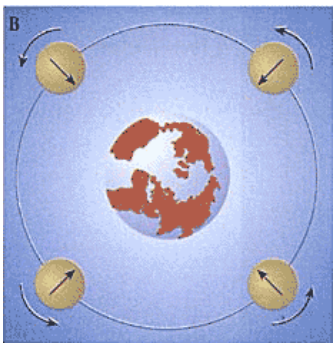
A vida na terra começou a quase 3 bilhões de anos e o homem surgiu há menos de 1 milhão de anos. Assim, o homem ocupa um pequeno período de tempo na vida de um planeta que, por sua vez, é um ponto reduzidíssimo num universo imenso.

O estudo da terra deve, portanto, levar em conta as relações desta com o resto do universo e a posição do homem neste. Muitos dos aspectos físicos da terra são afetados pela ação mútua do sol, da lua e das forças contidas na própria terra.

A terra está a uma distância de 150.000 Km do sol e a cada ano completa uma volta ao redor dele a uma velocidade média de 29,8 Km/segundo. A luz e a sombra escura que se abatem diariamente sobre a terra são efeitos da rotação da terra ao redor do seu eixo. Como os raios verticais do Sol incidem sobre a zona norte do equador durante meio ano e sobre a zona sul do equador durante a outra metade, a intensidade máxima da energia solar muda de uma parte para outra da terra, dando origem as estações do ano.

A lua é o satélite natural da terra. Tem aproximadamente 3.475 Km de diâmetro e gira ao redor da terra, de modo que a lua gira completamente uma única vez durante todo o circuito terrestre.

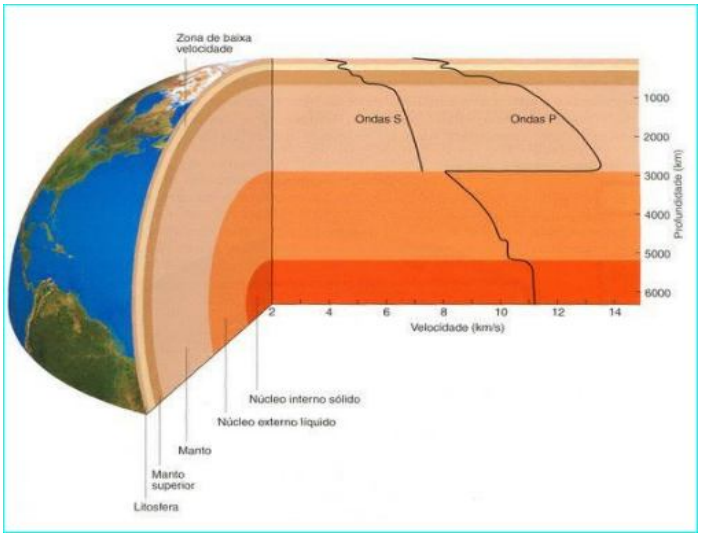
Assim como a Terra, a Lua executa 2 movimentos simultâneos principais. O primeiro é o de translação, pelo qual descreve uma órbita elíptica em torno da Terra: tal movimento é também denominado de "revolução lunar". Os 2 pontos máximos de aproximação e afastamento entre a Terra e a Lua recebem, respectivamente, os nomes de "perigeu" e "apogeu". A Lua completa essa órbita em 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 11,6 segundos. O segundo movimento, denominado de "rotação", é realizado em igual intervalo de tempo e, por essa coincidência, a Lua tem sempre a mesma face voltada para a Terra, o que é ilustrado pela figura ao lado.

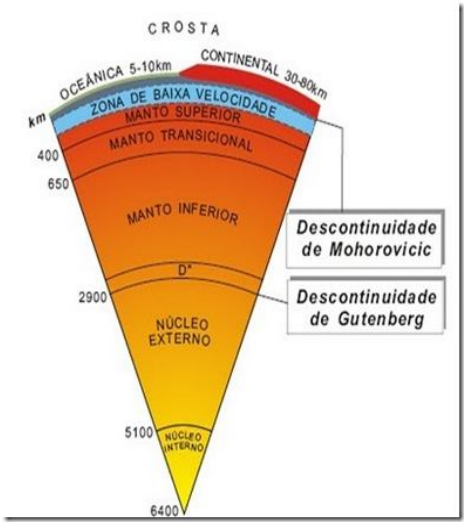


Atualmente, dos 510 milhões de quilômetros quadrados da superfície do planeta, apenas 149 milhões (29,2%) constituem terras emersas, enquanto os 361 milhões restantes constituem em mares e oceanos. Com relação ao relevo da superfície terrestre a maior altitude é a do Monte Everest com cerca de 8.840 m, a maior depressão é a Fossa das Filipinas no Pacífico, com 11.516 m de profundidade. Os continentes têm uma altitude média de 800 m, e os mares uma profundidade média de 3.800 m.

A maior parte dos conhecimentos que se tem sobre o interior da Terra provém de meios indiretos. Na realidade, dos 6.300Km que separam a superfície terrestre do seu núcleo, conseguiu-se perfurar pouco mais que 0,1% (cerca de 7Km). As rochas mais profundas conhecidas provêm das erupções vulcânicas, sem que no entanto se possa afirmar sua exata profundidade. Os bolsões magmáticos donde se originam as lavas não se encontram a profundidades superiores a 30Km.

As melhores informações sobre o interior da Terra são frutos de estudos da propagação das ondas sísmicas originadas pelos terremotos. Um terremoto transmite energia através da Terra na forma de ondas que são sentidas como tremores mesmo a uma distância considerável da origem. As vibrações da crosta são medidas com sismógrafos.





As variações bruscas na velocidade das ondas sísmicas que atingem determinadas profundidades, permitiram detectar superfícies no interior da Terra que separam materiais com diferente composição e propriedade: Descontinuidades. Entre 30 a 40Km temos a descontinuidade de Mohorovicic, Moho ou M, essa descontinuidade separa a crosta do manto. Há cerca de 2.900Km, temos a descontinuidade de Gutemberg.

