

A estrutura da Terra e a teoria da deriva continental

Leonardo Moledo e Esteban Magnani

Dilúvio em dificuldades

Era inevitável que em algum momento após a revolução científica do século XVII, que imaginava o mundo como um imenso mecanismo, olhasse ao redor e se perguntasse pela origem da Terra, que havia deixado – em apenas cem anos – de ser um objeto único e central, quase teológico, para receber o *status* de um planeta como os demais, um pedaço de matéria flutuando no espaço, digno de converter-se em um apreciável objeto de estudo. Os homens da revolução científica se esforçaram para compreender a superfície terrestre, perguntaram-se sobre a natureza dos fósseis e a origem das montanhas e também investigaram os fenômenos e processos naturais que afetam a Terra, como os terremotos, os vulcões ou a erosão e refletiram sobre eles. Mas o aparato bíblico continuava impondo uma estrutura rígida da qual era difícil safar-se e dentro desse aparato aparecia o Dilúvio, considerado o principal acontecimento geológico. A persistência, ainda hoje, da palavra “antidiluviano” mostra a força da tradição.

No entanto, mesmo o Dilúvio tinha suas dificuldades: Thomas Burnett (1635-1715), que publicou *A história sagrada da Terra* (1681-9) e se guiava pela Bíblia, fazia a sensata observação de que não havia maneira de o Dilúvio Universal haver coberto toda a Terra. A superfície do nosso planeta é de, aproximadamente, 432 milhões de quilômetros quadrados. Se chovesse *toda* a água contida na atmosfera (ao redor de um bilhão e trezentos milhões de litros, ou 13 mil quilômetros cúbicos) só alcançaria uma camada de menos de três centímetros de espessura, que não apenas não cobriria os altos montes, como nem sequer os baixos pastos deste mundo. E, além do mais, aonde teria ido parar a água depois?

Como era impossível para um religioso renunciar ao Dilúvio, Burnett chegou à conclusão de que a água teria vindo de *baixo*. Imaginou que, no momento da Criação, a Terra era uma esfera perfeita e paradisíaca, coberta por uma crosta de matéria sólida, lisa e sem trincas, com os oceanos fluindo por *debaixo* dela. A inundação teria ocorrido quando a crosta se partiu, e os fragmentos afundaram na água. Os pedaços irregulares da carapaça original constituíram o relevo da Terra que observamos hoje. A ideia era ao mesmo tempo uma genialidade e um disparate, mas atraiu a atenção até do próprio Newton, muito propenso a divagações esotéricas.

Menos literal e muito mais sensato, Nicolás Steno (1638-1686), depois de analisar as rochas sedimentarias (material que se compacta com o passar do tempo) viu que estão dispostas de forma horizontal. Assim determinou depósitos de distintas épocas, diferenciando inclusive quais eram anteriores e quais eram posteriores ao Dilúvio. Também reconheceu a origem orgânica dos fósseis, que muitos renascentistas viam como produto de forças misteriosas que operavam dentro das rochas e que consideravam meros objetos minerais. Sem renegar a Bíblia deliberadamente, Steno admitiu que os fósseis encontrados nas rochas eram testemunhas de algum episódio remoto que não aparecia nas escrituras.

Quem descartou inteiramente o Dilúvio foi o francês Benoit de Maillet (1656-1738), contemporâneo de Burnett, que também acreditava, como havia sugerido Descartes, que a Terra era um pedaço desprendido do Sol e que se havia resfriado lentamente. Maillet foi muito audaz para sua época e calculou que a Terra tinha uns dois bilhões de anos de antiguidade e que o mar vinha retrocedendo desde então, como pareciam demonstrar as conchas marinhas encontradas nas montanhas.

Foi o onipresente e ubíquo Robert Hooke (1635-1703), quem pôs um pouco de ordem científica no interesse pela Terra. Contemporâneo de Newton, em sua obra *Discurso sobre os terremotos* arriscou uma explicação sobre a origem orgânica dos fósseis e viventes, depois de usar o microscópio para comparar a estrutura de bosques fósseis e viventes: basicamente eram o mesmo, mas separados por muito tempo de diferença. E mais ainda: aqueles fósseis que apareciam nas montanhas indicavam que a superfície terrestre havia sofrido

mudanças profundas...

