



Geologia

Susana Prada

Funchal 2010

O Planeta Terra

1. Origem do sistema solar

Sem pretender recuar muito na origem do sistema solar, é mais ou menos assente que o mesmo teve começo numa nebulosa proveniente da explosão de uma supernova. Uma estrela de primeira geração, por evolução, devido ao facto de ser um astro de dimensões muito superiores às do Sol, levou no seu ciclo final à explosão e dispersão no espaço circundante, de gases e poeiras, da matéria que a formava, gerando-se uma nebulosa quente que foi arrefecendo progressivamente. A teoria da formação das estrelas mostra que as supergigantes vermelhas apenas formam os elementos até o ferro, e que durante a explosão da supernova, se constituem os restantes elementos constantes na tabela de Mendeleiev, até o urânio.

O Sol é, pois, uma estrela de segunda geração, que resultou da condensação da nebulosa proveniente da explosão de uma supernova.

Na nebulosa, pelo facto de não ser homogénea, formaram-se centros de acreção, de que o mais volumoso acabou por absorver os vizinhos, concentrando a quase totalidade da matéria, donde resultou o Sol. De facto, este contém 99,9 % da massa do sistema. A nebulosa, por processos que começam a ser compreendidos, tomou a forma de um disco em cujo centro se situou o Sol e adquiriu movimento rotacional directo.

A moderna "**teoria matemática da acreção progressiva**" da autoria da escola soviética dirigida por Schmidt, o qual com os seus colaboradores Levin e Safronov, com o apoio de americanos, como Wetherill, explica não só as órbitas quase circulares dos planetas e o facto de as mesmas se disporem num disco.

A única forma de obter órbitas circulares consiste em fazer a média de grande número de órbitas elípticas quaisquer. Os grãos sólidos aglomeram-se em pequenas esferas e estas em bolas que por sua vez se congregam noutras maiores até a formação dos astros. Neste processo o número de objectos pequenos diminui e o dos de maior tamanho aumenta. O processo de formação resulta do encontro dos planetesimais entre si, que podem repelir-se, aglomerar-se ou fragmentarem-se. Todos eles têm trajectórias elípticas e velocidades diferentes. Enquanto os planetesimais têm pequenas dimensões, existem inúmeras órbitas elípticas que, com a aglomeração, vão diminuindo. Desses choques, resulta uma órbita média com a formação de um astro o qual, quanto maior for, mais atrai os de menores dimensões, ficando um número relativamente pequeno de corpos, que no nosso sistema se distribuíram segundo a lei de Bode, a qual diz que as distâncias médias dos planetas ao Sol obedecem à expressão matemática que aquele astrónomo alemão enunciou

em 1778. Na realidade, aquela " lei " só se aplica bem até o planeta Urano (Neptuno e Plutão ainda eram desconhecidos naquele tempo).

A teoria matemática da acreção progressiva recebeu grande apoio, principalmente do americano Wetherill, o qual com computadores evoluídos, que os russos ainda não possuíam, calculou os tempos necessários até a formação do sistema tal como o conhecemos, desde o seu início. Na fig. 1, o tempo desde o disco nebulósico até o estado quase estacionário (estados 1 a 4) teria sido da ordem de 5 a 10Ma., e depois, até o estado como o actual, de 50 a 100Ma.

O cálculo mostrou também que os corpos celestes telúricos para terem formas esféricas ou quase, devem ter mais de 1.000km de raio. É facto bem conhecido dos astrónomos que os asteróides telúricos de dimensões relativamente pequenas são irregulares e apenas os formados por gelo, apesar de só terem 200km de raio, são esféricos, como é o caso de Mimas e Encéfalo.

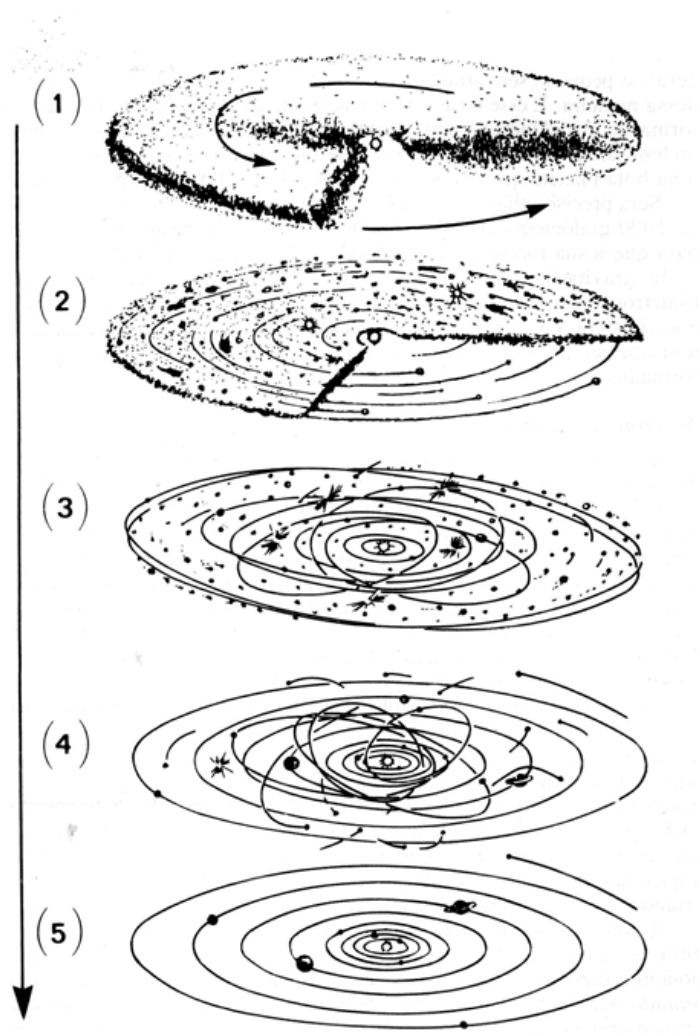


Figura 1 – Ilustração, em cinco etapas, da teoria da escola russa sobre a formação dos planetas (Alégre, 1987).

1.1. A forma da Terra

O globo terrestre, todavia, não é uma esfera, como se verifica noutros corpos celestes. Tal, deve-se não só ao estado interno do planeta, mas principalmente à força centrífuga, devido ao movimento de rotação.

A forma mais ou menos esférica deve-se à acção da gravidade que a concentração de massa exerce à sua volta, em todas as direcções, as quais, necessariamente, se estendem num volume esférico. Todavia, o cálculo mostra que os corpos rochosos só a partir de determinada dimensão, cerca de 1.000km de raio, se tornam suficientemente plásticos para se arredondarem. Quando, um corpo nestas condições possui movimento de rotação, como demonstrou Newton, achata-se ao longo do eixo de rotação e alarga no equador.

Em 1735, a Academia de Ciências Francesa enviou uma missão de estudo medir arcos de circunferência na região equatorial, nos Andes, e outra em 1736 na região norte, na Lapónia. Os cálculos dos raios terrestres a partir daqueles arcos provam que de facto o diâmetro equatorial é maior em 42,8km do que o polar. Newton tinha razão.