A velocidade das ondas *P* e *S* aumenta até à profundidade de 100Km, a partir da qual diminui. Posteriormente, volta a aumentar até aos 2.900Km de profundidade. Neste ponto as ondas *P* passam de 14Km/s para 8Km/s, e as ondas *S* interrompem a sua propagação. Aos 5140Km a velocidade das ondas *P* volta a aumentar.

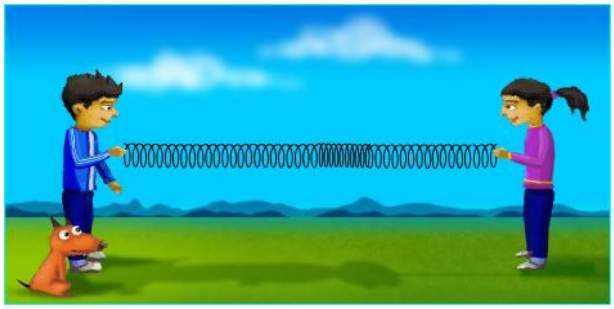
A energia de um terremoto, explosão ou outra fonte sísmica atravessa a Terra como uma frente de onda que se espalha em todas as direções.

Existem diversos tipos diferentes de ondas sísmicas. Cada tipo se move de forma diferente. Os dois principais tipos de ondas são as **ondas de volume** e as **ondas de superfície**. As ondas de volume podem atravessar as camadas internas da Terra, mas as ondas de superfície podem só andar pela superfície do planeta como ondulações na água.

Ondas de Volume

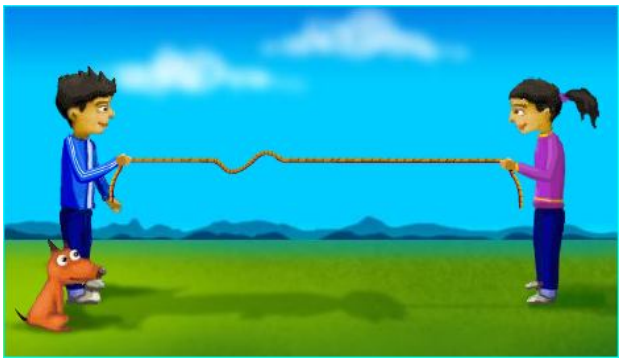
As **ondas P** (ondas primárias ou compressionais) são as ondas sísmicas com movimento mais rápido. Elas têm um movimento de empurrar e puxar, fazendo com que as partículas da rocha se

movam para frente e para trás. À medida que a onda se afasta do foco, as partículas se aproximam e se afastam ao longo da direção para a qual a onda está se movendo.



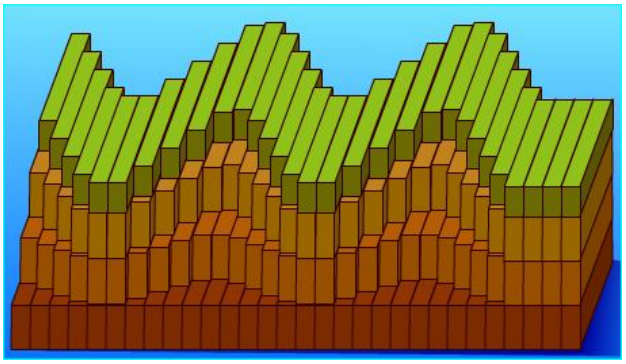
As ondas P podem atravessar sólidos, líquidos ou gases. Elas são muito semelhantes às ondas sonoras, empurrando e puxando a rocha assim como ondas sonoras empurram e puxam o ar.

As **ondas S** (ondas secundárias, de cisalhamento, laterais ou transversas) andam muito mais lentamente que as ondas P. Elas não passam por líquidos. As ondas S fazem com que as partículas se movam de lado a lado. O movimento delas é nos ângulos corretos para a direção em que a onda está rumando.

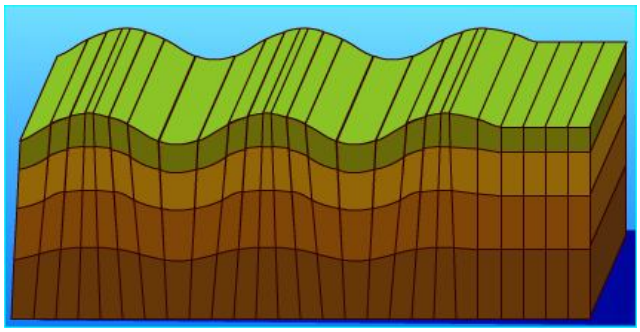


Ondas de Superfície

As **ondas de Love** receberam esse nome em homenagem a A. E. H. Love, um matemático britânico que desenvolveu o modelo matemático para esse tipo de onda, em 1911. As ondas de Love se movem como uma cobra, estremecendo o solo de lado a lado. Elas andam lentamente a partir da fonte sísmica, mas são muito destrutivas. São essas ondas que na maioria das vezes são as maiores responsáveis por fazer com que prédios caiam durante um terremoto.



As **ondas Rayleigh** têm esse nome por causa de Lord Rayleigh (John William Strutt), que previu matematicamente a existência desse tipo de onda, em 1885. A onda Rayleigh viaja pelo chão assim como uma onda viaja por um lago ou oceano. Conforme ela viaja, ela move o chão para cima e para baixo e para os lados na mesma direção em que a onda está se movendo. A maior parte do tremor sentido durante um terremoto se deve às ondas Rayleigh.



Ainda que as ondas de superfície muitas vezes sejam as mais destrutivas, a maioria dos geólogos está mais interessado nas ondas de volume. Como as ondas de volume viajam através da Terra, elas podem dar muitas informações sobre a estrutura. Entre outras coisas, elas podem ajudar os geólogos a localizarem camadas rochosas que podem conter petróleo, gás e outros minerais valiosos.