O Dilúvio se transforma numa teoria científica

Hooke não desafiou a ideia tenaz do Dilúvio. Mas isso foi feito pelo seu importante contemporâneo, o filósofo e cientista Gottfried Leibniz (1646-1716), que imaginou um bom substituto que tiraria todo o mundo dos apuros. Depois da Criação, sugeriu, todo o planeta esteve coberto por um imenso oceano que se havia retirado, pouco a pouco, para deixar atrás a terra firme: esse oceano primitivo possuía os minerais dissolvidos que, ao se depositarem, secaram, formaram as rochas, as montanhas e tudo o mais. Foi o substituto mais popular do Dilúvio Universal, pelo menos entre os geólogos que necessitavam justificar, por exemplo, os restos de fósseis submarinos que se encontravam nas montanhas. Quase todas as explicações dadas sobre a origem da Terra durante o século XVIII seguiam essa linha.

O mais importante teórico da tese do oceano em retirada – também chamada neptunismo (de Netuno, o deus romano do mar) –, e que lhe deu o *status* de verdadeira teoria científica, ao abordá-la com todo rigor, foi Abraham Gottlob Werner (1749-1817), professor da Escola de Mineração de Freiburg, na Alemanha, para onde afluíam estudantes de toda a Europa ansiosos para escutá-lo. Werner observou que algumas rochas haviam sido formadas no mar e, generalizando apressadamente, atribuiu essa origem a *todas* as rochas. Então, pensou Werner, quando o grande oceano primitivo se retirou, as rochas mais antigas ficaram expostas ao ar e sobre elas se acumularam rochas novas, produto da erosão, que se instalaram em camadas sucessivas, formando as montanhas e todos os acidentes geológicos. Era uma teoria muito séria e que explicava vários enigmas como haver fósseis de animais marinhos nas montanhas, ou que o mar Báltico se tornasse cada vez menos profundo.

No entanto, a teoria tinha pontos muito fracos: para começar, não deixava claro de onde havia saído o oceano original, nem aonde ia parar a água restante, à medida que o oceano retrocedia. E segundo – e fatal – não explicava, ou explicava mal, a existência dos vulcões. Werner não se comovia muito por esses argumentos: pensava que os vulcões eram fenômenos modernos e isolados e acreditava que as erupções se deviam à combustão subterrânea de hulha, uma forma de carvão de pedra.

Contudo, seus próprios discípulos, seguindo os conselhos de seu mestre, saíram a ver o mundo, e, pouco a pouco, demonstraram que havia vulcões muito antigos, que muitas das montanhas atuais eram vulcões extintos e, como se isso fosse pouco, comprovaram que a lava que saía deles não parecia ser muito diferente das rochas que, segundo Werner, se originavam apenas no mar.

Apesar de tudo, a teoria resistia, apoiando-se em sua capacidade de organizar os dados sobre os minerais, identificando cada formação com um período particular na formação da crosta terrestre. Mas as dificuldades que se acumulavam fizeram com que nas primeiras décadas do século XIX, a teoria do oceano que se retirava foi abandonada por completo, enquanto a atenção se dirigia para outro extremo: o fogo.

Os plutonistas imaginam uma Terra que vem do fogo

Neptuno foi destronado por Plutão, o deus do mundo subterrâneo e rei dos infernos. Os plutonistas aceitavam a ideia, muito em voga, proposta por Descartes e utilizada por Buffon, de que a Terra era resultado de uma imensa massa de fogo que se resfriava paulatinamente. O centro da Terra continuava sendo para eles uma imensa fonte de calor e *dali* vinha o impulso geológico: a terra firme não era outra coisa senão rocha fundida que havia surgido a partir do mundo subterrâneo e depois se havia resfriado e endurecido. Para os plutonistas os vulcões constituíam a grande força que mantinha as coisas em marcha.