O primeiro cálculo da circunferência do nosso planeta foi efectuado pelo grego Eratóstenes, que morreu no ano 179 antes de Cristo. Eratóstenes, que era o chefe da Biblioteca de Alexandria, observara que em Siena (actual Assuão), no Nilo, Alto Egipto, no solstício de verão, o sol iluminava verticalmente o fundo dos poços e, no mesmo dia em Alexandria, fazia sombra com um ângulo que estimou em 7° e $12'$. Como aquelas povoações se situam aproximadamente no mesmo meridiano e distam uma da outra 5 000 estádios, cerca de 850km, o cálculo deu: $360^{\circ} / 7^{\circ} 12' = 50 \times 850 = \mathbf{42\ 500km}$ para a circunferência. Os erros em relação às medidas actuais devem-se ao facto de se não conhecer exactamente a distância entre Siena e Alexandria, de as mesmas não estarem no mesmo meridiano e, por último, Siena estar mais a norte do trópico de Câncer. Apesar de tudo, esta avaliação é notável e os erros são mínimos, se atendermos à época em que o cálculo foi realizado. A elegância do método é excepcional e mantém-se actual.

1.2. A densidade da Terra

Pelos processos astronómicos a densidade calculada para o globo é $5,515\text{g/cm}^3$, muito superior às dos outros planetas, com excepção dos planetas interiores (as densidades dos outros astros são: Saturno 0,7; Jupiter 1,3; Urano 1,2; Neptuno 1,7; Marte 3,9; Lua 3,3; Venus 5,2, Mercúrio 5,4). Sendo a densidade média da água dos oceanos 1,03; dos gelos glaciares 0,9; da crosta continental 2,8 e da crosta oceânica 3,2, é fácil verificar que o interior do globo tem que ser muito mais denso para se obter aquele valor médio.

1.3. Os sismos ou terremotos

No fim do século passado, na Alemanha, foi inventado o moderno sismógrafo, aparelho que dispunha de um pêndulo de grande massa, suspenso ou apoiado por um ponto e ligado a uma caneta de ponta seca que riscava um papel fumado ligado a um sistema de relógio. O aparelho actuava por inércia segundo um movimento oscilatório, do qual resultava um risco contínuo com amplitudes diferentes conforme os impulsos chegados. A esse registo, dá-se o nome de sismograma.

O estudo das ondas sísmicas mostrou a existência de ondas interiores na crosta, as **preliminares P** (primeiras ou *primae*) e **S** (segundas ou *secundae*) que ao atingirem a superfície da crosta provocam as ondas **superficiais** (**L** ou ondas Love e **R** ou ondas Rayleigh). Existem entre as P outras ondas que só se detectam em sismógrafos localizados perto dos focos, com percursos dependentes da estrutura geológica atravessada. São estas diferentes ondas preliminares que têm contribuído para o conhecimento da estrutura interna da Terra.

Uma ruptura brusca na crosta, muitas vezes manifestada à superfície por uma falha, provoca uma libertação brusca de energia, acumulada pela tensão, origina vibrações violentas, que se propagam pelos materiais terrestres. O local onde se deu a libertação de energia, diz-se **foco** e a sua projecção na vertical, **epicentro**.

As ondas P são ondas compressivas-expansivas que vibram na direcção da propagação e as ondas S são transversais e vibram perpendicularmente à direcção de propagação. As ondas P atravessam todos os meios e as S, que só têm 2/3 da velocidade das primeiras, não atravessam líquidos. As ondas superficiais, destruidoras, têm movimento circular à superfície, diminuindo de amplitude em profundidade, semelhante ao das ondas do mar.

O estudo das ondas P e S permitiu determinar discontinuidades no interior da Terra. A primeira delas e a mais superficial, marca a separação da base da crosta com o manto superior. Foi detectada pelo jugoslavo Mohorovicic e denomina-se Moho, abreviadamente.

Determinaram-se outras discontinuidades no interior do manto superior; uma zona de baixa velocidade, onde a matéria está parcialmente fundida e se designa por **astenosfera**, de espessura variável; uma terceira discontinuidade que separa o manto superior do inferior, a cerca de 700km de profundidade (zona dos mais profundos sismos conhecidos, 720km); uma quarta discontinuidade marca o início do núcleo líquido, externo, onde param as ondas S e, a quinta discontinuidade, no contacto com o caroço do núcleo.

Zona de sombra

Sempre que se dê um sismo de magnitude elevada, o registo das respectivas ondas pode ser efectuado em todo o mundo. As ondas sísmicas propagam-se internamente, não segundo linhas rectas, o que sucederia se a Terra fosse constituída por material homogéneo, mas por linhas curvas, devido à refacção em consequência do aumento progressivo da densidade para o centro. Além disso, em virtude da existência do núcleo líquido, as ondas S param assim que lá chegam. Quanto às ondas P ao atingirem o núcleo desdobram-se em dois ramos, um tangencial que vai aflorar na superfície da crosta a uma distância de cerca de 11450km do epicentro, correspondendo a 103° de arco, e outro que ao penetrar no núcleo, se refracta indo emergir próximo do antiepoentro.

Entre 103° e 143° de arco, em relação ao acontecimento acima referido, não se registam quaisquer ondas P ou S. No hemisfério oposto àquele onde se deu o sismo define-se uma coroa, dita zona de sombra, anelar, situada entre 11.450km e 15.900km, onde apenas se manifestam ondas parasitas. Foi a partir da zona de sombra que o inglês Oldham, em 1906, descobriu a existência de duas unidades no interior da Terra, o **manto** e o **núcleo**. Os valores que ele calculou para o raio do núcleo e a profundidade a que se encontra, são notáveis para a época e só em 1914 o alemão Gutenberg, determinou com maior precisão a profundidade a que se encontra o núcleo, a 2900km.

A zona de sombra para as ondas S vai de 103° a 180° de arco, em virtude, como se disse, de as ondas transversais não se propagarem em meios líquidos.

1.4. A estrutura da Terra

A propagação das ondas sísmicas prova, sem discussão, que a densidade da Terra aumenta em profundidade. Actualmente, por métodos específicos, sabe-se que a densidade cresce até o valor máximo de 10,72 no centro, com saltos desde a crosta, passando pelo manto, cuja densidade média é 4,53.

O interior da Terra apresenta três zonas importantes: a **crosta** (continental e oceânica), o **manto** (superior e inferior) e o **núcleo** (externo, líquido, e interno, sólido, o caroço).

Esta estrutura interna, zonada, característica do nosso planeta está na origem da sua dinâmica interna. Mas, a zonagem estende-se também externamente, com a **hidrosfera** (mares, rios, lagos e calotes geladas), a **atmosfera** (subdividida em várias zonas) e a **biosfera**.

Alguns dados numéricos da Terra

a maior altitude	monte Everest	8.863 m		
a maior profundidade	fossa das Marianas	11.035 m		
a maior montanha	o vulcão Mauna Loa	9.869 m (5.700 + 4.169 m)		
raio polar	6.356,8 km			
raio equatorial	6.378,2 km			
circunferência equatorial	40.076 km			
circunferência polar	40.009 km			
área das terras	149 milhões de km ²			
área de oceanos e mares	361 milhões de km ²			
área da superfície total	510 milhões de km ²			
atmosfera	massa (g)	0,005 x 10 ²⁴		
oceanos e mares	"	"	1,410 x 10 ²⁴	volume 1.370x10 ⁶ km ³
crosta continental	"	"	17,39 x 10 ²⁴	volume 6.210x10 ⁶ km ³
crosta oceânica	"	"	7,71 x 10 ²⁴	volume 2.660x10 ⁶ km ³
manto	"	"	4.068 x 10 ²⁴	volume 898.000x10 ⁶ km ³
núcleo	"	"	1.881 x 10 ²⁴	volume 175.500x10 ⁶ km ³
total da Terra	"	"	5.976 x 10 ²⁴	volume 1.083.740x10 ⁶ km ³

A curva hipsométrica de Holmes, mostra que a altitude média dos continentes é 840m e a profundidade média dos oceanos e mares é de 3808m.

