

Módulo II

Sistema Terra

Prof. Dr. Victor Velázquez Fernandez

Escola de Artes, Ciências e Humanidades, USP, vvf@usp.br

Na atualidade, a teoria do **Big Bang** é a idéia mais bem aceita para a origem do UNIVERSO (Fig. 1). A ciência nos ensina que há 15 bilhões de anos atrás houve a criação do Tempo e Espaço a partir de um ponto, o que podemos denominar UNIVERSO ÓVULO, onde a energia estava concentrada, a temperatura e densidade infinitamente elevada. Após esse evento, o nosso universo seguiu o seu caminho de expansão e evolução, tornando, desta forma, possível o seu estágio atual.

Há 13 bilhões de anos desse evento tumultuoso, o universo era uma grande nuvem constituída de hélio e hidrogênio muito densa e de elevada temperatura. Ao redor de 11 bilhões de anos, a partir dessa nuvem primordial, foram criadas as primeiras galáxias. Nelas começaram a se formar as estrelas, onde se constituíram os primeiros elementos mais pesados. Por volta de 8 bilhões de anos, a Via Láctea foi formada e dentro dela, a 4,6 bilhões de anos, o nosso Sistema Solar (Fig. 2).

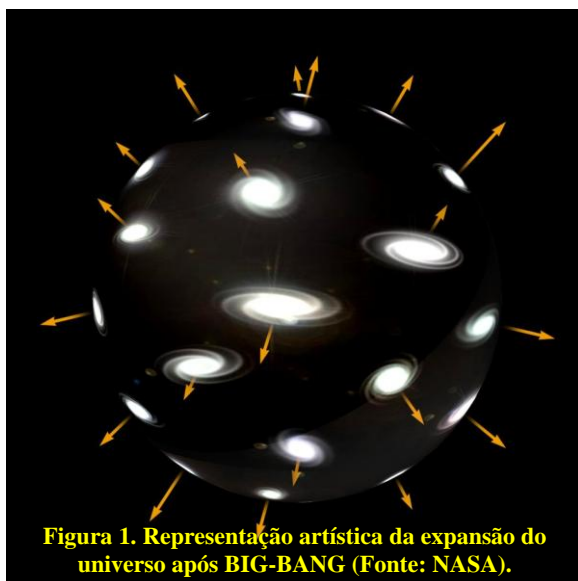


Figura 1. Representação artística da expansão do universo após BIG-BANG (Fonte: NASA).



Figura 2. Aparência da Via Láctea obtida pelo telescópio Hubble (Fonte: NASA)

O Sistema Solar formou-se quando uma grande nuvem de gases interestelares e de poeira cósmica, conformada por hidrogênio (90%), hélio (8%) e outros elementos mais pesados (2%), iniciaram processos de contração e colidiram-se a grande velocidade, o que permitiu o aumento da temperatura e da densidade, dando origem ao Sol. Este, por sua vez, foi envolvido por um disco espiralado, constituído principalmente por gás e poeira cósmica, que girava no seu entorno. Por conta da elevada temperatura, nas regiões próximas ao Sol, os elementos mais voláteis foram levados pelos ventos solares, restando apenas os materiais pesados, suficientes para formar os planetas internos compostos de metais e silicatos. Já em

regiões distantes do Sol, existia abundante material para formar os planetas gigantes de gás e hélio, que rapidamente aumentaram os seus tamanhos a partir de um núcleo rochoso de umas 15 Terras de massa.

No Sistema Solar, a Terra é a única que apresenta uma temperatura ideal para que, na superfície dela, a maior parte da água possa permanecer no estado líquido e, na atmosfera, em forma de vapor. Esta particularidade é uma das tantas outras razões pela qual a vida em nosso planeta se apresenta na sua mais diversa forma.

A ciência que trata de desvendar o mistério do nosso planeta, quanto à origem e evolução dos continentes, mares e oceanos, às grandes transformações da superfície terrestre e às catástrofes naturais (terremotos, vulcões, deslizamento de encosta), a formação e a modificação das rochas, dentre outros, denomina-se **GEOLOGIA**. Mediante o conhecimento que a geologia nos proporciona, desde o tempo mais remoto da humanidade, o homem vem aproveitando os bens minerais para tornar a sua vida mais agradável.

Olhando o nosso planeta a partir do espaço, é possível notar que os continentes não são os componentes mais relevantes, há um claro domínio de grandes massas de nuvem suspensas sobre uma vasta extensão de oceano (Fig. 3). Essa constatação nos permite entender melhor a tradicional divisão dos meios físicos da Terra em esferas (Fig. 4): (i) **atmosfera** constitui a camada gasosa que envolve a Terra, cujo movimento é vital para a circulação do vento; (ii) **hidrosfera** representa a massa de água em constante movimento (rios, mares, oceanos); (iii) **geosfera** ou **litosfera** corresponde à parte sólida e reúne os minerais e as rochas; e finalmente (iv) a **biosfera** que inclui as diversas formas de organismos vivos presentes em nosso planeta (bactérias, plantas e animais).



Figura 3. A Terra vista a partir do espaço (Fonte: NASA).

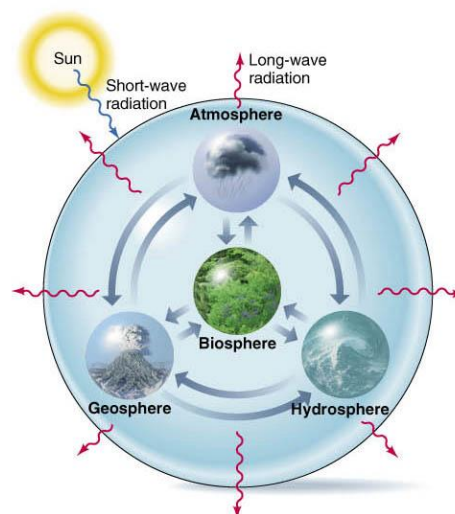


Figura 4. As esferas da Terra e as suas interações (Fonte: Tarbuck & Lutgens, 1999).

Embora seja comum na literatura separar esses meios físicos, as partes não atuam isoladamente e, muito pelo contrário, formam um conjunto de processos contínuos e interativos, que podemos denominar **SISTEMA TERRA**. A extensão dos processos que operam dentro do sistema varia, espacialmente, desde frações milimétricas a milhares de quilômetros, e, temporalmente, desde milésimos de segundos até bilhões de anos. Esses são apenas alguns dos exemplos que motivaram os geocientistas para estabelecer a **ESCALA DO TEMPO GEOLÓGICO** (Fig. 5).