Escala geológica do tempo

Após a sua formação, a Terra passou por um longo período de resfriamento, transformando-se de uma massa gasosa aquecida em um planeta dotado de ar, água, rochas, minerais e solo, isto é, de inúmeras condições que tornaram possível a existência da vida. Para se entender a estrutura da Terra é necessário também, o conhecimento do tempo geológico.

A escala geológica do Tempo está dividida em Eras, que se dividem em Períodos, e estes se dividem em Épocas.

A primeira *Era* é a chamada *Pré-cambriana*, que se divide em três períodos:

- Azóica: por volta de 4,5 bilhões de anos atrás, esse período é marcado pela não existência de vida, esse período durou bilhões de anos.

- Arqueozóica e Proterozóica: nesse período passaram a surgir os seres unicelulares e invertebrados (algas e bactérias). Formação das rochas magmáticas. Existência de dois continentes: Árqueo-ártico e Indo-afro-brasileiro.

A *Era Paleozóica* está dividida nos períodos: Permiano, Carbonífero, Devoniano, Siluriano, Ordoviciano e Cambriano.

Nestes períodos houve a existência de rochas sedimentares e metamórficas. Existência de cinco continentes: Indo, Afro, Brasileiro (Gondwana), Terra Canadense e Terra Siberiana. Surgiu os peixes e os primeiros répteis.

A próxima *Era* foi a *Mesozóica*, dividida pelos períodos Cretáceo, Jurássico e Triássico. Surgiram mamíferos e aves; répteis gigantescos (dinossauros); grandes florestas; e rochas sedimentares e vulcânicas.

Já na *Era Cenozóica* existem dois períodos, Quaternário e Terciário. Este último tem cinco épocas: Plioceno, Mioceno, Oligoceno, Eoceno e Paleoceno. Neste período houve o desenvolvimento dos mamíferos e fanerógamos. Os répteis gigantes foram extintos, formou-se as bacias sedimentares.

No período do Quaternário existem duas épocas: Holoceno e Pleistoceno. Houve neste período a glaciação no hemisfério norte; delineamento dos atuais continentes; formação das bacias sedimentares recentes; aparecimento do homem.

Escala geológica do tempo

Eras		Períodos	Tempo decorrido (anos)	Formas de vida: Vegetal	Formas de vida: Animal
CENOZÓICA (*vida atual*)	Quaternário	Holoceno	11 mil	Plantas como as de hoje	Seres humanos
		Pleistoceno	1 milhão		
	Terciário	Plioceno	12 milhões	Pinheiros	Pássaros; Mamíferos; Insetos; Primatas; Répteis
		Mioceno	23 milhões		
		Oligoceno	35 milhões		
		Eoceno	55 milhões		
		Paleoceno	70 milhões		
MESOZÓICA (*vida intermediária*)		Cretáceo	135 milhões	Angiospermas	Peixes; Pássaros; Répteis marinhos; Sáurios
		Jurássico	180 milhões	Desenvolvimento das gimnospermas	
		Triássico	220 milhões		Caramujos; Anfíbios e répteis
PALEOZÓICA (*vida antiga*)		Permiano	270 milhões	Criptógamas	Primeiros répteis e anfíbios; Primeiros insetos
		Carbonífero	350 milhões		
		Devoniano	400 milhões		Primeiros peixes; Crustáceos; Invertebrados
		Siluriano	430 milhões		
		Ordoviciano	490 milhões	Algas marinhas	Moluscos e crustáceos (trilobitas)
		Cambriano	600 milhões		
PRÉ-CAMBRIANA (*vida primitiva*)	Proterozóica	Algonquiano	3,9 bilhões		
	Arqueozóica	Arqueano		Primeiros seres vivos	
Início da Terra Azóica (*sem vida*)			± 4,5 bilhões	Nenhum sinal de vida	

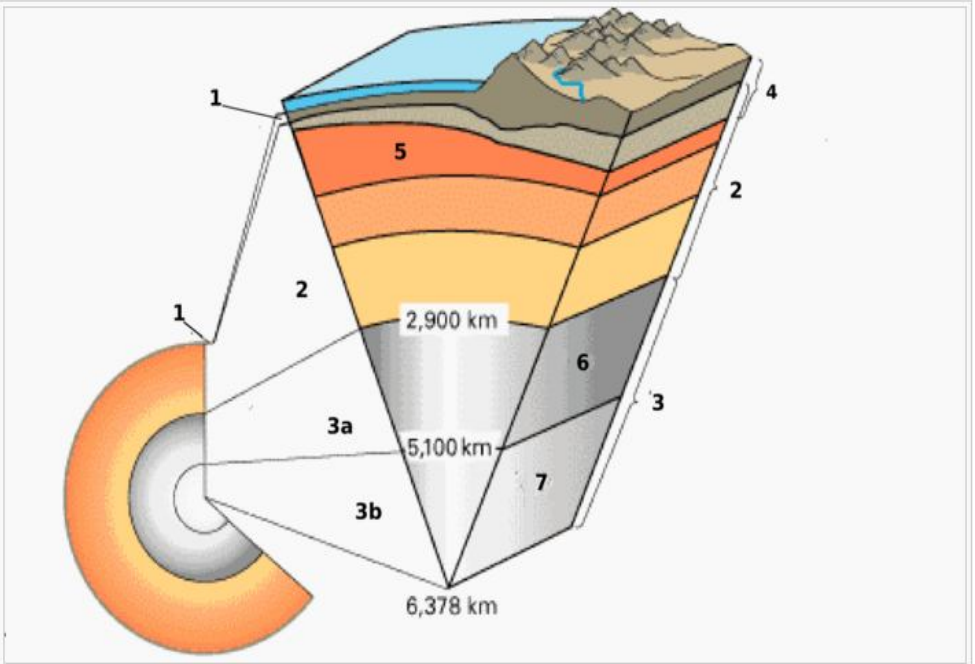
Fonte: LEINZ, Viktor e AMARAL, Sérgio Estanislau do. *Geologia geral*. São Paulo, Nacional, 1989. p. 27.