2. A formação da Terra

Dir-se-á, rapidamente, como se formou globalmente o planeta, depois o núcleo, o manto, a crosta, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera.

2.1. Teoria da acreção dos planetas

A partir da nebulosa ou nuvem interestelar, formaram-se corpúsculos, de que alguns estiveram na origem da acreção dos planetas, por acção gravítica. A acreção baseia-se na existência de poeiras que se aglomeram. Há duas hipóteses para a acreção, a heterogénea e a homogénea.

O estudo das rochas expelidas pelos vulcões e existentes na crosta, mostrou, em conjunto com a sismologia, que o aumento de densidade, estava relacionado com os diferentes minerais, os mais leves na crosta e os mais densos no manto. Foi comparando as densidades das rochas da crosta e as que eram acessíveis, do manto, com o valor calculado astronomicamente para a Terra, de 5,517g/cm³, que surgiu a necessidade de se conceber um núcleo muito denso para dar a média calculada. A observação dos meteoritos metálicos mostrou que são constituídos por níquel e ferro. De igual modo o núcleo da Terra o deve ser. Na composição da crosta os elementos

mais abundantes são o silício e o alumínio - **SiAl**; na do manto o silício e o magnésio - **SiMa** e na do núcleo o níquel e o ferro - **NiFe**.

Na teoria da acreção heterogénea, primeiro dá-se a acreção do núcleo mais denso, depois a do manto, a da crosta e por fim a da atmosfera. Deste modo tem-se a zonação conhecida. Porém, na acreção homogénea, na nebulosa, as poeiras não estão diferenciadas e a acreção faz-se continuamente sem zonalidade, a qual só se formará posterior e progressivamente, por diferenciação interna e acção gravítica, não estando ainda terminada, ao que se supõe.

2.2. O núcleo

Calculou-se que se a diferenciação do núcleo se efectuasse num período curto, cerca de 10 M.a., o calor desenvolvido seria suficiente para provocar a fusão total do planeta. Em contra partida, se aquele tempo fosse de 4500 Ma., a difusão do manto ao segregar o núcleo, desenvolveria calor que se dissiparia até a actualidade. . . como de facto sucede.

A diferenciação progressiva do núcleo está na origem dos movimentos internos do planeta. Porém, o calor proveniente dessa diferenciação, por si só, talvez não fosse suficiente e, parece, que o calor proveniente da desintegração dos elementos radioactivos foi o acréscimo necessário para pôr o motor em movimento.

A constituição do núcleo é mais complexa do que a descrição acima parece indicar. A sísmica demonstrou que o núcleo é constituído por duas partes, uma sólida, o caroço ou grão, e outra líquida, como se indicou mais acima.

Não se possuem informações directas sobre a composição do núcleo e, por isso, é assunto aberto à discussão. Todavia, há evidências indirectas que levam a considerar a sua constituição tal como se indica. Já se referiu a necessidade de um núcleo denso para explicar a densidade média da Terra, calculada astronomicamente. As ondas sísmicas e o seu registo levaram à formulação de hipóteses que se coordenam com outros dados, a natureza dos meteoritos, a abundância relativa dos elementos e, finalmente, o campo magnético.

Por outro lado, experiências laboratoriais simulando ou criando condições semelhantes às existentes no núcleo (onde a pressão é superior a um milhão de vezes a da atmosfera, 1,3 a 3,5 megabares, com temperaturas entre 4000° e 6000° centígrados, confirmaram as hipóteses formuladas.

As dimensões e estado físico foram deduzidas a partir das ondas sísmicas, situando-se o núcleo externo, líquido, à profundidade de 2 891km e o caroço a 5 449km. O núcleo líquido foi detectado devido à supressão das ondas S àquela profundidade, pois, nos antípodas só se registam as ondas P.

O campo magnético

O campo magnético terrestre tem origem no núcleo, no movimento de rotação do caroço. Foi nos anos 40 e 50 deste século que americanos e ingleses propuseram a ideia que o núcleo seria semelhante a um gigantesco dínamo, que geraria o campo magnético terrestre, uma vez que o mesmo é constituído por ferro, substância condutora do magnetismo. Parece que os movimentos no núcleo líquido são da ordem de vários quilómetros por ano (muito superiores aos dos continentes, apenas de alguns centímetros em igual período). Seria esse movimento, relativamente lento em comparação com o de um dínamo, o gerador de correntes eléctricas, as quais criam campos magnéticos.

O campo magnético terrestre ou geomagnético, resulta da combinação de campos parciais: **regular**, 92%, de origem interna; **irregular**, 2%, devido a anomalias regionais e locais, também interno; **variável**, 6%, de origem externa com variações periódicas e acidentais, devido às correntes eléctricas da ionosfera, de erupções solares, etc.

2.3. O manto

Situado entre o núcleo e a crosta, é a zona não só de maior volume mas também de maior massa. Tem cerca de 2,16 vezes mais massa do que o núcleo e cerca de 153,45 vezes mais do que a crosta e hidrosfera juntos.

Descoberto em 1906 por Oldham, tem vindo progressivamente a ser estudado pela comunidade geofísica internacional com especial relevo para a Europa e os Estados Unidos da América.

Quando se deu a acreção da Terra, ela era homogénea (considerando este tipo de acreção como o que melhor traduz o que se conhece da sua história), sem qualquer diferenciação. Talvez, ainda durante a acreção ou no fim, tenha começado a dar-se a diferenciação do núcleo à custa da massa que constituía o planeta. Nessa diferenciação, o ferro e o níquel sob a forma metálica com mistura de sulfuretos, todos mais densos do que os silicatos, em meio poroso, migraram para o centro da Terra e os silicatos subiram para o lugar do ferro, no manto.

O manto, com a continuação do processo, ficou empobrecido em ferro e mais rico em silicatos. Esta foi a primeira e grande diferenciação, a qual, tudo leva a crer, ainda não terminou. A segunda diferenciação do manto deu-se à superfície, em oposição ao núcleo, com a formação da crosta. A crosta primitiva deve ter resultado da fusão da camada superficial, em consequência dos impactos dos meteoritos e corpos de grandes dimensões. Sob essa crosta fina, o manto iniciava a sua actividade que iria modificar a face da Terra.

Por último, o manto perdeu grande parte dos seus voláteis, que foram originar os oceanos e a atmosfera. Pode dizer-se, que com a diferenciação do núcleo, o manto

perdeu os siderófilos e os calcófilos, com a crosta perdeu os elementos siálicos que se ligam ao alumínio, e com os voláteis perdeu o azoto, a água e o dióxido de carbono, principalmente.

O manto além de ser o mediador e transportador da energia do núcleo, é sede de grandes movimentos, os quais se manifestam à superfície. No início, devido ao grande aquecimento em contacto com o núcleo, formaram-se células de convecção, que provocaram o aparecimento de um mosaico de malha hexagonal à superfície, pelo menos no começo do arrefecimento da crosta que começava a formar-se. Aquele mosaico, deduzido teoricamente, ter-se-ia dado há 4 400 Ma. Supõe-se que por essa altura já se teriam formado 3/4 partes do núcleo.