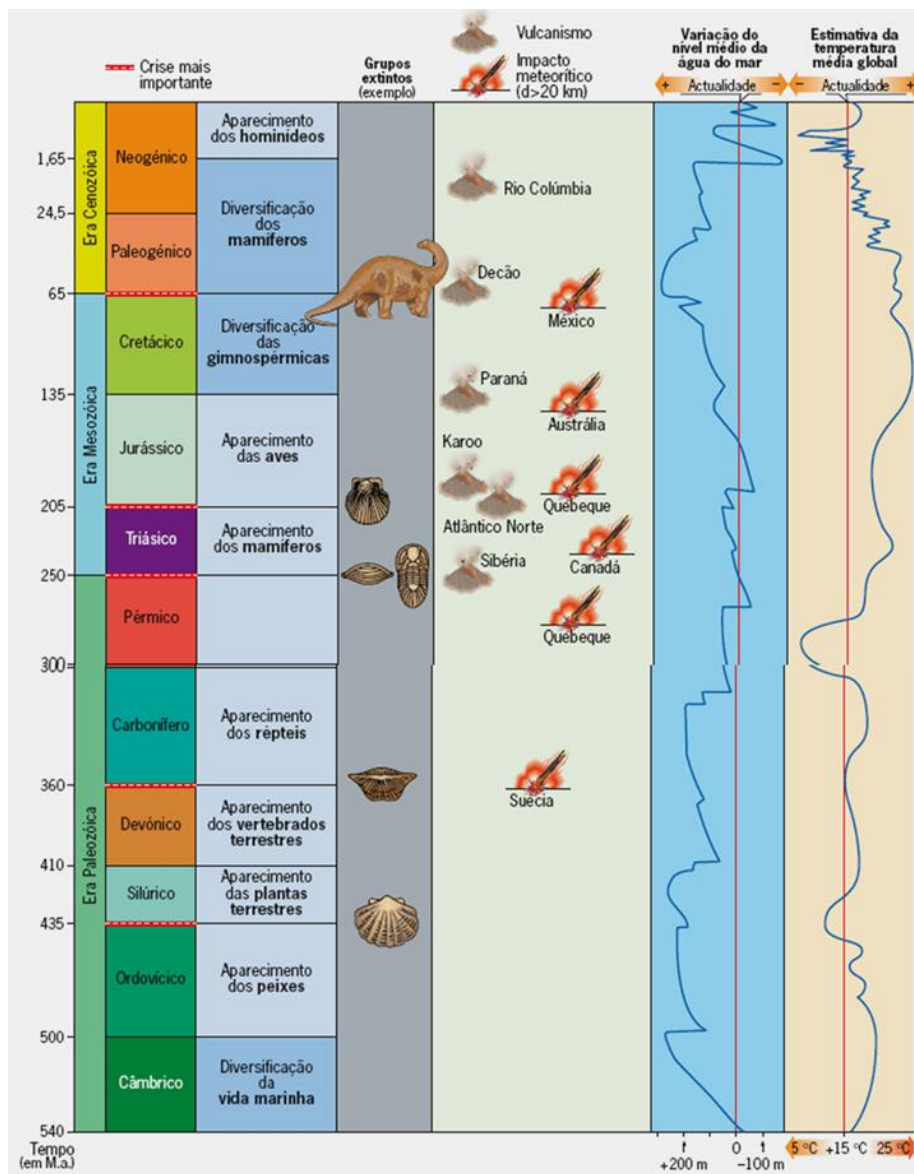


Figura 5. Escala do tempo geológico (Gentileza Porto Editora).

Para cronometrar o nosso tempo, usamos costumeiramente unidades tais como horas, dias, semanas, meses e anos, tendo como principal referência os ciclos de movimentos da Terra, rotação e translação. Em geologia, o **TEMPO** consiste em determinar quantas vezes essas unidades transcorreram no passado para poder conhecer o início e a duração de um evento geológico. O tempo geológico pode ser obtido mediante datação relativa ou absoluta. No primeiro caso, usa-se um marco referencial para ordenar os eventos geológicos de maneira cronológica. Esse tipo de datação se apoia na posição relativa das camadas de rochas sedimentares através da **Lei da Superposição de Camadas**, que considera a camada de baixo sendo sempre mais antiga que a camada superior (Fig. 6). Já no segundo caso, a datação pode ser obtida por vários métodos radiométricos, baseada fundamentalmente nos processos de decaimento radioativo de alguns elementos (Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th, K-Ar, Ar-Ar e Re-Os, dentre outros) presentes na composição do mineral e que atuam como relógios da Terra. Com a descoberta e o refinamento das datações radiométricas, sabe-se hoje, com certa segurança, que o nosso planeta se formou há mais de 4,5 bilhões de anos.

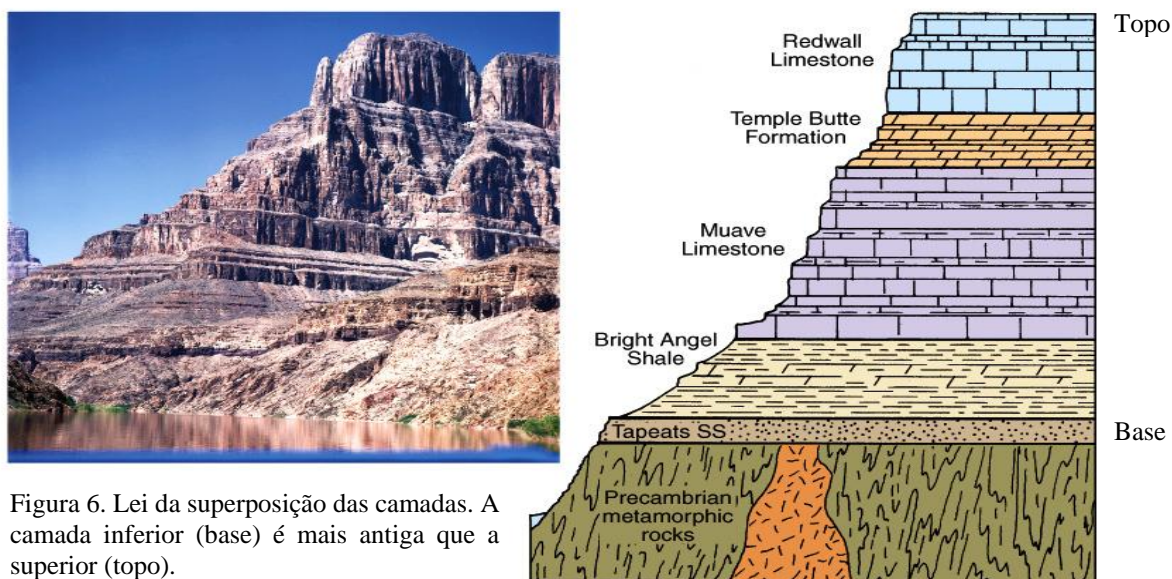


Figura 6. Lei da superposição das camadas. A camada inferior (base) é mais antiga que a superior (topo).

Desde a superfície até o centro da Terra há uma distância aproximada de 6400 km. Segundo a teoria de diferenciação planetária, ao longo do tempo o nosso planeta foi perdendo calor paulatinamente, o que acabou ocasionado uma aglutinação de elementos mais pesados no centro, enquanto que os mais leves migraram para a superfície. Este processo de separação gravitacional dos elementos permitiu a formação de camadas concêntricas, com propriedades físicas e químicas bem distintas (Fig. 7).

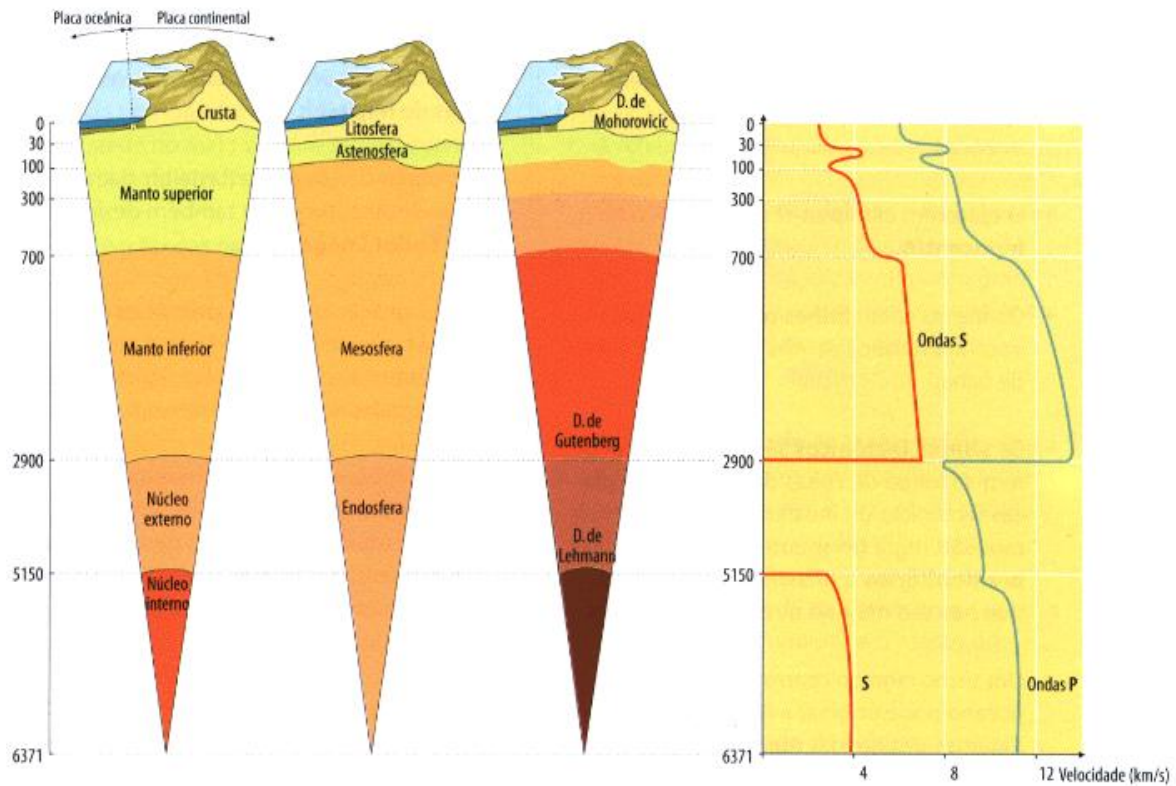


Figura 7. Estrutura interna da Terra e as principais descontinuidades das ondas P e S (Fonte: Murck & Skinner, 1999).