O grande teórico do plutonismo foi James Hutton (1726- 1797), um escocês do Iluminismo. Hutton, muito crente, pensava que a teoria do oceano em retirada implicava que a erosão terminaria arrastando toda a terra firme para o fundo do mar e não podia aceitar que o Criador fosse converter a superfície terrestre em um lugar inabitável. Calculava que teria que haver mecanismos de regeneração e de elevação da crosta que compensassem o ciclo de erosão. E, assim, imaginou um eterno balanço entre nascimento e erosão, um ciclo no qual permanentemente surgiam novas rochas a partir do mundo subterrâneo, transformando o planeta numa máquina em perpétuo movimento, criada pela perfeição divina. O resultado era “um sistema sempre renovável, sem sinais de começo e final”. Em pouco tempo se demonstrou que certas rochas que segundo Werner só podiam ter se originado no mar, eram de origem vulcânica. O químico e geólogo James Hall (1761-1832), amigo de Hutton, em um ataque de empirismo esquentou granito em altos fornos e comprovou que se solidificava a partir de um estado líquido. A rocha provinha de um estado líquido... como a lava. Toda rocha tinha sido produzida desta maneira? Para que essas hipóteses funcionassem, era necessário mudar as escalas de tempo.

As escalas de tempo mudam

No século XVII o arcebispo James Ussher (1581–1656), depois de uma conscienciosa análise das escrituras, à maneira de Burnett, determinou que a Terra havia sido criada em 22 de outubro de 4004 a.C. às 6 da tarde. Ussher chegou a essa conclusão estudando muito seriamente as gerações que são mencionadas na Bíblia que, todavia, não se podia questionar.

A teoria do oceano em retirada, ainda que um pouco forçadamente, podia compatibilizar-se mais ou menos com o relato bíblico; já o modelo de Hutton, não. Quando em 1785 propôs sua hipótese diante da Royal Society de Edimburgo, houve um escândalo: foi acusado de ateu, de negar a evidência da Criação presente nas rochas e de ignorar a história do Dilúvio – ou inundação – catastrófico. A força da tradi o   grande, mas o terreno bíblico era muito estreito para as novas ideias e evidências que não resistiram à idade do Iluminismo e   mirada newtoniana sobre o mundo.

O primeiro que arriscou uma estimativa científica da idade da Terra foi o naturalista francês Georges-Louis Leclerc Buffon (1707-1788), que calculou o tempo que demoraria para se resfriar uma esfera do tamanho do nosso planeta até alcançar a temperatura atual. O resultado foi 74.832 anos. A cifra produziu uma como o: era difícil acreditar que a Terra fosse tão velha.

Em 1830, Charles Lyell (1795-1875), publicou sua *Geologia*; que deixava de lado qualquer interpreta o religiosa do mundo para começar a encará-lo com um olhar puramente mecanicista. Lyell construía a geologia a partir do princípio da uniformidade; ou seja, a ideia de que os processos de sedimenta o, erosão e mudança geológica eram extremadamente lentos e que assim haviam sido sempre. Pensava que ao longo da história de nosso planeta os mecanismos de mudança haviam sido muito gradativos, e, sobretudo, *os mesmos* que no presente: os rios cavam seus leitos através dos séculos, as montanhas se elevam com paciência exasperante, por a o do fogo a crosta eleva-se sem que o notemos e uma cordilheira pode demorar milhões de anos para formar-se.

Milhões de anos... parecia muito a dizer. Mas John Phillips (1800-1874), um dos seguidores de Lyell, baseando-se no estudo dos estratos rochosos sugeriu que a Terra tinha *96 milhões de anos*. Em 1863 William Thomson (1824-1907), mais conhecido como Lord Kelvin, retomando a ideia de Buffon da Terra resfriando-se, obteve 98 milhões... tempos bem-vindos pelos darwinistas já que eram os que requeria a Teoria da Evolu o. A cifra que quase todo o século XIX aceitou para a história da Terra foi algo em torno de cem milhões de anos.

Parecia muitíssimo e, no entanto, era muito pouco. Até princípios do século XX, quando entraram em a o os muito mais precisos métodos de data o radiativa, o inglês Arthur Holmes (1890-1965) fez uma estimativa de 1,6 bilhões de anos. Já era monstruoso, mas *continuava sendo pouco*. O mesmo Holmes mais tarde elevou o número para 4,5 bilhões de anos, uma cifra que se aceita hoje em dia...

Uma ideia visionária

Ainda que ao longo do século XIX os sistemas de classifica o das rochas houvessem se estabilizado e a história da Terra começasse a se consolidar com firmeza, faltava uma teoria geral que englobasse todos os fen menos.