Só depois do arrefecimento suficiente da Terra para se formar a litosfera, teve início a tectónica de placas. Todavia, porque ainda não existiam verdadeiros continentes, pelo menos não há rochas de idade tão provecta (as mais antigas têm 4.400 Ma.), a amplitude das deformações deve ter sido muito incipiente. Desde que a Terra se formou até as primeiras rochas, decorreram 200 Ma. Nesse período, não tendo a litosfera a espessura que actualmente se lhe conhece, houve tempo para as camadas superficiais se desfazerem e refazerem até que dessas primeiras rochas ficaram os testemunhos conhecidos.

A natureza do manto manifesta-se através do vulcanismo, expelindo basaltos, resultado da fusão parcial das rochas da astenosfera, para a superfície e construindo aí relevos de escoadas e piroclastos em cadeias montanhosas, tal como hoje se processa nas cristas médio-oceânicas e nos continentes. O vulcanismo está na origem de toda a crosta, oceânica e continental e funcionou como extractor do manto. Sem a sua actividade apenas existiria a capa externa do manto.

Os materiais vulcânicos à superfície, em contacto com a água e a atmosfera (principalmente o $\text{CO}_3\text{H}_2 = \text{CO}_2 + \text{OH}_2$) alteram-se por acção designada carbonatação. A formação de carbonatos à custa da decomposição dos feldspatos, principais componentes das rochas lávicas, e transformação de outros minerais em compostos menos densos, está na origem da formação da crosta continental, menos densa do que as rochas do manto e, por isso, não podem mergulhar, hidrostaticamente.

O estudo dos tremores de terra, principalmente a partir das diferentes ondas P e S, pôs em evidência abaixo da Moho, uma outra descontinuidade de espessura bastante grande, onde os materiais estão parcialmente fundidos. Esta descontinuidade, designada astenosfera, foi detectada em todo o globo, na parte superior do manto. A espessura da astenosfera, estende-se entre os 50km e os 300km na parte mais funda, podendo apenas ter 150 ou mesmo 100km. Acima da astenosfera e sob a crosta, situa-se a camada terminal do manto, rígida. Ao conjunto rígido, manto mais crosta (oceânica e continental), dá-se o nome de litosfera.

Do ponto de vista químico, o interior da Terra divide-se em: **crosta**, **manto** e **núcleo**, de composições muito diferentes, mas atendendo às propriedades físicas essa divisão difere substancialmente da primeira, a saber: a **litosfera** (sólida), a **astenosfera** (pastosa), a **mesosfera** (sólida), o **núcleo externo** (líquido) e o **caroço** (sólido).

2.4. - **A crosta**

A crosta é a camada sólida mais externa da Terra e é constituída por duas partes distintas, na espessura, densidade, composição e extensão. São as crostas oceânica e continental.

2.4.1. Crosta oceânica

Esta camada é a mais extensa do planeta, pois, constitui os fundos dos oceanos e mares principais, abstraindo dos sedimentos. A natureza mais abundante das suas rochas é o basalto. Nas cristas oceânicas não existem sedimentos, os quais só começam a aparecer nos seus flancos; quanto maior é o afastamento à crista, maior é a espessura e a idade das camadas inferiores.

Sabendo-se que os fundos oceânicos se formam constantemente nas cristas oceânicas e se destroem nas fossas, é fácil de compreender que os mesmos têm duração limitada. A datação das suas rochas pode fazer-se pela idade dos sedimentos. De facto, os oceanos mais velhos não têm fundos com idade superior a 200 Ma., isto é, da base do Jurássico (Pacífico ocidental, entre o Japão e a Nova Guiné, e Atlântico norte, junto de África e dos E.U.A. e Canadá).

A espessura da crosta oceânica é, em média, da ordem dos 6 km, não ultrapassando 8km. O fundo dos oceanos apresenta morfologia típica que se pode dividir

em províncias distintas.

1) As cristas médio-oceânicas, correspondentes ao empolamento térmico onde ascende o magma pelos riftes, estendem-se por cerca de 64 000 km, dividindo quase a meio o Atlântico e o Índico, contornam quase totalmente a Antárctida e prolongam-se pelo Pacífico oriental subindo até a Califórnia. As cristas têm em média 3 000m de altura acima das planícies abissais e no cimo, ao longo da crista, têm um vale, o rifte, de profundidade entre 250 e 750m e mais de 2km de largura. A base das cristas de empolamento têm de 1 400 a 1 500km de largura.

2) As fossas oceânicas são as áreas mais fundas da superfície da crosta. A das Marianas, no Pacífico, com 11 000 m, é a mais profunda conhecida. A maioria das fossas tem profundidades superiores a 6 000 m. Distribuem-se sempre junto de arcos-ilhas ou de bordos continentais montanhosos. Representam uma das estruturas mais importantes da crosta, não só pelos sedimentos nelas depositados, de grande espessura, como também por estarem associadas às zonas de intenso vulcanismo e

actividade sísmica. Ver-se-á, quando se tratar da tectónica de placas, que representam papel importante na expansão dos fundos oceânicos.

3) As planícies abissais são vastas extensões, mais ou menos planas, que ladeiam as cristas médio-oceânicas e se estendem até junto das fossas oceânicas. A profundidade média é de 4 000 m. São constituídas por relevos vulcânicos, podendo alguns deles ter 900m acima do chão e designam-se por colinas abissais. As planícies, quanto mais próximas se situarem dos continentes mais regular terão o chão, devido à cobertura de sedimentos que vai entulhando o relevo original.

4) Os montes oceânicos são edifícios vulcânicos isolados ou em cadeias que normalmente não atingem a superfície do mar. No caso de emergirem formam as ilhas oceânicas, de dimensões variadas. Quando não afloram ou foram arrasados e ficam perto da superfície formam os bancos submarinos. Estes vulcões oceânicos podem constituir grandes relevos como é o caso do Mauna Loa, no Havai, que é o monte mais alto do planeta, com os 9 900 m acima do chão do Pacífico.

2.4.2. Crosta continental

A crosta continental ocupa aproximadamente um terço da área da superfície da Terra e é totalmente diferente da crosta oceânica, quer na composição quer na densidade. As rochas que a constituem são metamórficas (gnaisse e xistos na maioria), eruptivas (granitos, na maior parte, basaltos e andesitos) e sedimentares (calcários, arenitos, argilas, etc.). A densidade média da crosta é a dos granitóides (granitos, gnaisse, etc.), cerca de 2,8, enquanto que a do manto é de $\pm 3,3$. Deve-se a esta diferença de densidades o facto de os continentes serem insubmersíveis. As rochas da crosta não têm todas, como é óbvio, densidades semelhantes, estando as mais densas situadas na base e as mais leves, que são os sedimentos, no cimo. Todavia, se globalmente, assim é, na realidade há grande mistura de rochas de densidades várias.

A espessura da crosta continental é variável, de 20 a 70km; porém, a espessura média ronda os 35km (35km para África, Antárctida oriental, Escudo australiano; 36km para o Escudo canadiano, etc.) A maior espessura, 70km, encontra-se sob as grandes cadeias montanhosas, formando verdadeiras raízes.