O **núcleo** foi a primeira camada a ser formada e, com cerca de 3700 km de raio, é constituído principalmente de ferro, níquel, hidrogênio, oxigênio e enxofre. O **manto**, material viscoso que envolve o núcleo, apresenta uma espessura de 2900 km e é composto de silício, ferro e magnésio. E por último, a **crosta**, que representa a camada externa mais fina e irregular, variando de 7 km de espessura no oceano, de composição mais semelhante com as rochas basálticas (ferro+magnésio), e podendo atingir até 70 km nos continentes, onde se apresenta com uma composição mais parecida com as rochas graníticas (silício+alumínio). A crosta é separada do manto mediante a descontinuidade de **Mohorovicic**, nome este que foi adotado em homenagem ao sismólogo iugoslavo Andrija Mohorovicic, enquanto o manto é destacado do núcleo mediante a descontinuidade de **Gutenberg**.

Ainda no tocante à crosta terrestre, dois grandes aspectos fisiográficos merecem ser destacados: os continentes e as bacias oceânicas. Embora, desde tempo muito remoto, já fosse concebida a possibilidade de que os continentes estivessem em constante movimento, apenas na década de 30, com a introdução da teoria da **DERIVA DOS CONTINENTES**, a idéia foi ganhando maior consistência. Com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, o homem conseguiu demonstrar que a Terra, desde a sua formação, vem sofrendo diversas transformações e que há muitos milhões de anos atrás os continentes já estiveram aglutinados, formando um único supercontinente denominado **PANGEA** (Fig. 8).

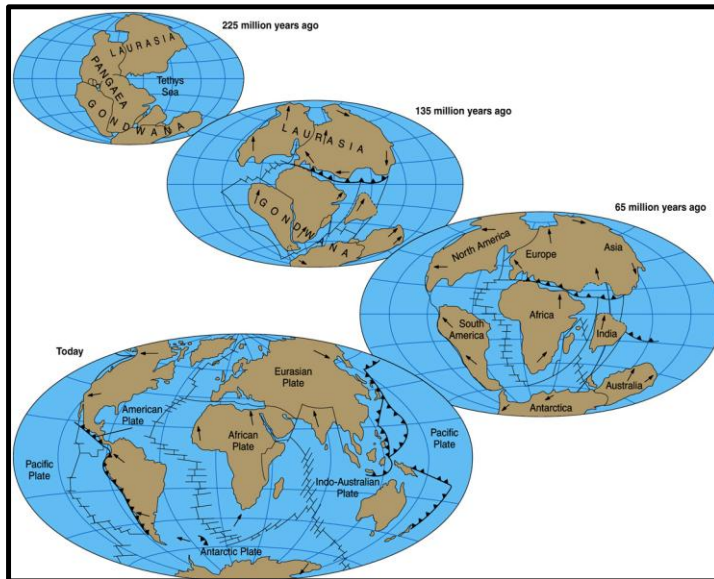


Figura 8. Modelo de aglutinação e separação da massa continental sob a óptica da DERIVA DOS CONTINENTES.

Conforme foram avançando os estudos sobre o campo magnético da Terra e sobre a expansão do fundo do oceânico, bem como sobre a formação das cadeias montanhosas e da existência de grandes fraturas que deram origem à separação dos continentes, os geocientistas perceberam que essas gigantescas transformações obedecem a movimentos muito lentos, cuja força motora é oriunda do interior terrestre. Para unificar os mais diversos processos geológicos que governam a dinâmica e a evolução da superfície da crosta foi estabelecida a teoria **TECTÔNICA DE PLACAS**. A idéia fundamental dessa teoria consiste em que a parte rígida da terra (**Litosfera** = crosta+manto superior) é separada em placas que, por sua vez, movimentam-se, mediante células de correntes de convecção (Fig. 9), sobre um material altamente viscoso, denominado **astenosfera** (região entre 150 a 670 km do manto).

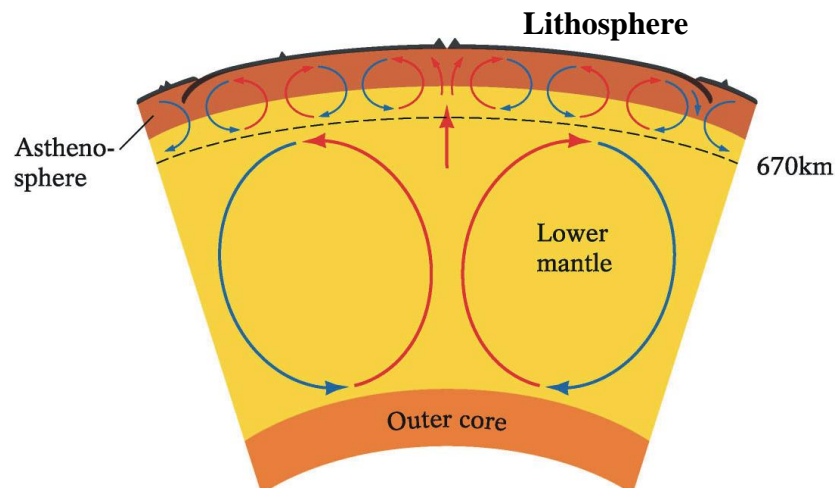


Figura 9. As células de corrente de convecção (círculos em vermelho e azul) exercem uma força lateral no limite entre litosfera-astenosfera, provocando ruptura e separação das placas.

Ainda que o movimento das placas seja extremamente lento, de alguns centímetros por ano, é mais que suficiente para tornar realidade os terremotos, os vulcanismos, a formação e elevação das montanhas, assim como a abertura e o fechamento dos oceanos. A direção do movimento das placas também nos permite distinguir os tipos de limites entre elas (Fig. 10), que podem ser classificados em: **divergentes**, quando duas placas se afastam uma da outra; **convergentes**, quando duas placas se movimentam na mesma direção aproximando-se uma da outra e **transformantes**, quando duas placas se movimentam em direção contrária de forma paralela.

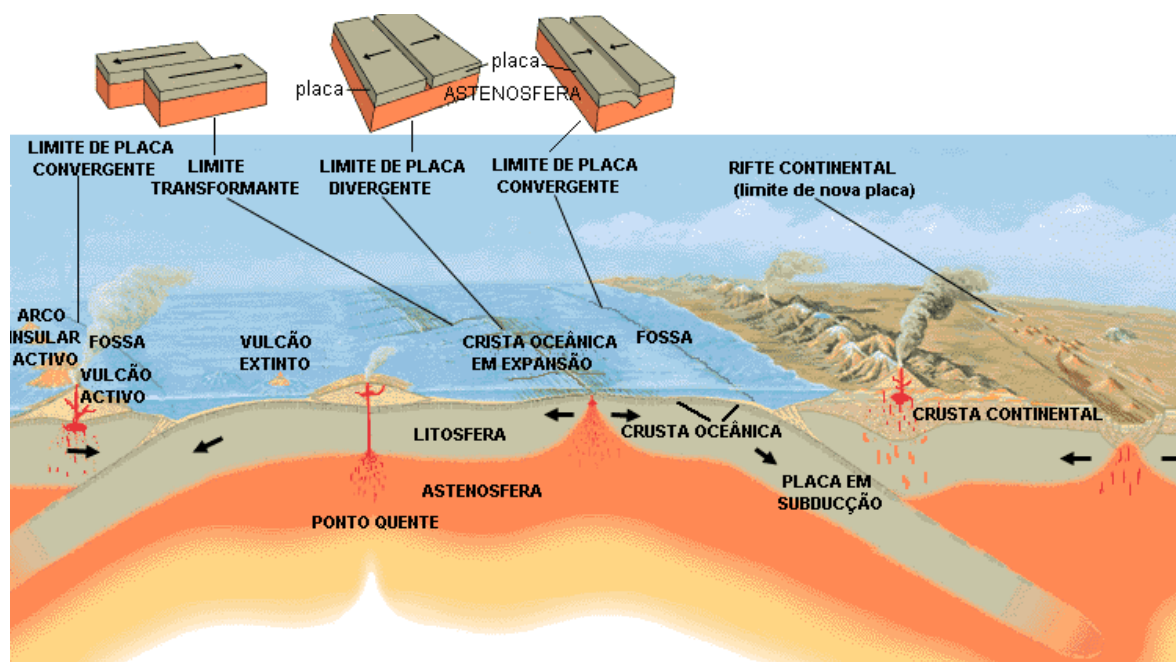


Figura 10. Modelo da Tectônica de Placas e os principais aspectos determinantes (Adaptado de Wilson, 1979).

Outro aspecto importante relacionado com a Tectônica de Placas diz respeito à origem e evolução do material mais prevalente da crosta, as rochas. Basicamente, existem três tipos de rochas: ígneas, sedimentares e metamórficas. A formação de cada uma delas obedece a rígidas condições termodinâmicas de pressão e temperatura.