Estrutura da Terra

A história da formação da Terra vem sendo discutida no meio científico até hoje. Acredita-se que essa história tenha se iniciado há cerca de 4,6 bilhões de anos. Estudos mostram que a Terra, assim como os outros planetas do Sistema Solar, se formou pro uma força gravitacional que "reuniu" materiais existente no espaço (poeira cósmica e gases). No princípio, a Terra era um corpo homogêneo, mas isso começou a se modificar com o resfriamento natural das áreas mais afastadas do centro do planeta. O material mais pesado mergulhou para o interior (ferro e níquel, por exemplo), e o mais leve (gases) flutuou para a superfície, formando-se então a crosta. A partir daí, a Terra foi se transformando em um planeta com camadas distintas, de acordo com as densidades e tipos de materiais.

A maior parte dos conhecimentos que se tem atualmente sobre a estrutura interna da Terra foi obtida através da análise das variações na velocidade de propagação das ondas sísmicas. Estas ondas tendem a se propagar com a mesma velocidade quando atravessam regiões mais ou menos homogêneas; tornam-se, por outro lado, mais lentas ou mais rápidas quando atravessam materiais de composição diferente. Desta forma, através da comparação de dados coletados em estações sismográficas em várias partes do mundo, os cientistas puderam estimar a densidade, a composição, a estrutura e o estado físico das diversas camadas do interior da Terra.

A estrutura da Terra é formada por três camadas: Crosta terrestre ou Litosfera; Manto – superior e interior; Núcleo – externo e interno.



Fonte:USGS/USGov.-modificado por Eurico Zimbres
1=Crosta (Continental e Oceânica)
2=Manto (Manto superior (incluindo astenosfera) + manto imferior)
3=Núcleo (3a=núcleo exterior + 3b=núcleo interior)
4=Litosfera (Crosta + manto superior)
5=Astenofesra
6=Núcleo líquido
7=Núcleo sólido

Crosta: a crosta é a camada rochosa mais externa do planeta e pode ser analisada a partir de amostras coletadas nos continentes ou no fundo dos oceanos. A parte da crosta que compõe os continentes é chamada de crosta continental, enquanto que a parte da crosta que forma o substrato oceânico é chamada de crosta oceânica.

A crosta terrestre é uma camada relativamente fina, com 25 a 50Km de espessura em média no continente e de 5 a a 10Km no oceano. Ela é constituída, pelo menos na porção superior, por rochas semelhantes às que afloram na superfície: granitos, basaltos e rochas sedimentares. Na porções mais profundas ocorrem rochas escuras e mais pesadas: diabásios, rochas ultrabásicas etc. Nos continentes predominam os primeiros tipos de rochas e nas áreas oceânicas os segundos.

É constituída de duas camadas: uma externa, Sial (15 a 25 km de profundidade) e outra interna, Sima (25 até 50 km de profundidade). Tem uma variação de temperatura de 15ºC até 1.200ºC.

O Sial é a parte mais externa da crosta terrestre e corresponde ao solo e ao subsolo; nela predominam as rochas sedimentares e magmáticas, além de minerais silício e alumínio.

Abaixo do Sial vem o Sima, ou camada basáltica, onde predomina a rocha vulcânica chamada de basalto; seus elementos químicos dominantes são o silício e o magnésio.

A litosfera nos oceanos tem cerca de 5 km e só apresenta o Sima, daí as ilhas oceânicas serem de natureza basáltica.

Geologicamente a crosta terrestre é a camada mais importante para nós, pois nela estão as rochas que são formadas por minerais que representam o ponto de partida para a indústria extrativa mineral.

O **Manto** situa-se abaixo da crosta entre 50 e 2.900 km de profundidade e apresenta-se em estado pastoso (material magmático). Sua temperatura varia entre 1.200°C a 3.700°C. Nesta camada são encontrados compostos de silício, ferro e magnésio. Também pode ser encontrados silicatos e óxidos de ferro e magnésio.

Sua consistência é pastosa e está em constante movimentação. A lava que sai dos vulcões é constituída pelo magma proveniente do manto.

Este material magmático está sempre em movimentação - são as correntes convectivas, que podem ser ascendentes (do manto para a crosta) e descendentes (da crosta para o manto), que resultam das diferenças de temperatura entre as camadas internas da Terra e por sua vez influem nos deslocamentos das placas tectônicas e nos agentes internos do relevo (tectonismo, vulcanismo e abalos sísmicos). O manto divide-se em duas partes: o superior e o inferior

Núcleo: o limite entre o manto e o núcleo ocorre a 2.900Km abaixo da superfície, aproximadamente a metade da distância entre a superfície e o entro da Terra. Neste limite ocorre mais uma importante descontinuidade sísmica: a Descontinuidade de Gutenberg. As ondas passam de uma velocidade de 13,6 km/s na base do manto, para 8,1 km/s no núcleo.

No núcleo, as temperaturas são superiores a 7600°C. Os dados sísmicos indicam duas camadas no núcleo: uma camada externa líquida (rocha fundida) de aproximadamente 2.270Km de espessura e uma camada interna sólida com o diâmetro de 1.216Km.

A história da Terra

A atual configuração dos continentes na superfície terrestre originou-se de um processo que resultou na fragmentação e no afastamento das terras emersas, a partir de um bloco único denominado Pangea.

Duas teorias, que se completam, procuram explicar as etapas desse processo, responsável também pela formação do relevo terrestre e pelas transformações que ocorrem na crosta que são: a Teoria da Deriva dos Continentes e a Teoria das Placas Tectônicas.