Isostasia

É o ajustamento gravitacional da crosta flutuando no manto. É devido à impulsão litostática das rochas mais densas, do manto, sobre as da crosta, mais leves, semelhante à que diferentes blocos de madeira ou de gelo sofrem quando flutuam na água. Um bloco de madeira, ou de gelo, mais alto do que os outros possui uma raiz mais funda para equilibrar a massa saliente.

Se houver modificação na espessura de parte da crosta, devido à erosão nas montanhas e deposição nas planuras marinhas, a isostasia vai provocar a subida da

montanha e a descida da planura, embora com taxas diferentes, para compensar aquela transferência de massa. Como não podia deixar de ser, esses movimentos são lentos e só medições a longo prazo, na escala humana, as põem em evidência.

O caso clássico é o do escudo feno-escandinavo (Finlândia e Escandinávia) que subiu pouco mais de 200m desde há 8 800 anos, após a fusão da calote glaciária quaternária. Outro exemplo significativo é o da barragem Hoover no rio Colorado construída em 1935, que comporta 24 mil milhões de toneladas de água mais uma quantidade desconhecida de sedimentos. Desde então, a zona à volta da albufeira, desceu 1,7m. No escudo feno-escandinavo a subsidência foi de 2,3cm por ano e no rio Colorado, a descida foi de 3cm por ano.

A isostasia faz-se por compensação na astenosfera, única zona plástica passível de reagir à pressão.

Origem dos continentes

Os continentes têm morfologia muito variada quer acima do nível das águas do mar quer abaixo. Podem apresentar planuras a altitudes diversas e relevos de pequenas e grandes dimensões (cordilheiras). O perímetro é muito variado, desde regular a muito irregular.

A cartografia geocronológica das rochas, mostra haver uma zonação, mais ou menos paralela, com as rochas mais antigas no interior e decrescendo para o exterior. A América do Norte é, talvez, o exemplo mais completo e regular desta distribuição.

Sendo a crosta segregada do manto superior, pôs-se o problema de se saber se os continentes foram totalmente formados de início e se, ao longo dos tempos, haveria apenas remobilização das rochas primitivas. Deste modo, a massa total não variaria, modificando-se somente a geometria dos blocos. Outra hipótese dizia que os continentes se formaram progressivamente, aumentando continuamente de volume.

Não foi fácil saber qual das duas hipóteses era a correcta, mas a partir de 1965, utilizando o método da traçagem do neodímio, o problema ficou resolvido a favor, embora não totalmente, da segunda hipótese, isto é, os continentes têm vindo a crescer por acreção. Porém, nesse crescimento, há rochas novas e, também, remobilização de parte das rochas antigas. Só os primeiros continentes é que foram constituídos unicamente por material novo.

As rochas mais antigas

Os continentes comportam as rochas mais antigas da Terra, com cerca de 4 400 milhões de anos (as mais antigas rochas dos fundos oceânicos têm 200 Ma.). Foi no nordeste do Canadá (4 000 Ma), que se encontraram aquelas rochas, na Gronelândia ocidental, na Austrália (4 400 Ma) e em África.

A morfologia dos continentes é caracterizada por 3 componentes básicas:

1) Regiões onde afloram as rochas metamórficas e eruptivas (granitos), os escudos, do Pré-câmbrico. Os escudos resultaram da actividade tectónica, com metamorfização e dobramento de sedimentos levados a grandes profundidades (altas temperaturas e pressões), dando-se a fusão dos materiais situados mais profundamente com transformação em granitos de anatexia e posteriormente erodidos até grandes profundidades e a compensação isostática parar.

2) Vastas regiões de plataformas estáveis onde as rochas do complexo de base se encontram aplanadas e cobertas por sedimentos espessos, em posição horizontal ou sub-horizontal;

3) Cintura de montanhas jovens, dobradas, paralelas à margem continental. As cinturas de montanhas jovens localizam-se ao longo das margens convergentes das placas tectónicas, coincidindo com zonas de forte actividade sísmica e vulcânica.

Evolução dos continentes

Os continentes são sede de intensa acção destrutiva pela erosão. Como veremos mais adiante, os relevos são atacados, inelutável e continuamente, pela acção meteórica desde o começo da ascensão. A erosão tende a aplanar todos os relevos, rebaixando-os até o nível do mar. Foi o que sucedeu às antigas cadeias montanhosas de que restam as raízes nos escudos. Os materiais arrancados e dissolvidos são transportados para os oceanos e aí formam as cinturas sedimentares que, posteriormente, serão incorporadas sob a forma de relevos em margens convergentes pela deriva de placas. É nas cinturas novas de relevos que têm origem grande parte dos sismos em relação com os bordos de placas convergentes. Se não houvesse deriva de placas, os relevos acabariam por ser todos arrasados, formando-se um oceano único.

2.5. A hidrosfera

Por hidrosfera compreende-se o reino da água, o qual é constituído por vapor de água (que será estudado na atmosfera), água líquida e sólida, o gelo. Fazem parte da hidrosfera os oceanos, mares, rios, lagos, águas subterrâneas, etc., os inlandsis, glaciares e campos de gelo e de neve. Nos oceanos encontra-se 98% da água da hidrosfera.

A água é o composto químico mais excepcional existente na Terra, pois, dissolve, transporta e precipita muitos compostos químicos, alterando e modificando continuamente a face da crosta. Além do mais, está na base da origem da vida.

A hidrosfera actua em simultâneo com a atmosfera, não podendo separar-se a acção de uma da outra. Se a crosta fosse aplanada, de tal modo que ficasse perfeitamente esférica, as águas formariam um único oceano com 2 250m de profundidade.

Como se disse, os oceanos contêm a quase totalidade das águas, mas a sua acção, sem a atmosfera, reduzir-se-ia à acção sobre as costas. Mesmo assim, é preciso haver vento para se formarem ondas.

O ciclo hidrológico

O movimento, segundo um ciclo simples, das águas dos oceanos para a atmosfera, desta para as terras e por último, de novo para os oceanos, constitui o ciclo hidrológico. Este movimento processa-se na escala mundial, não podendo separar-se a atmosfera da hidrosfera.

O motor deste sistema é o calor solar que aquece a atmosfera, as superfícies das terras e dos mares. Estas regiões aquecem-se desigualmente devido à presença ou não de nuvens. O aquecimento desigual vai provocar correntes de ar na atmosfera e as massas de vapor de água transportadas na sua circulação, em altitude, vão condensar-se e precipitar-se sob a forma de chuva de água e de neve. A maior parte desta chuva cai nos oceanos (eles cobrem 71% da superfície da Terra) e o restante cai nas terras, escoando para as zonas baixas e daí para os oceanos, retornando ao local de partida. O escoamento das águas nas terras processa-se sob a forma de rios e linhas de água temporárias, evaporando-se, pelo menos, 1/3 e outro tanto se infiltra formando as chamadas águas subterrâneas, que vão alimentar os aquíferos.

Parte das águas das terras é usada pelas plantas e pelos seres vivos que, na sua maioria são constituídos por água. Parte significativa, mas de volume reduzido, quando comparado com o dos oceanos, da água acumula-se nos pólos e nas altas montanhas sob a forma de coberturas de gelos, as calotes glaciárias e os glaciares.

Origem da hidrosfera e da atmosfera

Não faz sentido tratar isoladamente a origem de cada uma destas unidades, quando as mesmas se formaram simultaneamente. A explicação de ambas é a mesma, assim como a sua origem.