As rochas são constituídas por minerais. Por definição, **mineral** é um material sólido inorgânico de ocorrência natural (Fig. 11), com propriedades físicas e composição



Figura 11. Exemplos de alguns minerais de ocorrência mais comum: a) pirita, b) quartzo e c) caulinita (argilo mineral).

químicas bem definidas, exibindo uma estrutura interna ordenada.

Até a atualidade já foram descritas e catalogadas um pouco mais de 4000 espécies e são agrupadas, com base no ânion ou radical aniônico dominante em sua fórmula química, em doze classes minerais, a saber: 1) elementos nativos: ouro, diamante; 2) sulfetos: pirita, galena; 3) sulfossais: tetraedrita, enargita; 4) óxidos: hematita, cassiterita; 5) halóides: halita, fluorita; 6) carbonatos: calcita, dolomita; 7) nitratos: salitre; 8) boratos: bórax; 9) sulfatos e cromatos: barita, gipsita; 10) fosfatos, arseniats e vandatos: apatita; 11) tungstanatos e molibdatos: scheelita; e 12) silicatos: quartzo, feldspato. Os minerais pertencentes à classe de silicatos são fundamentais para a classificação das rochas.

A estabilidade de um mineral ou de uma rocha depende principalmente dos parâmetros físico-químicos a que é submetido. Atingido certo limite, os minerais contidos na rocha sofrem um novo arranjo estrutural dando origem a um novo mineral ou um novo tipo de rocha. Desta forma, em zonas profundas, onde a pressão e a temperatura são elevadas, ocorre fusão do material do manto ou da crosta inferior, dando assim origem a um líquido silicático denominado **magma**. O resfriamento e a consolidação do magma, seja no interior da crosta ou na superfície dela (Fig. 12), dará origem às rochas ígneas: **plutônicas** (batolitos), como os granitos; **hipabissais** (diques ou soleiras), como os traquitos e diabásios; e **vulcânicas** (lavas ou piroclastos), como os basaltos e ignimbritos, respectivamente.

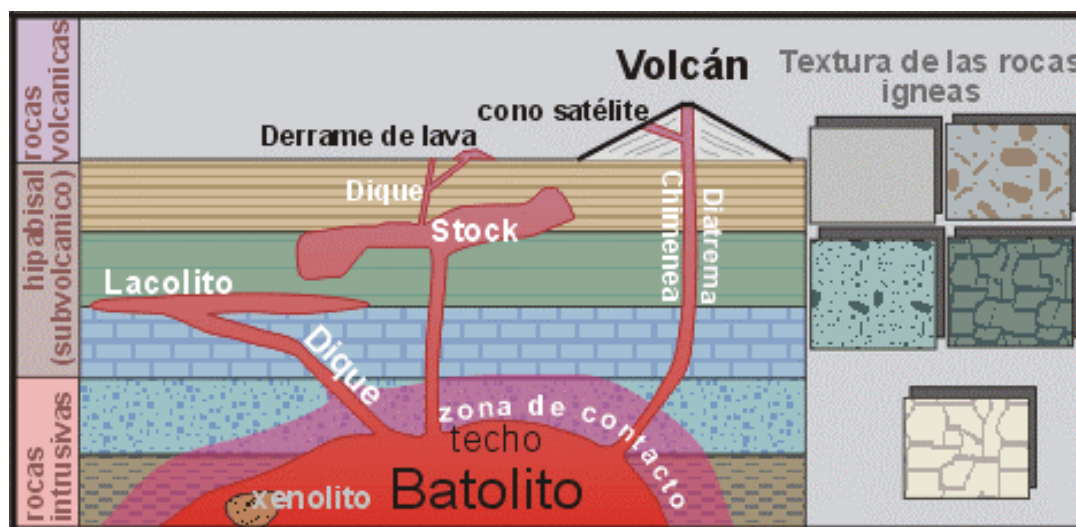


Figura 12. Tipos de rochas ígneas: plutônicas, hipabissais e vulcânicas.

As rochas metamórficas também são formadas em condições de alta pressão e temperatura, a partir de outras rochas preexistentes, podendo ser: ígneas, sedimentares ou mesmo outra metamórfica. Contudo, a transformação da estrutura dos minerais acontece em estado sólido, sem atingir o ponto de fusão. A geração dos vários tipos de rochas metamórficas depende fundamentalmente da composição inicial das rochas preexistentes e das condições de temperatura (**T**) e pressão (**P**) que foram atingidas (Fig. 13).

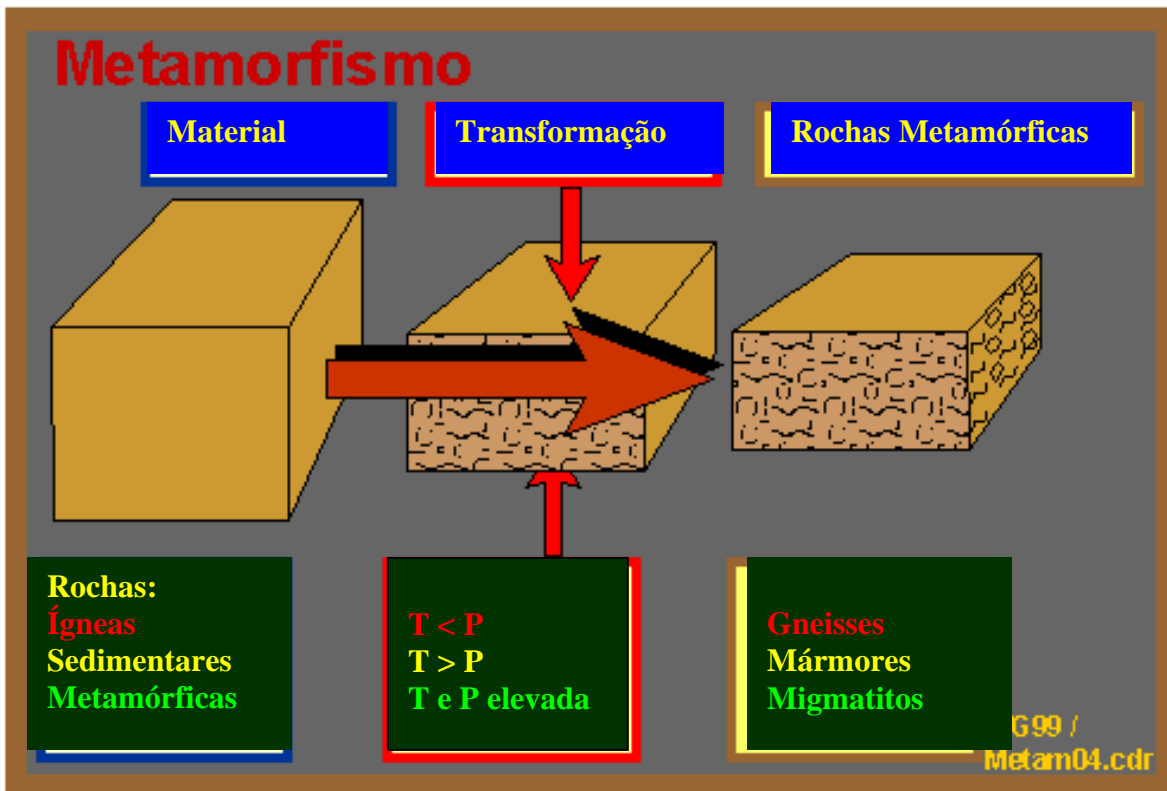


Figura 13. Tipos de rochas metamórficas com base a sua composição inicial e as condições de **T** e **P**.

As rochas sedimentares são produtos do intemperismo (físico e/ou químico), erosão, transporte, sedimentação e litificação. A desagregação mecânica e a dissolução química geram diversos tipos de **sedimentos** (partículas) e liberam íons em solução que são transportados e depositados em regiões topograficamente mais baixas (bacias sedimentares). Os sedimentos podem ser transportados por ondas de corrente, gelo, água e vento. Uma vez em repouso, esses sedimentos sofrem perda de volume por compactação e, posteriormente, passam por um processo de cimentação e diagênese, dando origem às rochas sedimentares. Conforme a natureza dos sedimentos, as rochas sedimentares podem ser classificadas em (Fig. 14): **detríticas** (conglomerados, arenitos e folhelhos), formadas por partículas que resistiram ao desgaste físico durante o transporte; **químicas** (chert, travertino), originadas por precipitações de soluções salinas, carbonatadas ou fosfatadas e **biogênicas** (coquina), geradas a partir de atividades orgânicas ou restos de matérias orgânicas.