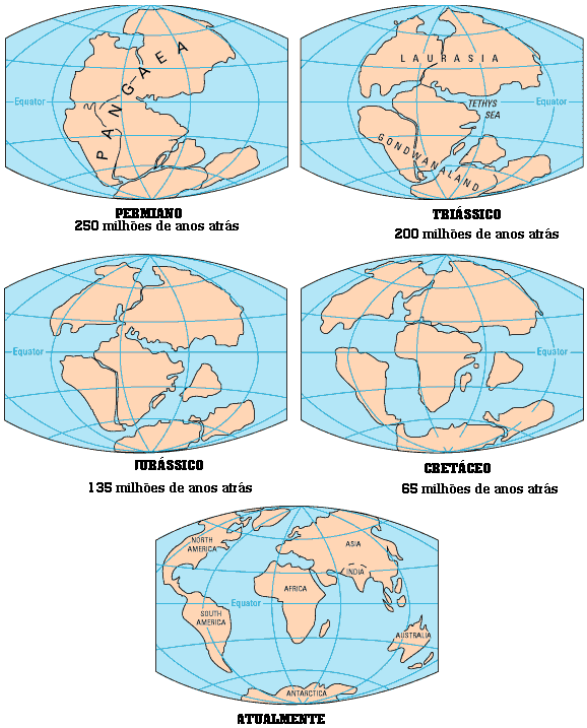
Defendida pelo geofísico alemão Alfred Wegener, em 1912. Segundo Wegener, originalmente havia uma única grande massa continental, a Pangea ("toda a Terra"). Essa Teoria estabelecia que há cerca de 240 ou 200 milhões de anos, o "supercontinente" teria começado a se fragmentar sucessivamente. A primeira divisão formou dois continentes: a Laurásia ao norte, e a Gondwana, ao sul. A partir daí, as divisões foram se sucedendo até os continentes atingirem a configuração atual.

Wegener não definiu muito bem as causas do "passeio" dos "pedaços" da crosta pelo magma pastoso que estava sob eles. Sugeriu que poderia ter sido ocasionado pelas marés ou pelo movimento de rotação da Terra.

Apesar de Wegener ter prosseguido em seus estudos, ele não conseguiu provar todas as suas ideias. As maiores evidências eram as identidades geológicas e de vida animal e vegetal entre os continentes.

As coincidências apareciam entre a América do Sul e a África, entre a América do Sul e Austrália, entre a Europa e América do Norte e entre Austrália, África e Índia.

Na comunidade científica da época, poucos davam crédito às ideias de Wegener. Muitos as consideravam fantasiosas e a deriva dos continentes acabou esquecida durante anos.



Diversas evidências contribuíram para esta hipótese:

- A coincidência do contorno entre a América do Sul e a África: a grande similaridade entre as linhas de costa em lados opostos do Atlântico Sul, como um quebra-cabeça, foi uma das primeiras evidências que sempre intrigou os cientistas. Devido à constante modificação das linhas de costa por eventos erosivos essa união não é perfeita, deixando ainda dúvidas aos

cientistas. Entretanto, em 1960 os cientistas produziram um mapa com o contorno da plataforma continental até uma profundidade de 900m e observaram esta similaridade de forma ainda mais perfeita;

- Evidências fósseis: os paleontólogos apontam diversos fósseis de organismos encontrados em diferentes continentes e que não poderia ser cruzado os oceanos que separam essas massas continentais. Um destes exemplos é o Mesosaurus, um réptil marinho cujos fósseis foram encontrados na América do Sul e na África, indicando uma antiga união destes dois continentes;

- Atual distribuição de alguns organismos: em seu livro, Wegener também cita a distribuição atual de alguns organismos que evidenciam também a ideia da deriva dos continentes. Por exemplo, alguns organismos modernos têm ancestrais claramente similares, como os marsupiais australianos que têm uma direta ligação fóssil com os marsupiais encontrados nas Américas;

- Associação entre tipos e estruturas de rochas: além da perfeita coincidência entre o contorno de alguns continentes, alguns "desenhos" encontrados nestes continentes também coincidem. Isso ocorre em algumas cadeias de montanhas com idade, forma, estrutura e composição rochosa similar em continentes opostos. Um exemplo desta evidência são as cadeias de montanhas apalachianas, na América do Norte, e as cadeias de montanhas caledonianas, na Escandinávia. Quando os continentes estavam unidos estas cadeias de montanhas formavam um único cinturão montanhoso;

- Climas passados: dados paleoclimáticos também dão suporte para a teoria da deriva continental. Wegener indicou evidências de mudanças dimáticas globais severas no passado. O estudo de depósitos glaciais em diversos continentes indicou que, a cerca de 220 a 300 milhões de anos, capas de gelo cobriam extensas áreas do hemisfério sul. Rochas de origem glacial foram encontradas na América do Sul, na África, na Índia e na Austrália, indicando que estes continentes, nesta época, encontravam-se unidos no pólo sul, junto à Antártica. Por outro lado, para esta mesma época passada, existem evidências de ocorrência vegetação típica de climas tropicais em regiões do hemisfério norte, indicando que no passado a América do Norte e a Europa estavam mais próximas do Equador.

Apesar de todas as evidências apontadas por Wegener, ele não conseguiu explicar o mecanismo responsável pelo movimento das massas continentais e, por isso, ficou por muito tempo desacreditado no meio científico. Mais de 50 anos depois das postulações de Wegener, o avanço tecnológico permitiu o conhecimento de dados sísmicos e do campo magnético da Terra e, com isso, surgiu a partir da teoria da deriva continental de Wegener, a teoria da Tectônica de Placas.

A possibilidade de ter acontecido uma "deriva dos continentes", na história da Terra, voltou a ser considerada quando novas técnicas foram desenvolvidas e utilizadas na fabricação de novos aparelhos e instrumentos que permitiram conhecer melhor o fundo dos oceanos.