Como é óbvio, formularam-se várias hipóteses para a origem da água e dos gases da Terra, admitindo-se que teriam surgido do mesmo modo que nos outros planetas. Porém, a comparação das várias atmosferas mostra que são diferentes entre si e que a da Terra não tem semelhança com nenhuma outra, por ser a única com oxigénio livre em grande quantidade.

Admitiu-se que teriam surgido da desgaseificação do manto, uma vez que os vulcões ainda actualmente emitem quantidades enormes de gases. Pensou-se também que teria havido uma atmosfera primitiva, a qual, aquando da captura da Lua, teria desaparecido e que, depois, em consequência das marés terrestres provocadas, ter-se-ia iniciado a desgaseificação do manto.

Em estudos dos últimos anos, baseados em isótopos radioactivos de gases raros, foi possível provar que de facto os gases, incluindo o vapor de água, provieram da

desgaseificação do manto superior. Foi possível determinar e dosear os gases e líquidos contidos em cristais de basaltos profundos e comparar com os valores medidos e efectuados na atmosfera. Dessa comparação, efectuada em 1983, foi possível saber que 85% da atmosfera se formou nos primeiros 10Ma. da história da Terra e que os restantes 15% se acumularam progressivamente até hoje. Como sempre, foi através do vulcanismo que se deu a desgaseificação do manto.

Quanto à origem da água, havia 2 hipóteses: ou teria resultado da reacção do hidrogénio sobre os silicatos ou teria sido formada na supernova. A última hipótese é a que prevalece, pois encontra-se água no cosmos, nos condritos, nos meteoritos, em Venus, em Marte, etc. A única conclusão é que a água se encontrava presente na nebulosa e que ficou incluída no manto quando se deu a acreção dos astros. Admite-se que o manto tenha cerca de 1% de água.

A composição dos gases que se escapam do manto, pelos vulcões, e presentes nos minerais é, maioritariamente, formada por vapor de água, dióxido de carbono e azoto (este em menor quantidade). As razões CO_2/N são iguais às de Venus e Marte. Por outro lado, as percentagens de metano (CH_4) e de amoníaco (NH_3) eram mínimas. Havia, tal como hoje, emitidos pelos vulcões, gases corrosivos, de óxidos de enxofre e de cloro.

Estima-se que a pressão da atmosfera em gás carbónico teria sido de 50 atmosferas e que a temperatura da atmosfera deveria ser superior a 500⁰ C. Todavia, a essa temperatura, se existiu foi por pouco tempo, não haveria água no estado líquido. Se tivessem sido essas as condições, o nosso planeta actualmente seria igual a Venus.

Houve um factor que fez diminuir o gás carbónico na atmosfera; foi a água dos oceanos, na qual os iões de cálcio reagindo com o gás carbónico originou o carbonato de cálcio. Somos assim levados a concluir que a Terra não teve temperaturas muito elevadas e que a presença de iões Ca, fixaram o CO_2 da atmosfera, diminuindo a pressão da mesma. Sabe-se que havendo muito CO_2 há maior retenção de calor, pois, aquele gás não deixa passar os raios infravermelhos, tal como sucede em Venus. A retirada progressiva de CO_2 da atmosfera, originando depósitos calcários, evitou o aquecimento da mesma a temperaturas que teriam impedido o desenvolvimento da vida. O cálcio presente nas águas dos mares proveio da alteração dos minerais dos basaltos, as plagioclases, as piroxenas e as anfíbulas.

As temperaturas assás elevadas, 70⁰ C como parece ter acontecido, mas não impeditivas para o aparecimento da vida, não permitiu a acumulação de gelo nos pólos. Por outro lado, as águas carregadas de ácidos sulfúrico e clorídrico, atacaram os basaltos, alterando-os, o que permitiu a extracção do cálcio dos seus minerais. As reacções químicas naqueles ambientes foram intensas e a concentração de iões muito

grande. A perda progressiva de temperatura e em locais onde o pH era mais elevado, ambientes neutros e básicos, levou à formação de carbonatos de cálcio e magnésio.

Ao fim de 10 milhões de anos de evolução, as águas expulsas do manto tinham já formado um oceano cujo volume não era muito inferior ao actual e a percentagem de CO₂ na atmosfera não deveria ultrapassar os 10%, sendo dominante o azoto.

Os oceanos, ou oceano no caso de haver apenas um continente, têm vindo a aumentar de volume até o valor actual, estando o processo terminado ou quase. As grandes quantidades de água expelidas pelos vulcões actuais, como ficou demonstrado pelo estudo dos isótopos, são devidas às infiltrações na crosta, que atingem vários quilómetros de profundidade, mais de 10.

2.6. Atmosfera

Já se referiu, a propósito da hidrosfera, que a atmosfera se formou simultaneamente com aquela. Quanto à origem nada há a acrescentar.

Na Gronelândia encontram-se os sedimentos mais antigos conhecidos, 3,8 mil milhões de anos. Para se formarem sedimentos era necessário existir relevos emergidos. O Prof. Dick Holland demonstrou que nessa série sedimentar se encontram paleossolos e sedimentos marinhos. Portanto, existiam relevos suficientes para aqueles sedimentos se formarem e, o mais extraordinário, se preservarem até a actualidade, o que implicava grandes dimensões. Ora, tendo os sedimentos aquela idade, os terrenos que lhes deram origem eram, forçosamente, mais antigos. Aquele professor mostrou que os minerais e a composição química daqueles depósitos implicaram, quando se formaram, que o gás carbónico fosse 100 vezes mais abundante do que o é actualmente na atmosfera, que não havia pressões muito elevadas, ausência de oxigénio livre e que, contrariamente ao que alguns investigadores afirmam, o metano e o amoníaco eram pouco abundantes.

De facto, a característica principal daquela atmosfera primitiva é a ausência de oxigénio livre. Tal facto é evidenciado pela uraninite (minério de urânio) que em depósitos clásticos daquela época se apresentam intactos, quando se sabe que em contacto com águas que tenha oxigénio dissolvido, se oxidam rapidamente. O mesmo se passa com a pirite (S₂Fe) que se oxida também rapidamente em contacto com o oxigénio dissolvido nas águas. Por outro lado, o ferro é solúvel em águas pobres de oxigénio, mas no estado oxidado precipita facilmente e origina depósitos de óxidos e hidróxidos.

Não restam dúvidas de que nos primeiros milhões de anos a atmosfera terrestre era constituída por azoto e gás carbónico, em grandes quantidades, e por gases de enxofre (SO₂ e SH₂), metano, amoníaco, hidrogénio, etc., em pequenas percentagens. Sem oxigénio livre não há camada de ozono e, como tal, as radiações ionizantes,

principalmente o ultra-violeta de alta energia, chegavam fácil e abundantemente à superfície da Terra. Estas características definem a atmosfera como sendo redutora.

A transformação da atmosfera redutora, em atmosfera oxidante, com oxigénio livre, vai processar-se ao longo dos tempos, como veremos. Tal facto ficou a dever-se aos seres vivos.

Como dissemos anteriormente, os primeiros sedimentos formaram-se muito cedo na história da Terra. A formação daqueles depósitos como os contidos nos terrenos da Gronelândia, implica a existência de uma atmosfera com ventos e chuvas, pois, de outro modo não teria havido transporte. Existiu também meteorismo que alterou as rochas emersas e na orla continental. Tendo havido condições muito diferentes, por certo que se deram reacções químicas impossíveis no ambiente presente.