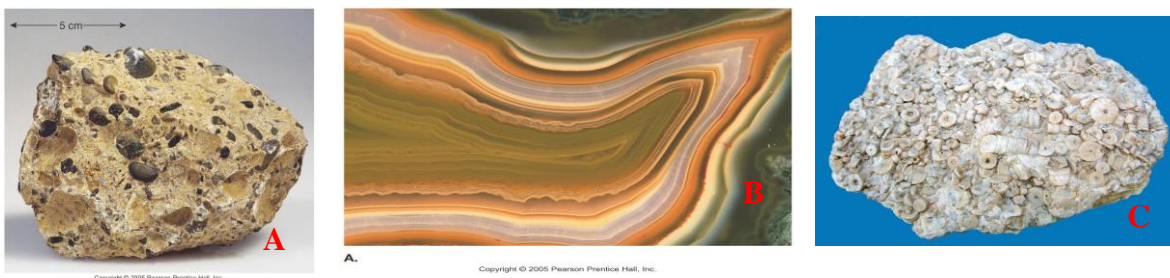


Figura 14. Tipos de rochas sedimentares: A) detrítica (conglomerado), B) química (chert) e C) biogênica (coquina).

A crosta terrestre foi formada por transferência de materiais menos densos do manto para a superfície da Terra. Esse material quando exposto à atmosfera sofre uma série de transformações (reações de hidratação, oxidação, solubilização, ataques de ácidos orgânicos, variação de temperatura, dentre outros), tornando as rochas menos coesas, o que possibilita dessa forma, que as partículas sejam transportadas e depositadas em depressões, onde se dará início o processo de litificação (compactação e cimentação) e a formação das rochas sedimentares. Pela constante dinâmica das placas tectônicas, as rochas sedimentares podem ser transferidas para ambientes distintos (*e.g.* elevada pressão e temperatura) daqueles em que foram geradas, onde os seus constituintes sofrem uma transformação mineralógica e textural, dando origem assim às rochas metamórficas. Por outro lado, se a condição de metamorfismo for muito intensa, atingindo o limite de fusão, dará lugar à formação de magma, que por sua vez, por resfriamento, formará rochas ígneas. Essa sucessão de eventos, que envolve formação, destruição e transformação das rochas, como resultado de processos naturais, é denominada **CICLO DAS ROCHAS** (Fig. 15). O conceito foi desenvolvido, no século XVIII pelo escocês James Hutton, para explicar como as rochas e os processos naturais (físicos e químicos) estão intimamente relacionados.

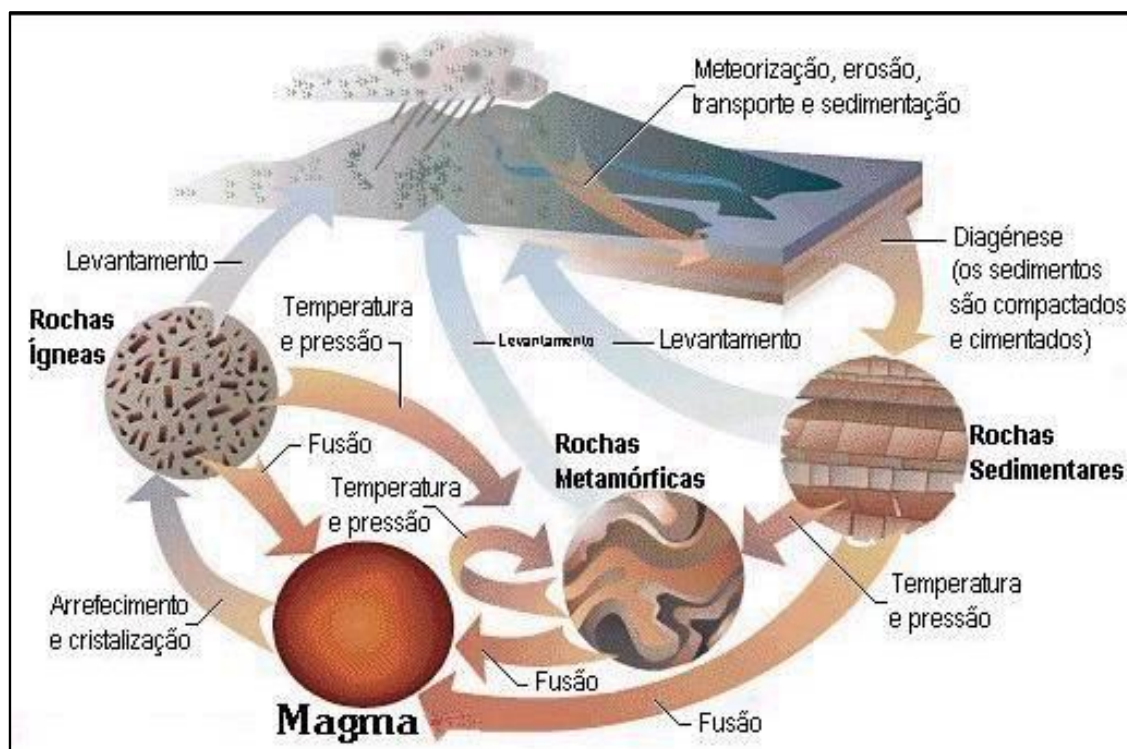


Figura 15. Sequências de movimentos e transformações das rochas dentro do ciclo.

O movimento contínuo das placas na crosta terrestre gera, nos limites delas, esforço bem específico que pode causar compressão, extensão e cisalhamento (ruptura), cujo produto final nas unidades rochosas é denominado **DEFORMAÇÃO** (Fig. 16). Segundo a geometria e o mecanismo de geração das deformações, podemos agrupá-las em: (i) **dobras**,

que são deformações dúcteis que se apresentam em forma de ondulações como respostas a esforços compressivos gerados nos limites convergentes das placas, e a sua expressão morfológica podem variar desde escalas microscópicas até megascópicas, tendo as montanhas do Himalaia e a cordilheira dos Andes como a máxima expressão topográfica; (ii) **falhas**, que são deformações rúpteis em forma de rachaduras, com plano bem definido, ao longo das quais podem ser percebidos nítidos deslocamentos entre os blocos compartimentados e podem ser geradas tanto em ambientes compressivo, extensivo ou cisalhante e (iii) **juntas**, que são fraturas planares, sem qualquer evidência de movimento entre os blocos compartimentados, e a grande maioria é formada em ambiente extensivo, embora existam também juntas cisalhantes.

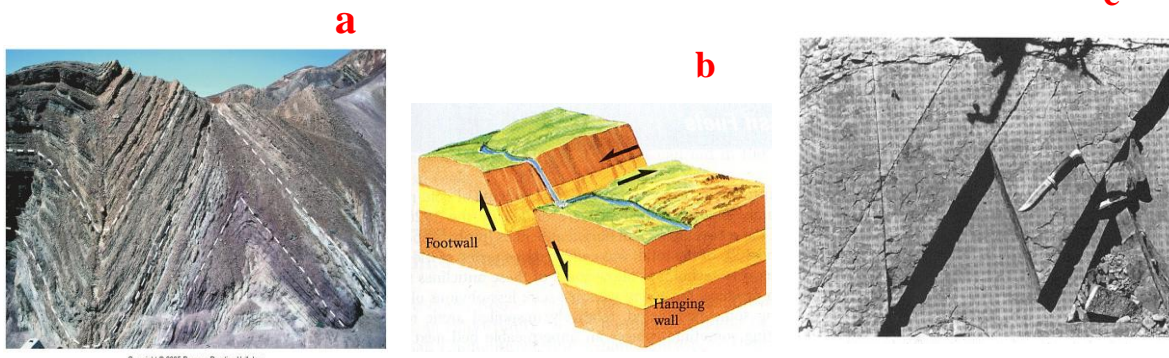


Figura 16. Os principais tipos de formação que ocorrem na superfície terrestre: a) dobra, b) falha e c) fratura.

A Terra também é denominada de **PLANETA AZUL** na literatura. Este fato se deve a um único motivo, a cor azul dominante que a Terra apresenta quando é vista do espaço. Os responsáveis por essa tonalidade são a hidrosfera e a atmosfera, principais componentes externos da crosta terrestre. A hidrosfera e a atmosfera exercem um papel transcendental na distribuição equilibrada da temperatura na superfície da terra, pelas mudanças constantes dos fenômenos meteorológicos e pela explosão e expansão da biodiversidade.