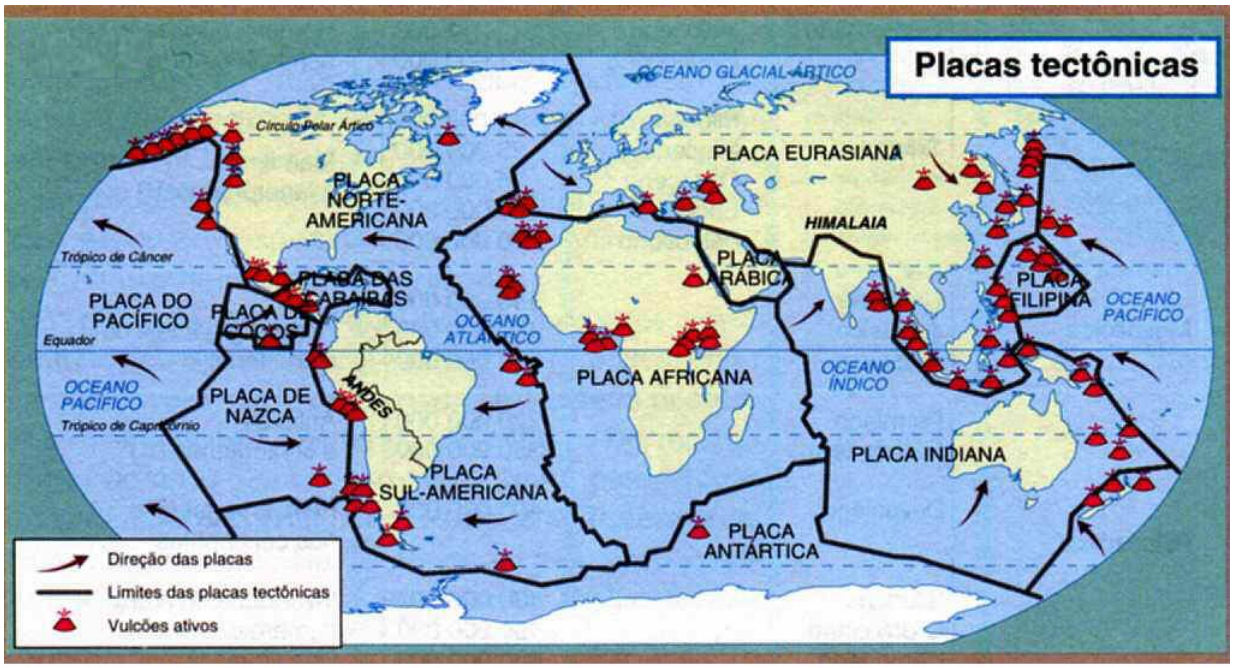
De acordo com o modelo da tectônica de placas, a parte superior do manto junto com a crosta formam uma camada rígida chamada de litosfera. Esta camada encontra-se sobre uma outra camada menos rígida chamada de astenosfera. A litosfera é quebrada em diversos segmentos chamados de placas, que estão constantemente se movimentando e mudando de forma e de tamanho.

Na década de 1960, os geólogos americanos Robert S. Dietz (1961) e Harry Hess (1962), conseguiram a explicação para o que tanto intrigava Wegener. A resposta estava no fundo dos oceanos. Depois da descoberta de que as rochas situadas no centro do assoalho submarino são mais recentes do que as que se encontram nas bordas continentais, chegou-se à conclusão de que verdadeiras "esteiras rolantes" submarinas são responsáveis pela movimentação das placas tectônicas.

Ao longo das grandes cordilheiras submarinas (dorsais oceânicas), abrem-se fendas por onde passa o material magmático que, após resfriar-se, forma uma nova crosta, causando a expansão do fundo do mar.

Essa teoria postula que a crosta terrestre, mais precisamente a litosfera - que engloba toda a Crosta e a parte superior do Manto, até cerca de 100 km de profundidade - está quebrada em um determinado número de placas rígidas, que se deslocam com movimentos horizontais, que podem ser representados como rotações com respeito ao eixo que passa pelo centro da Terra.

Essas movimentações ocorrem porque a Litosfera, mais leve e fria, praticamente "flutua" sobre o material mais quente e denso e parcialmente fundido, existente no topo da Astenosfera. É nessa parte viscosa, dos primeiros 200 km da Astenosfera, que são geradas as correntes de convecção, supostamente o mecanismo que proporciona a movimentação das placas tectônicas.



As placas deslizam ou colidem uma contra as outras a uma velocidade variável de 1 a 10 cm/ano. Nas regiões onde elas se chocam ou se atritam, crescem os esforços de deformação nas rochas e, periodicamente nesses pontos, acontecem os grandes terremotos. Justamente nos limites das placas tectônicas, ao longo de faixas estreitas e contínuas, é que se concentra a maior parte da sismicidade de toda a Terra. É também próximo das bordas das placas que o material fundido (magma), existente no topo da Astenosfera, ascende até a superfície e extravasa ao longo de fissuras, ou através de canais para formar os vulcões. Apesar de os terremotos e vulcões normalmente ocorrerem próximo aos limites das placas, excepcionalmente, podem acontecer super terremotos nas regiões internas das placas.

As seis maiores placas tectônicas são: Americana; do Pacífico; Antártica; Indo-Australiana, Euro-Asiática e Africana. Existem outras menores, como a Nazca, a do Caribe, a de Cocos, a da Grécia, a Arábica, a da Anatólia, a Iraniana, a das Filipinas e outras.

Os continentes movem-se mais ou menos um centímetro por ano e, no fundo dos oceanos, novas "crostas" se formam. É justamente na região de encontro entre uma placa e outra que ocorrem esses fenômenos e as conseqüentes modificações na crosta terrestre. Por isso é que as regiões mais sujeitas a fenômenos como vulcanismo e terremotos, como o Japão, a Califórnia, o México, entre outras, estão situadas no limite das placas tectônicas.

As áreas mais estáveis, como, por exemplo, o território brasileiro, localizam-se no interior das placas. Os limites das placas tectônicas, ou seja, os pontos de encontro entre as placas, estão em movimento. A ocorrência de eventos como terremotos, vulcanismo, geração de montanhas, em geral ocorrem no limite dessas placas. Esses movimentos, entretanto, não acontecem da mesma forma. Por isso, podemos considerar três tipos principais de limites entre as placas tectônicas. Cada um deles dá origem a um tipo de atividade geológica.

Limites Convergentes ou de Subducção – As placas se movem uma em direção a outra. Neste caso, a placa mais densa mergulha sobre a menos densa e afunda em direção ao manto sobre a crosta menos densa.