Os fósseis mais antigos datam de há cerca de 3 500 Ma. e são depósitos de carbonato de cálcio provenientes da actividade dos seres unicelulares primitivos, do Reino Monera, os pró-cariotas cianófitas e bactérias. Estes organismos conjuntamente com outros recentemente descobertos nas fontes termais das cristas oceânicas do Pacífico, as arqueobactérias, por acção quimiossintética e fotossintética produzem oxigénio livre como subproduto.

Desde o aparecimento daqueles primeiros fósseis, multiplicaram-se as jazidas encontradas. A partir de há 2 mil Ma., em que os estromatólitos se estenderam por todos os continentes, que a atmosfera passou a considerar-se oxidante, com pelo menos 1% do valor actualmente presente, de oxigénio livre.

O oxigénio libertado em quantidades crescentes, como a expansão dos estromatólitos o prova, foi sendo consumido na oxidação do ferro e de outros minerais, a pirite e a uraninite, principalmente. Só após a oxidação completas daqueles minerais que estavam em contacto com as águas com oxigénio dissolvido, como se verifica dos extensos e espessos depósitos sedimentares de ferro nas formações ditas itabiríticas ou bandadas de ferro (hematite) e cherte, alternadamente, é que o oxigénio livre se pode acumular na atmosfera, sem ser consumido.

A curva de acumulação do oxigénio livre cresce sempre e com o aparecimento da clorofila, aumentou ainda mais, o que tornou a suceder com o aparecimento e desenvolvimento das plantas traqueiófitas, que durante o Carbónico formaram extensas florestas, de que actualmente se extraem quantidades fabulosas de carvão de pedra, a hulha e antracite.

2.7. Biosfera

Por Biosfera entende-se o conjunto dos seres vivos actuais.

A origem da vida

A vida é um estado da matéria e, como tal, é formada por compostos de carbono extraordinariamente complexos, os quais formam moléculas de elevado peso molecular. Esses compostos são açúcares, gorduras, proteínas e ácidos nucleicos. Para que a vida se possa desenvolver é necessário um conjunto de requisitos a saber: planetas com uma atmosfera redutora, água e fixação do CO₂ em carbonatos e também um fluxo calórico solar adequado.

Um sistema solar com planetas, designadamente telúricos só existe em estrelas de segunda geração, isto é, após a explosão de uma supernova, como se descreveu anteriormente.

Nos seres complexos como os vertebrados existem compostos complexos em cujas moléculas participam elementos como o iodo e o cobalto, por exemplo, só existentes nos sistemas solares de 2ª geração. Um tal sistema terá que ter os planetas telúricos a uma distância mais ou menos equivalente à da Terra ao Sol, pois, mais próximo, como Venus, o calor impedirá a água de estar no estado líquido, só existindo como vapor; terá, também, que ter massa suficientemente grande para reter os gases mais leves, o que não sucedeu em Mercúrio, Lua, Marte, etc. Além disso, à distância a que está Marte, o fluxo calórico recebido do Sol não é suficiente para a água existir no estado líquido, havendo nos pólos neve carbónica. A massa de Marte é também insuficiente para permitir a segregação de um grande núcleo, o que lhe permitiria manter um fluxo calórico, semelhante ao existente na Terra.

Mesmo na Terra se durante a acreção não tivesse sido retida água suficiente, e posteriormente formado uma atmosfera redutora, como a que foi demonstrado ter existido no início, o aparecimento da vida não se teria dado.

Os sedimentos mais antigos, como o Prof. Holland demonstrou, provam que a atmosfera era de facto redutora e composta essencialmente por água, CO₂ e N em grandes quantidades e CH₄, NH₃, SO₂, SH₂, ClH, H em quantidades muito menores. Não existia, como aliás em nenhum outro planeta, oxigénio livre.

Foi em 1924 que o russo Oparine publicou um trabalho, no qual defendia que a atmosfera inicial terrestre seria constituída por: água, metano, amoníaco e hidrogénio. Mais tarde, nos anos 30, o inglês Haldane imaginou a existência de uma atmosfera inicial de igual composição. Oparine admitia que naquela atmosfera, redutora, sob o intenso bombardeamento pelos raios ionizantes do Sol, se formaram substâncias orgânicas pré-bióticas, que levaram ao aparecimento da vida. Aquele investigador russo concebeu um esquema bioquímico e admitiu que em certa altura aqueles compostos se agregaram em esferas, a que deu o nome de coacervados, tal como obtinha em experiências laboratoriais a partir de substâncias simples orgânicas. A hipótese era ousada, mas nunca foi testada.

Na América, Urey e o seu aluno S. Miller discutiam com frequência qual poderia ter sido a atmosfera primitiva e chegaram à mesma conclusão a que Oparine tinha chegado 25 anos antes. Miller, imbuído das ideias do mestre, concebe uma experiência audaciosa, mas que não obtinha o consenso dos colegas, razão pela qual resolveu realizá-la às escondidas. Num circuito fechado e isolado de qualquer contaminação do ambiente, simulou a atmosfera primitiva concebida por Urey, introduzindo no aparelho para tal construído, os gases amoníaco, metano, hidrogénio e água. No aparelho existia um reservatório inferior onde pôs a água (os oceanos), uma tubagem hermética onde introduziu os gases (a atmosfera) ligada a uma ampola com eléctrodos para descargas eléctricas (a energia ionizante), que por sua vez se ligava em circuito fechado ao reservatório de água. Entre a ampola e a água havia um sistema de refrigeração. Todas as substâncias aí colocadas foram puras e abióticas.

Aqueceu a água até perto da ebulição (simulando as temperaturas iniciais, talvez existentes) e fez saltar faíscas de 60.000 volts (as faíscas das trovoadas), durante uma semana. Ao fim desse tempo verificou que a água de incolor passou a ter cor alaranjada. A análise química daquela água mostrou a existência de, entre vários compostos "orgânicos", aminoácidos, os tijolos da vida, isto é, das proteínas. A comunidade científica ficou admirada com a experiência, pois, tinha sido demonstrado que experimentalmente a hipótese de Oparine era correcta e que, na Terra, em épocas passadas, tinham existido condições para se realizarem as reacções de formação espontânea da vida, embora elementar.

Esta experiência mostrou, aliás como as que se lhe seguiram, que em condições semelhantes é possível criar as substâncias chaves da vida, mas não demonstrou que tal se tivesse realizado.

A experiência de Miller, como era inevitável, inaugurou a era das pesquisas laboratoriais conducentes à reconstituição das etapas da evolução pré-biológica, lançando ao mesmo tempo, as bases de uma nova disciplina científica, a química pré-biológica ou pré-biótica.

Ficou provado em todas as experiências que os produtos sintetizados eram invariavelmente os mesmos. De facto, as "atmosferas" testadas, todas caracterizadas por serem redutoras, mas com composições diferentes, de acordo com as hipóteses experimentais e com fontes energéticas de natureza variada (ultravioleta, descargas eléctricas, calor, ciclotrão, etc.), levaram à formação de aminoácidos (glicina, alanina, ácido glutâmico, etc.), açúcares (glicose, ribose, etc.), ureia, adenina, etc., e do ácido trifosfórico-adenosina (ATP) o "dador energético" ou "fonte de energia" dos organismos vivos.