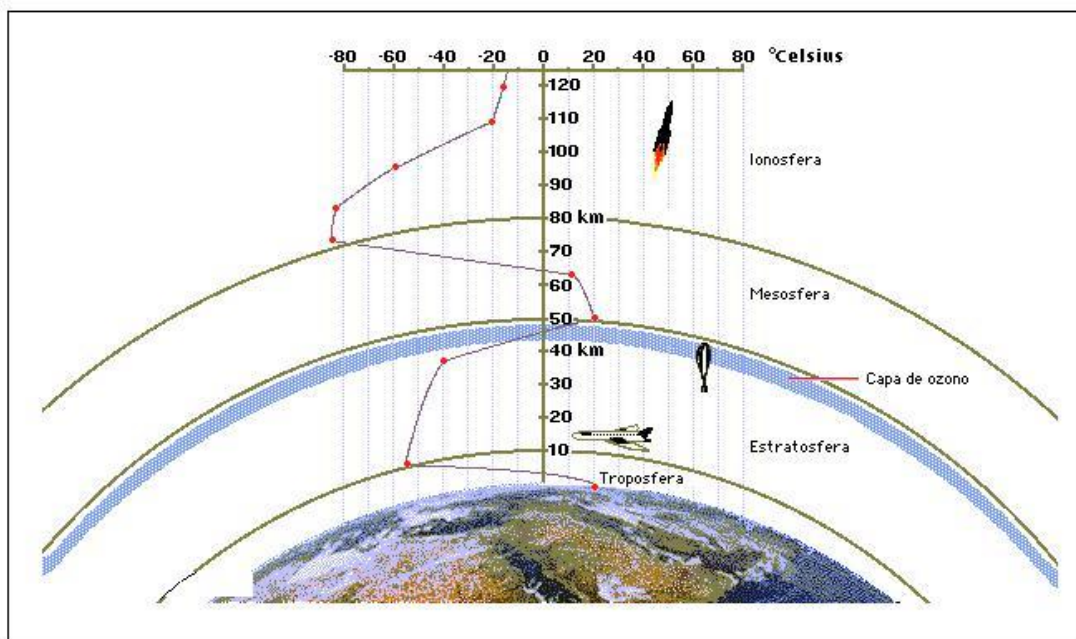
Denominamos **ATMOSFERA** (do grego ATMOS = vapor ou fumaça e SFAIRA= globo ou esfera) a uma mistura de gases que envolvem qualquer corpo celeste cujo campo gravitacional é suficientemente forte para impedir que esses gases se dissipem (Fig. 17).



Figura 17. A cor azul representa a mistura de gases (atmosfera) que envolvem o nosso planeta.

Os gases da atmosfera terrestre foram desenvolvidos ao longo de 4,5 bilhões de anos, portanto, é bem provável que no início a nossa atmosfera estivesse constituída apenas de emanções vulcânicas, isto é, dióxido de enxofre, dióxido de carbono, vapor de água e nitrogênio, sem qualquer sinal de oxigênio. Assim, a estrutura e composição da atmosfera que conhecemos hoje seriam bem distintas daquela primitiva. Os complexos processos de transformações físicas, químicas e biológicas foram decisivos para evoluir até a sua atual composição: nitrogênio (78,084%), oxigênio (20,946%), argônio (0,934%) e dióxido de carbono (0,033%). Outros gases menores presentes na atmosfera são o vapor de água, gás de ozônio e diferentes óxidos.

A nossa atmosfera é constituída de varias camadas (Fig. 18): **troposfera**, que vai desde a superfície até 9 km de altura, nos pólos, e 18 km, no equador; nela acontecem os movimentos horizontais e verticais da massa de ar (ventos), mudanças de temperatura (diminui conforme a altura, chegando até -70°C) e os principais fenômenos climáticos; **estratosfera**, que se inicia a partir dos 10 km e chega até um limite superior de 50 km de altitude e é onde se forma a camada de ozônio (O_3), a temperatura muda de tendência e passa a aumentar chegando a 0°C , nesta parte não há quase movimento de ar na direção vertical, porém, na direção horizontal, os ventos atingem velocidades de 200 km/h, o que permite uma rápida distribuição de qualquer partícula por todo o globo; **mesosfera**, que se estende entre os 50 e 80 km de altura, contém apenas 0,1% da massa total de ar, apresenta importantes reações químicas; além de tudo, a diminuição da temperatura e a baixa densidade do ar permitem a formação de turbulências e de ondas atmosféricas; **termosfera ou ionosfera**, que se estende desde uma altura de quase 80 km sobre a superfície terrestre até os 640 km ou mais. A esta altura, a presença do ar é inexistente e as partículas da atmosfera, quando colidem, tendem a permanecer ionizadas; **exosfera**, camada que se apresenta acima da termosfera e se estende até os 9600 km, constituindo-se na camada mais externa da atmosfera.



Dada à baixa densidade da atmosfera, ela pode circular com facilidade sobre a superfície da Terra. A densidade dos gases se modifica em função da temperatura, possibilitando que uma massa de ar quente possa ascender e, quando perde o calor, descender. A maneira mais simples de transferência de calor desde o equador até os pólos, consiste em uma única célula de circulação que sobe a partir dos trópicos e desce desde os pólos até o equador (fig. 19). Este é o modelo de circulação de célula única proposta por Hadley, no século XVII. O movimento contínuo da massa de ar é ocasionado pela ampla variação de temperatura entre uma região e outra da superfície terrestre. Contudo, esses ascensos e descensos não ocorrem de forma linear, o que termina causando a formação dos ventos (Fig. 20). Entretanto, se analisarmos melhor a Figura 20 é possível notar que a

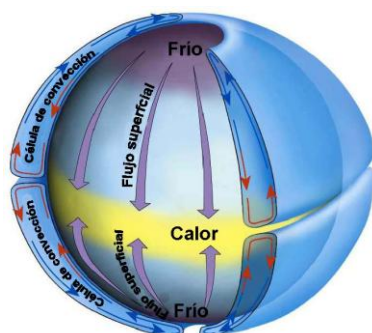


Figura 19. Modelo de circulação de uma única célula.

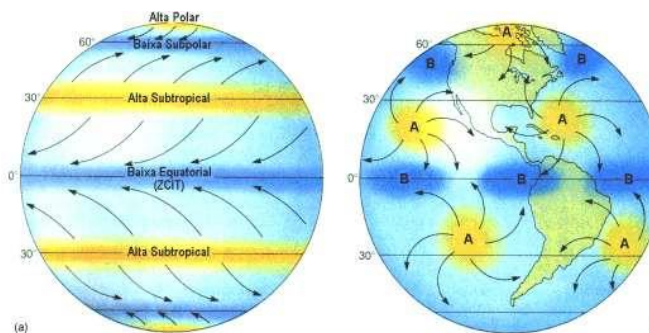


Figura 20. A geração dos ventos ocasionada pelo comportamento não linear do movimento da massa de ar.

atmosfera segue um movimento ligeiramente regular. Assim, ao longo do equador existe uma zona de baixa pressão (B), seguida de duas zonas subtropicais de alta pressão (A), logo aparecem duas zonas temperadas de baixa pressão e, por último, as zonas polares, novamente com alta pressão. As massas de ar circulam entre estas zonas de pressões distintas, cujas trajetórias são influenciadas pelas forças centrífugas da rotação da Terra.

Apesar da constante emissão de calor provindo do interior do planeta, a principal fonte de calor é a energia dos raios solares, que, após atravessar a atmosfera, chega em parte até a superfície da Terra. Contudo, quando esses raios solares chegam à superfície terrestre podem atingir rochas ou massa de água, de acordo com o local onde essas incidências se dão, sobre os continentes ou nos oceanos. As rochas são aquecidas e resfriadas com maior rapidez que a massa de água dos oceanos, o que torna possível a existência de zonas de temperaturas diferenciadas nos continentes. Por outro lado, a quantidade de energia que cada porção da Terra recebe depende também da inclinação dos raios incidentes; quando menos oblíqua for, maior energia receberá. Disto resulta que as regiões próximas dos pólos são mais frias que as regiões contíguas do equador (Fig. 21).

Do espaço também chegam diariamente vários tipos de radiações (infravermelha, gama, raios-X e ultravioleta), além de partículas cósmicas de tamanhos diversos, extremamente perigosas para os seres vivos do nosso planeta. A atmosfera e a camada de ozônio atuam como um escudo protetor contra essas invasões indesejáveis. Nesse sentido, a camada de gás ozônio, substância química formada por três átomos de oxigênios (O_3) e situada a uma altitude entre 30-50 km, é a principal responsável pela diminuição da

intensidade dos raios ultravioletas que chegam até a superfície. A evolução da vida em nosso planeta somente foi possível por conta dessa camada protetora.