Este "consumo" ou "destruição" de crosta contrabalança a geração de novas crostas que ocorre nos limites divergentes, mantendo a área superficial da Terra constante. Com o choque entre as crostas ocorre o "encurtamento" das massas rochosas, gerando grandes cadeias de montanhas e intensa atividade vulcânica devido à fusão da rocha que mergulha em direção ao manto.

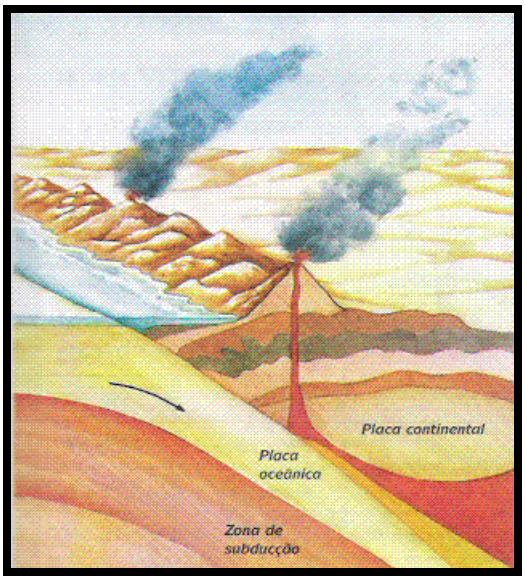


Figura 1. Representação esquemática de Limites Convergentes e a Cordilheira dos Andes

Esta convergência pode se dá de três formas:

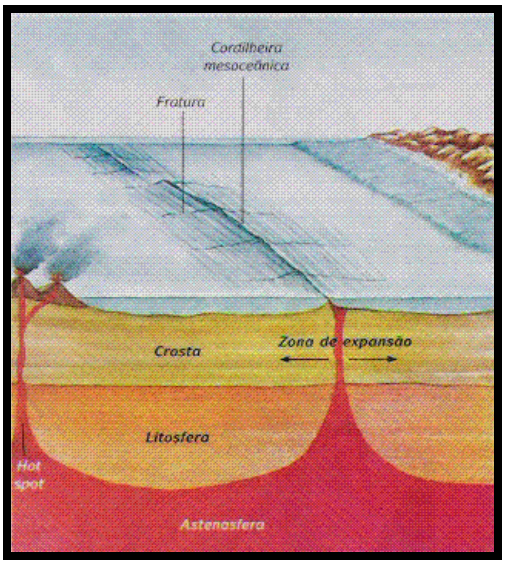
Convergência entre crosta continental e crosta oceânica: nesta situação, a placa oceânica, mais densa devido a sua composição basáltica (rica em ferro e magnésio), afunda sob a crosta continental menos densa de composição granítica (rica em alumínio). Este local onde a crosta afunda ou subducciona sobre a outra é chamada de Zona de Subducção. A medida que a crosta oceânica afunda, as altas temperaturas do manto fazem que as rochas se fundam gerando magma. Este magma é extravasado em vulcões no continente.

Este mecanismo ocorre no limite oeste da América do Sul, na região dos Andes. Neste local, a placa oceânica mergulha sob a placa continental sul-americana gerando uma zona de subducção e a formação de cadeias de montanhas.

Convergência entre duas crostas oceânicas: nesta situação, a placa oceânica mais antiga e, portanto, mais resfriada e mais densa, mergulha sob a placa menos densa. A atividade vulcânica ocorre de forma similar ao caso de choque entre crosta oceânica e continental, contudo, os vulcões gerados na placa oceânica menos densa formará ilhas vulcânicas ou arcos de ilhas. A maior parte das ilhas do Pacífico tem esse tipo de formação.

Convergência entre duas crostas continentais: no caso de convergência entre duas crostas continentais, devido à baixa densidade destas crostas, nenhuma das duas consegue entrar em subducção ou mergulhar sob a outra. O resultado é a colisão entre dois blocos continentais gerando encurtamento crustal e formando grandes cadeias de montanhas. A colisão entre a Índia e a Ásia produziu o Himalaia.

Limites Divergentes ou de Dispersão – As placas se afastam uma da outra devido ao movimento divergente. Esta separação ocorre em média com a velocidade de 5cm/ano. O "vazio" deixado por este afastamento é preenchido pelo material que ascende do manto criando um novo substrato marinho. Esta ascensão de magma vindo do manto gera cadeias de montanhas submersas chamadas de Dorsais Oceânicas. A partir do eixo central destas dorsais, nova crosta oceânica é continuamente formada. Essa crosta se torna mais densa à medida que se resfria e se afasta da fonte que a criou, devido a este movimento contínuo de separação a partir do centro da dorsal. Este mecanismo vem ocorrendo nos últimos 165 milhões de anos no atlântico sul, separando a América do Sul da África e criando o nosso Oceano Atlântico. Aproximadamente no meio do caminho entre estes dois continentes, no fundo do mar, ocorre, na zona de separação das placas, uma cadeia de montanhas gerada pela atividade magmática (o magma vindo do manto extravasa continuamente neste local) chamada de Dorsal Meso-Atlântica (Fig.2).



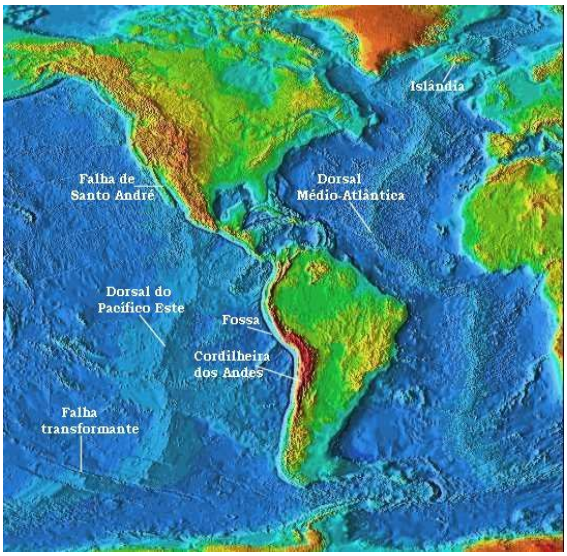


Figura 2. Representação esquemática de Zonas de Dispersão

Limites Transformantes ou de Sisalhamento – Neste limite, as placas passam uma ao lado da outra sem gerar ou destruir litosfera. Estes limites são gerados por zonas fraturadas na crosta, em geral com mais de 100km de comprimento, onde os segmentos de crosta se movimentam em sentidos contrários, lado a lado, gerando as Falhas Transformantes. Nestas regiões é muito intensa a incidência de abalos sísmicos e terremotos. Um exemplo deste tipo de limite é a Falha de Santo André, na América do Norte. Ao longo desta

falha, a Placa do Pacífico se move na direção noroeste passando ao lado da Placa Norte Americana, gerando intensa atividade tectônica na costa oeste dos Estados Unidos e Canadá (Fig. 3).