Em 1912 o meteorologista e geólogo Alfred Wegener (1880-1930), propôs a ideia de que os continentes em algum momento estiveram comprimidos em um só protocontinente que chamou de Pangeia (“todas as terras”) e que ao longo do tempo se havia partido, formando os continentes atuais, que se haviam “movido” até o lugar que ocupam agora e que, em princípio, continuavam movendo-se. Wegener partia do fato desconcertante de que as costas da África e da América do Sul parecem encaixar-se como as peças separadas de um quebra-cabeças e pensava que os continentes, formados por rochas mais leves, flutuavam sobre a camada mais profunda e pesada do leito oceânico, sobre o qual se deslocavam. Calculava que Pangeia havia permanecido intacta até ao redor de 300 milhões de anos, quando começou a romper-se e separar-se.

A biologia trazia informa o de apoio: fósseis de animais mais ou menos parecidos e do mesmo período podiam ser encontrados tanto na América do Sul como na África e se observava que depois, essas linhas haviam divergido, dando testemunho de algum tipo de separa o. Além disso, a hipótese da deriva também fornecia uma explica o interessante para a forma o das montanhas: se os continentes se moviam até encontrar um limite que lhes oferecesse resistência, sua superfície dobrar-se-ia, formando as cordilheiras, da mesma maneira que se dobra uma toalha que se desliza sobre uma superfície e encontra um obstáculo. Wegener sugeriu também que a  ndia havia se deslocado em dire o ao interior do continente asiático

formando, assim, o Himalaia.

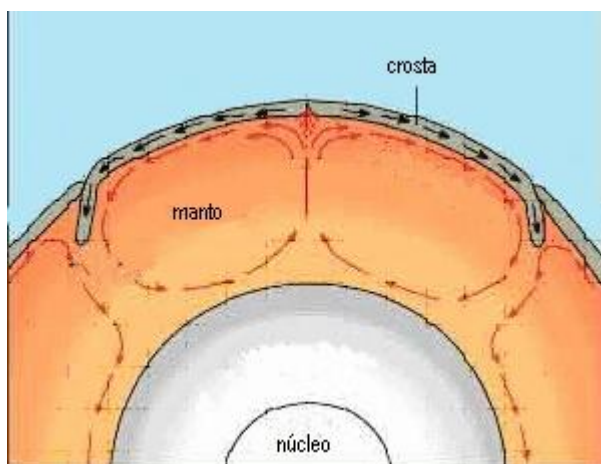
Mas não. A ideia tem uma falha fundamental

A hipótese da deriva continental teve pouco êxito e em geral não foi muito bem recebida pela comunidade geológica. A verdade é que tinha uma grande falha: Wegener era incapaz de propor um mecanismo que explicasse os motivos desta deriva e a forma pela qual os continentes podiam vencer o enorme atrito que implicava arrastar-se sobre o leito marítimo, ainda que tenha ensaiado algumas possibilidades: a rotação terrestre geraria uma força centrífuga em direção ao Equador; Pangeia havia-se originado perto do Polo Sul e essa força centrífuga havia produzido uma quebra no protocontinente. No entanto, o cálculo das forças geradas pela rotação terrestre mostrou que eram muito leves para provocar semelhantes deslocamentos.

E assim, a coisa não andava.

Aparece uma possibilidade: as placas tectônicas

No entanto, em 1929, mais ou menos na época em que Wegener deixava de ser levado em conta e um ano antes de sua morte, Arthur Holmes (1890-1965) trabalhou uma hipótese diferente: abaixo da crosta, existia um mar de rocha fundida (o manto) e dentro do manto, as zonas mais profundas e quentes subiam em forma de correntes de lava, elevando-se desde as profundezas até resfriar-se e voltar a cair, formando verdadeiros jatos de rocha ardentes que sobem e depois, baixam. O processo de resfriamento e aquecimento repetido em muitas ocasiões tem como resultado uma corrente suficientemente forte para mover os continentes.



Holmes sugeriu que essa convecção térmica funcionava como uma correia transportadora e que a pressão ascendente podia romper um continente em direções opostas.

Fazia sentido, mas os geólogos acreditavam firmemente em um interior da Terra estático, e a proposta de Holmes rompia drasticamente com essa convicção, sem suficiente evidência concreta.