Algumas daquelas experiências provaram que, mesmo em laboratório e em condições abióticas, é possível sintetizar compostos tão complexos como proteinóides

(proteínas de síntese não biótica). Todas as experiências provam que a Terra no seu início deveria ter tido (e certamente que teve) as condições necessárias à síntese da vida.

Haldane, à acumulação daquelas substâncias nos mares primitivos, deu o nome de caldo ou sopa primitiva, a qual se produziu durante milhões de anos. Foi naquela sopa que se formaram os coacervados que, possivelmente, estiveram na origem dos primeiros seres, os eobiontes ou protobiontes. Em muitas experiências de Oparine e de Fox (norte-americano), onde se formam microsféricas, as maiores absorvem as menores, crescendo desse modo. Verificou-se que as microsféricas possuem membranas porosas selectivas, pois, as moléculas simples atravessam-nas enquanto as grandes o não podem fazer.

A fase dos eobiontes processou-se muito antes da existência dos monera que, como se disse, apareceram, pelo menos, há 3,5 mil Ma. Ainda não se sabe, em laboratório, pôr o "motor" em movimento, isto é, dar aos compostos sintetizados abioticamente, actividade autónoma.

Desde os primeiros seres, os eobiontes, até os mamíferos homínídeos, decorreram mais de 3,5 mil Ma. Os registos paleontológicos mostram que as etapas a vencer precisaram tanto de mais tempo quanto mais primitivas eram. A evolução dos seres vivos tem vindo a acelerar-se ao longo dos tempos.

Os organismos vivos são muito variáveis e não há dois iguais, nem entre os gémeos univitelinos. A variabilidade foi e é a condição da evolução, porque se assim não tivesse sido, só haveria um tipo de seres e todos iguais. Os protobiontes presentes na sopa primitiva, da qual se alimentavam, eram heterotróficos, isto é, dependiam de outros para viver. De entre eles alguns houve que em determinada altura manifestaram a possibilidade de se reproduzir, originando cópias de si mesmos, em muito menos tempo do que pelo processo dos eobiontes. Aqueles organismos impuseram, no meio, a sua organização e, por isso, proliferaram muito mais rapidamente do que os outros até então. Os novos organismos dominantes foram os que apresentaram a ADN e a sua duplicação.

Mais tarde, ainda entre aqueles seres primitivos, outros apareceram com a função fotossintética. Esta fase deve ter-se dado quando os seres com ADN, ainda heterotróficos, dominavam todo o caldo primitivo, fazendo rarear o alimento disponível. A fotossíntese primitiva pode ter tido na base a ferredoxina, pequena proteína que desempenhou papel fundamental nos processos de catálise fotoquímica.

A fotossíntese moderna, com base nas porfirinas, apareceu muito mais tarde. Desde então apareceram os seres autotróficos, não dependendo do alimento dos outros seres, pois, fabricavam-no.

Os primeiros fósseis

A história terrestre divide-se em dois grandes períodos, muito assimétricos, o Precâmbrico e o Fanerozóico, com durações temporais muito diferentes. Durante muitos anos o Precâmbrico foi considerado como sendo azóico, sem vida, pois, da base do Câmbrio para baixo não se encontravam fósseis.

O problema da não existência de macrofósseis deveu-se ao facto de, na realidade, os seres do Precâmbrico não possuírem partes duras e como tal só muito raramente fossilizaram.

Estudos modernos nos sedimentos dos escudos e cratões, permitiram demonstrar que na realidade existem microfósseis, embora poucos, naquelas rochas do Precâmbrico. Foi possível também demonstrar que os depósitos calcários com estruturas diversas, os estromatólitos, são provenientes da actividade de seres monera, as cianófitas. Sabe-se também, por comparação com os depósitos actuais destes seres que os calcários se formam entre marés. Pode-se, pois, afirmar que a Lua já existia há 3,4 mil Ma.

3. Noção de tempo

Todos temos a noção de tempo. Desde que acordamos até que adormecemos damos por passar um determinado tempo. Do mesmo modo quando nos deslocamos de um para outro lado, precisamos de tempo para chegar ao local de destino.

O que é o tempo ?

O tempo está ligado ao espaço-movimento, o qual não é possível um sem o outro, é o que designa por espaço-tempo. Se não houvesse movimento no Universo, isto é, se todos os corpos celestes estivessem imóveis, não nos aperceberíamos do tempo. A noção de tempo é relativa. Se, para melhor compreensão, restringirmos a abstracção ao sistema Sol, Terra e Lua, compreendemos que o tempo implica movimento. Se ficarmos imóveis, por exemplo, deitados, o tempo continua a fluir porque a Terra roda sobre si, definindo o dia e a noite, além de girar à volta do sol. O tempo que consideramos como padrão, na vida normal das pessoas, é o referente à duração da rotação da Terra. Todavia, esse tempo é relativo. Pergunta-se, se não houver movimento no Universo, o tempo existirá ? Se existir, será, certamente, o tempo absoluto. O tempo na Terra tem duas balizas, a duração da rotação (tempo diurno) e da translação (tempo anual). Todos os cálculos são baseados nestas durações ou intervalos de tempo. Se estivéssemos em Marte, por exemplo, o dia teria 24h 37m 23s e o ano 687 dias (terrestres), etc.

Podemos pensar que o tempo absoluto, talvez não exista, e que o tempo relativo engloba um tempo absoluto de 2ª ordem (origem do Universo, origem do sistema solar, origem da Terra, etc.). O tempo relativo de 2ª ordem concerne todos os

acontecimentos relacionáveis com outros que se podem evidenciar (tectónicos, paleontológicos, sedimentológicos, etc.). O tempo está, pois, relacionado com a velocidade e esta com o espaço.

O tempo absoluto dá uma relação entre um acontecimento conhecido (o padrão) e o fenómeno que se quer datar (o tempo absoluto na Terra refere-se à sua origem).

O tempo relativo dá apenas a posição (anterior, simultânea ou posterior) de um acontecimento em relação a outro.

A duração (intervalo de tempo) de um acontecimento ou fenómeno (deposição de uma camada, formação de um orógeno, existência de uma espécie, erosão de um relevo, etc.

	Era	Período	Época	Cronologia
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	Presente	
			Holocénico	10 000 anos
			Plistocénico	2 Ma
			Pliocénico	5.3 Ma
		Terciário	Miocénico	25 Ma
			Oligocénico	38 Ma
			Eocénico	55 Ma
			Paleocénico	65 Ma
	Mesozóico	Cretácico	.	65 Ma
		Jurássico	.	140 Ma
		Triássico	.	230 Ma
	Paleozóico	Pérmico	.	230 Ma
		Carbónico	.	360 Ma
		Devónico	.	416 Ma
		Silúrico	.	445 Ma
		Ordovícico	.	490 Ma
		Câmbrico	.	570 Ma
Precâmbrico	Proterozóico			570 Ma
				2 500 Ma
	Arcaico			2 500 Ma
				4 600 Ma

Bibliografia

Claude Alégre (1987) Da pedra à Estrela, Publicações Dom Quixote.

Steven Weinberg (1987) Os três primeiros minutos do Universo, Gradiva

Seiya Uyeda (1992) Uma nova concepção da Terra, Gradiva

Hubert Reeves (1992) Um pouco mais de azul – a evolução cósmica, Gradiva

Hamblin & Christiansen (2000) Earth Dynamic Systems.

Press & Siever (1998) Understanding Earth.