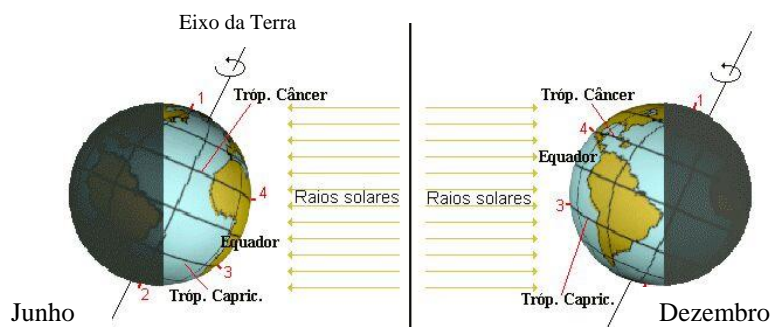


Figura 21. Note que os raios solares que incidem no equador são menos oblíquos que nos pólos.

O giro completo que a Terra efetua ao longo de um ano em torno do Sol é conhecido como ciclo orbital. A configuração dessa trajetória é uma elipse e a distância da Terra com respeito ao Sol varia 3%. Por tanto, durante a translação da Terra, em determinado momento ela estará mais próxima ou mais distante do Sol. Porém, esta não é a verdadeira causa das estações do ano. Além da translação, a Terra possui outro movimento cíclico que é a rotação. Este movimento se dá sobre um eixo, cuja posição, com relação ao plano orbital, não é completamente vertical. Isto é, o eixo da Terra possui uma inclinação de $23^{\circ}27'$ com relação à sua órbita. Essa variação angular é chamada de obliquidade, principal responsável pela existência das estações (Fig. 22).

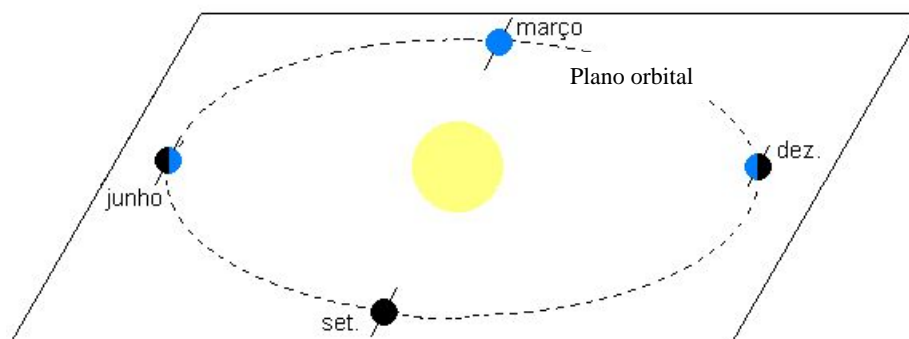


Figura 22. A obliquidade do eixo da Terra em relação ao plano orbital é a principal causa das estações.

Por conta da obliquidade, conforme a Terra vai girando em torno do Sol, os raios solares incidem com maior intensidade em um hemisfério que no outro, o que acaba proporcionando mais horas de luz e aquecimento, permitindo, conseqüentemente, a distinção das estações do ano: primavera, verão, outono e inverno. As estações representam as quatro principais posições da Terra no plano orbital, opostas de dois em dois, denominadas de **SOLSTÍCIOS** e **EQUINÓCIOS**. Os solstícios acontecem nos dias 22/Jun e 21/Dez e determinam os inícios de inverno e verão para o hemisfério sul,

respectivamente. Já os equinócios se dão nos dias 21/Mar e 23/Set e marcam os inícios de outono e primavera para o hemisfério sul, respectivamente.

Aproximadamente 71% do nosso planeta é constituído de água (hidrosfera), que se distribui em três reservatórios principais: nos oceanos, nos continentes (lençóis freáticos, rios, lagos e geleiras) e na atmosfera. A circulação contínua entre os reservatórios se denomina o **ciclo da água** ou **ciclo hidrológico** (Fig. 23). O movimento da água dentro do ciclo é sustentado pela energia solar e pela força da gravidade.

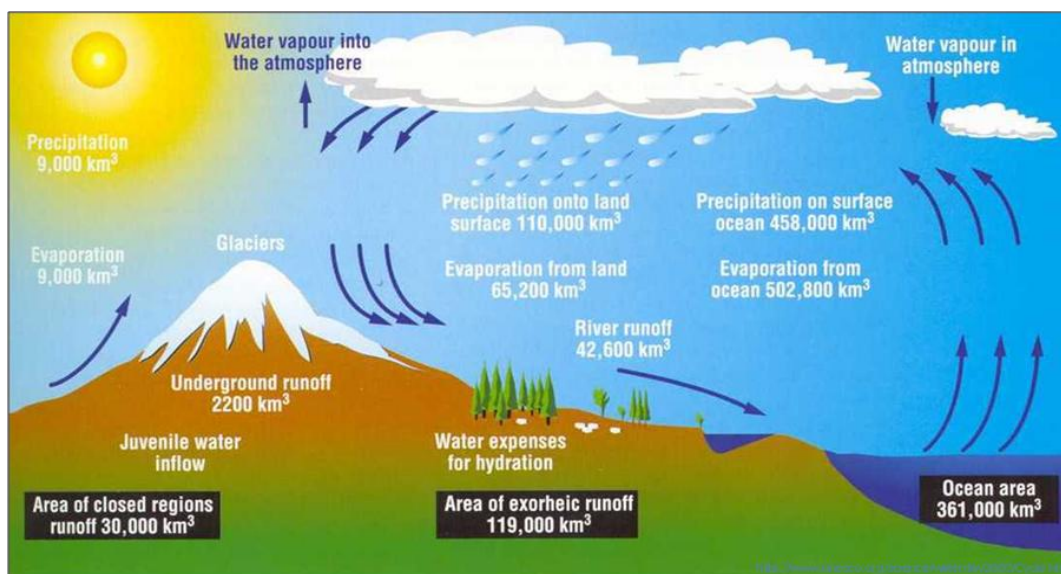


Figura 23. Representação esquemática do ciclo hidrológico (Fonte: Teixeira *et al.*, 2000).

A transferência da água em forma de vapor a partir da superfície da Terra para a atmosfera é devida à evaporação direta, à evapotranspiração (das plantas e animais) e à sublimação (passagem direta do estado sólido da água para vapor). Sem dúvida, a evaporação direta é o processo que movimenta maior quantidade de água.

A água em estado de vapor é transportada pela circulação atmosférica a uma altura satisfatória, onde ocorrerá a condensação, dando lugar à formação de névoas e nuvens. Quando as moléculas de água atingem o tamanho e o peso suficientes, seja em forma líquida (gotas) ou sólida (neves ou granizos), ajudada pela força da gravidade, iniciará-se a precipitação. Vários destinos podem ter a água que cai sobre os continentes. Uma parte é diretamente incorporada na atmosfera por evaporação; outra escoar no declive do terreno para formar rios e lagos, e o restante se infiltra na superfície, dando origem às águas subterrâneas. Tanto o escoamento superficial quanto o subterrâneo terminará alimentado os mares e os oceanos.

Numa escala planetária, o ciclo hidrológico pode ser visto como um gigantesco sistema de destilação, que se estende por todo o globo terrestre. O aquecimento das regiões dos trópicos, devido à irradiação solar, provoca a contínua evaporação das águas que são transportadas, pela circulação geral da atmosfera, em forma de vapor para outras regiões.

Durante a transferência, parte do vapor da água é condensada por resfriamento e forma as nuvens, que posteriormente levará à precipitação. O retorno das águas às regiões de origem resulta da ação combinada do escoamento dos rios e das correntes marinhas.

Um dos problemas do meio ambiente mais sério é a contaminação atmosférica. Além de uma rápida distribuição dos poluentes por todo o globo, ocasiona mudanças **CLIMÁTICAS**, que interferem diretamente sobre o nosso cotidiano e a extinção das espécies. Apenas para citar alguns exemplos, mencionamos aqui o efeito **EL NIÑO**, o buraco na camada de ozônio, a qualidade do ar e a estiagem severa que se torna cada vez mais freqüente em consequência do aquecimento global.

O **CLIMA** é o conjunto de fenômenos meteorológicos (umidade, temperatura e pressão do ar) que caracterizam as condições habituais, ou talvez a mais freqüente, de uma determinada região da superfície terrestre. Para determinar o clima é essencial obter uma série de medições por um longo período (de 15 a 30 anos ou mais), portanto, a sua caracterização depende dos valores estatísticos observados. Por exemplo, ainda que no deserto possa eventualmente ocorrer uma tempestade com abundante chuva, devido à baixa probabilidade de que isto aconteça, o seu clima continuará sendo desértico.

Entretanto, o **TEMPO** meteorológico diz respeito apenas às mudanças das condições atmosféricas que se produzem a cada momento, em menor extensão, até 72 horas, para um determinado local. Desta maneira, podemos dizer, que o **CLIMA** no Brasil é tropical, embora o **TEMPO** possa variar constantemente para cada região do país.