Porém, depois da Segunda Guerra Mundial, intensificou-se o estudo do leito oceânico e do magnetismo remanescente que o campo magnético da Terra deixava nas rochas. Por um lado, pôde-se observar que os padrões magnéticos impressos nas rochas, sugeriam que a convecção efetivamente podia estar funcionando. Semelhantes descobertas (e outras) levaram Harry Hess (1906-1969) e Robert Dietz (1914-1995) a publicar a hipótese baseada nas correntes de convecção do manto, conhecida como sea floor spreading, algo como “dispersão do leito marítimo”. Era basicamente o mesmo que havia proposto Holmes mais ou menos 30 anos antes, mas agora havia muito mais evidência para apoiar a ideia.

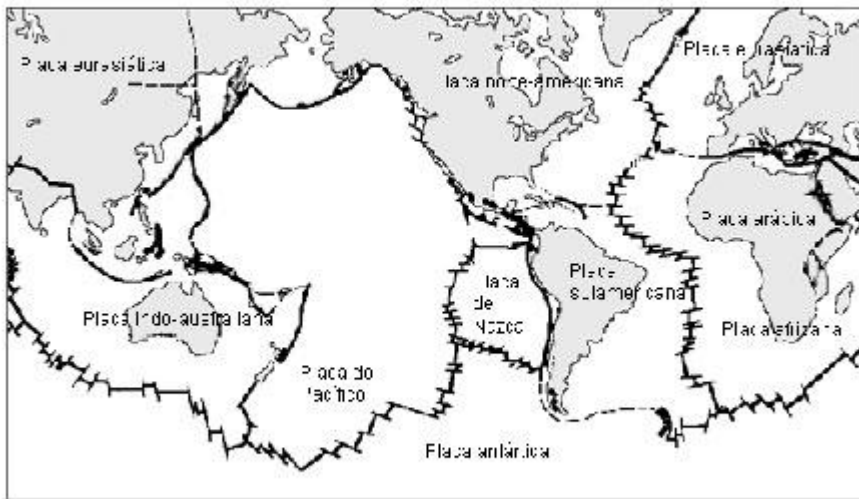
Em 1967 Dan McKenzie (n. 1942) utilizou pela primeira vez o termo "placas" em um artigo publicado na revista Nature para descrever esses blocos maciços que “flutuavam” sobre o manto. Esse foi o acontecimento que faltava à teoria, que pouco a pouco passou a ser aceita no mundo científico.

O funcionamento desse modelo está fortemente estabelecido na atualidade, foi comprovado e é relativamente simples. A crosta está dividida ao redor de uma dúzia de placas, que podem ter tanto continentes visíveis na superfície como leitos marítimos e que se tocam uns aos outros. As placas flutuam sobre o “manto”, uma rocha fundida que quando sai pelos vulcões se chama magma ou lava. Dentro do manto se produzem correntes de rocha que arrastam as placas da crosta até que se choquem e começam a sobrepor-se, como explicava Wegener. A que fica por baixo se esquentam, fundem-se e misturam-se com o manto. Enquanto isso, no fundo dos oceanos surgem novos pedaços de manto resfriado, ou seja, de rocha. E por que surgem rochas

novas? Quando uma placa se desloca distancia-se de outra produzindo uma fisura. Por ali aflora o manto em forma de magma e vai se formando nova crosta.

Assim se explicam os oceanos e as montanhas. O Oceano Atlântico se formou durante os últimos milhões de anos porque as placas da América e África se separam uns dois centímetros por ano. E Wegener tinha razão: o Himalaia, a cadeia montanhosa mais alta do mundo, é consequência do choque da placa indo-australiana que empurra a placa euro-asiática. O mesmo ocorre com a Cordilheira dos Andes, que é consequência do choque entre as placas sul-americana e a chamada placa de Nazca.

Era o começo da tectônica de placas que, como toda boa teoria, permitiu explicar e prever muitos fenômenos que viriam e que, por sua vez, permitiram lapidá-la e melhorá-la.



Leonardo Moledo é editor do jornal Página/12 e de seu suplemento "Futuro", é também professor da Universidade de Buenos Aires e da Universidade de Quilmes, na Argentina. Esteban Magnani é jornalista e docente da Universidade de Buenos Aires.

**Este artigo foi extraído e resumido de Dez teorias que comoveram o mundo, (Editora Unicamp, 2009), desses mesmos autores.*