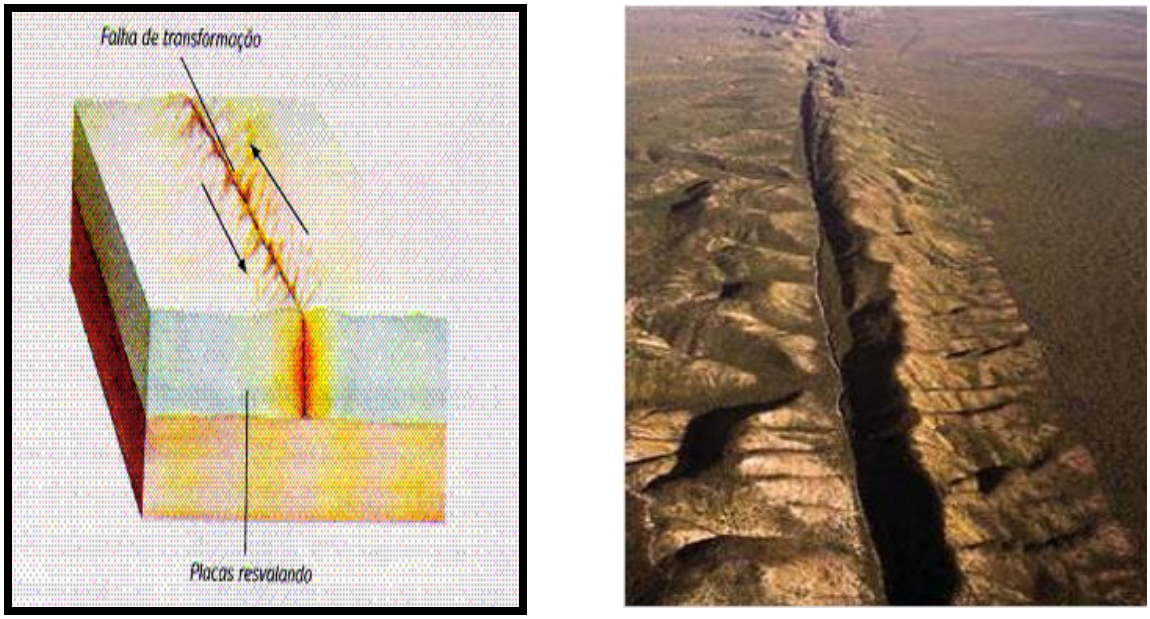


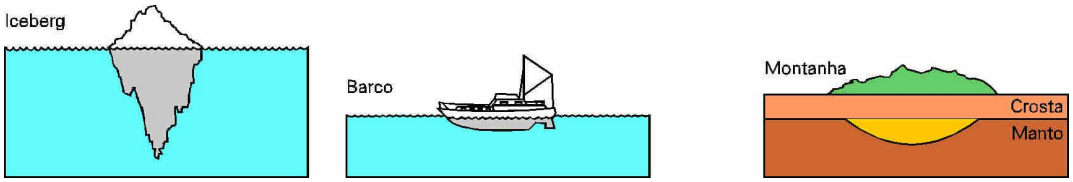
Figura 3. Representação esquemática do limites transformantes e a Falha de San Andreas

Princípio da isostasia

Isostasia, ou movimento isostático, é o termo utilizado em Geologia para se referir ao estado de equilíbrio gravitacional, e as suas alterações, entre a litosfera e a astenosfera da Terra. Esse processo resulta da flutuação das placas tectônicas sobre o material mais denso da astenosfera, cujo equilíbrio depende das suas densidades relativas e do peso da placa. Tal equilíbrio implica que um aumento do peso da placa (por espessamento ou por deposição de sedimentos, água ou gelo sobre a sua superfície) leva ao seu afundamento, ocorrendo, inversamente, uma subida (em geral chamada re-emergência ou rebound), quando o peso diminui.

A isostasia pode ser encarada como o simples reequilíbrio no deslocamento do volume de um fluido (neste caso a astenosfera) pela flutuação de um sólido (neste caso a (litosfera) num processo em tudo semelhante ao observado por (Arquimedes). Quanto mais pesada a camada litosférica, maior volume de material astenosférico deve ser deslocado para que o equilíbrio se mantenha. Uma imagem sugestiva deste processo é o (iceberg): quanto maior altura tiver acima da água, mais profunda estará a sua base. Quando uma região da litosfera atinge o equilíbrio entre o peso relativo da placa litosférica e a sua espessura inserida na astenosfera, diz-se que está em equilíbrio isostático.

Exemplificando



O iceberg e o navio flutuam porque o volume submerso é mais leve que o volume de água deslocado.

De igual forma, o volume relativamente leve da Crosta Continental, projetado no Manto, permite a "flutuação" da montanha.

Referências Bibliográficas

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral.** São Paulo: Companhia Editora Nacional; 10ªed., 1987. 397 p.

LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. **Geologia estrutural e introdução à geotectônica.** Rio de Janeiro/São Paulo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq) & Editora Edgard Blücher Ltda, 1981. 528p.

POPP, J. H. **Geologia geral**. São Paulo: LTC, 2002. 376 p.