A climatologia e a meteorologia são as ciências que se ocupam em estudar o clima e tempo, respectivamente. Ambos possuem objetivos similares, determinar as variações das condições atmosféricas, seja a longo prazo, para o primeiro, ou uma previsão de curta duração, para o segundo.

As grandes zonas climáticas podem ser agrupadas em: **tropicais**, aquelas que ocupam as latitudes baixas, entre as linhas dos trópicos, e em geral apresentam temperatura e pressão elevadas; **temperadas**, situadas nas regiões de latitudes médias, entre as linhas dos trópicos e os círculos polares (ártico e antártico) e se caracterizam por apresentar estações muito bem diferenciadas; **polares**, abrangem as regiões de latitudes altas, acima dos círculos ártico e antártico, onde predominam as precipitações em forma de neves e o inverno é a estação prevalecente para a maior parte do ano. Contudo, sabemos que o comportamento e a distribuição dos elementos atmosféricos sobre a superfície terrestre variam de tempo em tempo e também regionalmente. Portanto, não seria nada estranho que exista uma classificação climática com maior detalhamento (Fig. 24). Para estabelecer e separar em tais grupos, é imprescindível uma longa e sistemática observação dos principais parâmetros da temperatura, da variação pluviométrica e da pressão do ar, que sofrem amplas mudanças em função das latitudes.

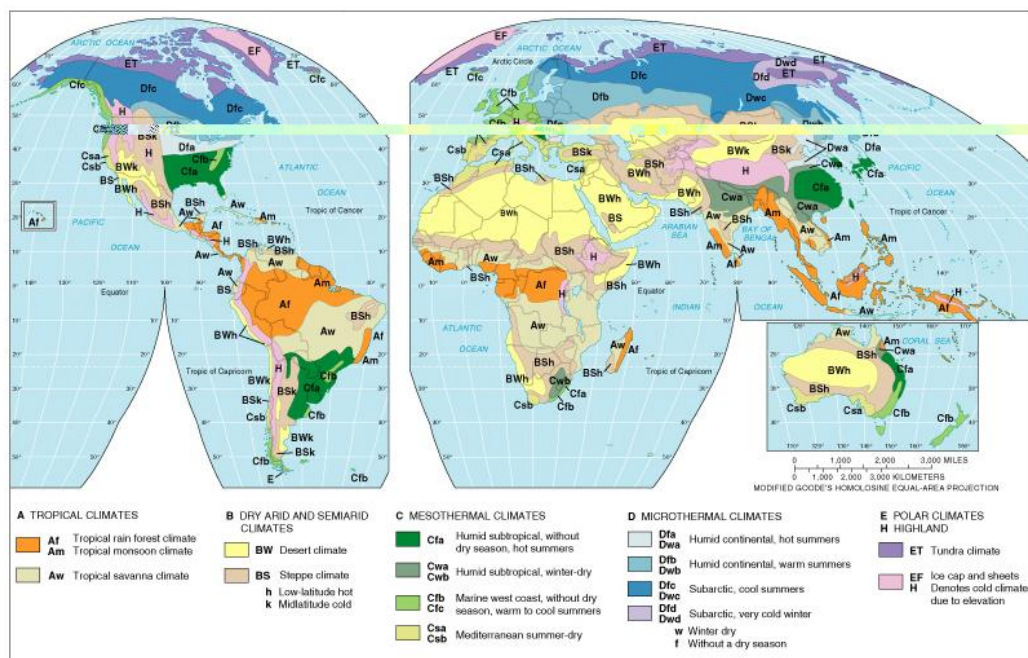


Figura 24. A distribuição e classificação de climas conforme a sistemática de Köppen (Fonte: Ahrens, 1994).

Assim como no passado, na atualidade é primordial estabelecer o comportamento dos fenômenos naturais, bem como as consequências que possam representar para as distintas atividades humanas. Conhecer as diretrizes gerais que governam as mudanças das condições atmosféricas, sejam de longa ou de curta duração, tem sua aplicação prática imediata para a navegação marítima e aérea, para o setor agrícola, e inclusive para o setor da saúde pública.

Os diferentes aspectos geomorfológicos que podem ser reconhecidos nos continentes são resultados de processos, internos e externos, dos diversos agentes geológicos (água, vento e gelo) que modelam a superfície terrestre ao longo do tempo. Os minerais constituintes das rochas, quando expostas em superfície, sofrem profundas transformações, dando lugar à origem e formação de solos. As transformações podem ser de origem química e física, ou ambas ao mesmo tempo, e o processo é denominado **INTEMPERISMO**. Do ponto de vista pedológico, o termo **SOLO** representa uma combinação de minerais, matéria orgânica, água e ar que foi formada sobre a superfície da terra, como resultado da desagregação e decomposição das rochas pela ação do intemperismo. A formação dos vários tipos de solos depende basicamente da composição inicial da rocha mãe e os fatores que controlam a ação do intemperismo (clima, topografia, tempo, dentre outros). No Brasil, desde a década de 60, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) vem realizando estudos cartográficos sistemáticos no território nacional, o que permitiu desenvolver um sistema de classificação com quatorze classes (Fig. 25). A erosão ou o desgaste da superfície terrestre pela ação dos agentes geológicos depende em grande parte dos domínios climáticos. Assim, nas regiões polares, devido a

uma grande acumulação de gelo, haverá maior influência da atividade glacial. Em ambientes tropicais, onde o nível pluviométrico é elevado, o escoamento das águas superficiais se constitui no principal agente da erosão. Enquanto que nas grandes regiões desérticas, onde ocorrem amplas variações de temperaturas entre o dia e a noite, além das grandes massas de ar em movimento, a ação do vento (conhecida também como ação eólica) é a principal causa da erosão.

Solo	Características
Neossolo	Solo pouco evoluído, com ausência de horizonte B. Predominam as características herdadas do material original.
Vertissolo	Solo com desenvolvimento restrito; apresenta expansão e contração pela presença de argilas 2:1 expansivas.
Cambissolo	Solo pouco desenvolvido, com horizonte B incipiente.
Chernossolo	Solo com desenvolvimento médio; atuação de processos de bissialitização, podendo ou não apresentar acumulação de carbonato de cálcio.
Luvissolo	Solo com horizonte B de acumulação (B textural), formado por argila de atividade alta (bissialitização); horizonte superior lixiviado.
Alissolo	Solo com horizonte B textural, com alto conteúdo de alumínio extraível; solo ácido.
Argissolo	Solo bem evoluído, argiloso, apresentando mobilização de argila da parte mais superficial.
Nitossolo	Solo bem evoluído (argila caulinitica – oxi-hidróxidos), fortemente estruturado (estrutura em blocos), apresentando superfícies brilhantes (cerosidade).
Latossolo	Solo altamente evoluído, laterizado, rico em argilominerais 1:1 e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio.
Espodossolo	Solo evidenciando a atuação do processo de podzolização; forte eluviação de compostos aluminosos, com ou sem ferro; presença de humus ácido.
Planossolo	Solo com forte perda de argila na parte superficial e concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial.
Plintossolo	Solo com expressiva plintitização (segregação e concentração localizada de ferro).
Gleissolo	Solo hidromórfico (saturado em água), rico em matéria orgânica, apresentando intensa redução dos compostos de ferro.
Organossolo	Solo essencialmente orgânico; material original constitui o próprio solo.

Figura 25. Classificação de solos do Brasil segundo EMBRAPA (Fonte: Teixeira *et al.*, 2000).

AGRADECIMENTOS: Estes são devidos aos professores Eliana da Silva Pião e Carlos Gonçalves, pelos comentários construtivos durante a preparação e revisão final do manuscrito.

LEITURAS RECOMENDADAS

- Ahrens, C. Donald 1994. *Meteorology today: an introduction to weather, climate and environment*. 5th ed, West Publishing Company, New York.
- Cornelis Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr 1993. *Manual of mineralogy (after James D. Dana)*. 21 ed, New York: Wiley.
- Linacre, E. & Geers, B. 1997. *Climates and weather explained*. London and New York.

- Hamblin, W.K. & Christiansen, E.H. 1995. *Earth's dynamic systems*. Prentice Hall.
- Kearey, P. (1996) *Global tectonics*. 2nd ed, Oxford; Cambridge, Mass.: Blackwell Science.
- Murck, B.W. & Skinner, B.J. 1999. *Geology Today-understanding our planet*. John Wiley & Sons, Inc.
- Tarbuck, E.J. & Luthens, F.K. 1999. *Earth – An introduction to physical geology*. Prentice Hall.
- Tucker, Maurice E. 2001. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 3da ed, Oxford: Blackwell.
- Wilson, T.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. 2000. *Decifrando a terra*. Oficina de textos.
- Winter, John D. 2001. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.