

O Oceano Atlântico e sua história geológica

Umberto G. Cordani – Instituto de Geociências da USP

1 – Água no planeta Terra

No processo de formação do Sistema Solar, por volta de 4570 Ma (milhões de anos), água aparece como constituinte volátil importante. No caso da Terra, a água inicial foi retida no interior do planeta em formação. Mais tarde, com o resfriamento de sua superfície, apareceram os envoltórios fluidos, *hidrosfera* e *atmosfera*. A parte preponderante da água dos oceanos provém do estoque interno inicial, através das emanações gasosas do manto, mas outra parte, talvez não menos importante, pode ter origem extraterrestre, por agregação de cometas e outros objetos que atingiram a Terra durante o seu crescimento inicial e posteriormente em todo o tempo geológico. A Terra é o único planeta no qual a água existe na superfície em estado líquido, o que permite a existência de vida. Há evidência de oceanos na superfície da Terra desde há pelo menos 4300 Ma, ainda nos primórdios de sua evolução, e o fato notável é que durante todo o tempo geológico a superfície do planeta manteve-se sempre dentro da janela de temperatura da água líquida, o que permitiu a continuidade da vida.

2 – Tectônica de placas e a crosta oceânica

A Terra, cujo diâmetro atinge 6400 km, possui um *núcleo metálico* interno e um *manto silicático* que o recobre. A crosta terrestre é a camada superficial de pequena espessura, da ordem de 40 km, que provém do processo de diferenciação do manto no tempo geológico. Há dois tipos de crosta: a *crosta continental*, que forma as terras emersas dos continentes, e a *crosta oceânica*, que constitui os fundos dos oceanos. A crosta continental possui rochas muito diferenciadas, com idades diferentes, desde cerca de 4000 Ma, e sua constituição média é granítica. Por outro lado, as rochas da crosta oceânica são muito mais jovens, não passando de 200 Ma, e sua constituição é basáltica. O contraste em idade é impressionante, e a conclusão principal que disso deriva é que a crosta continental, à medida que vai sendo formada, torna-se permanente, enquanto que a crosta oceânica, à medida que vai sendo formada, retorna para o manto, sendo apenas efêmera e temporária na superfície da Terra.

A *tectônica de placas* é o motor que provoca a destruição contínua de crosta oceânica. O calor interno do planeta, que flui para a superfície para perder-se em seguida no espaço, ocasiona movimentos muito lentos no material do manto, as assim chamadas *correntes de convecção*. O fluxo quente ascendente produz fusão parcial do material do manto, já próximo da superfície, com a produção de magmas de composição basáltica, que

acabam emergindo e criando crosta oceânica nas regiões de afastamento entre placas tectônicas. Ao mesmo tempo, nas regiões de aproximação das placas tectônicas, a crosta oceânica, pela sua densidade maior em relação à crosta continental, é levada de volta para o manto. Em síntese, nos limites divergentes das placas tectônicas são formados os basaltos que vão constituir os novos fundos oceânicos. Por outro lado, nas zonas convergentes, os oceanos desaparecem, com a crosta oceânica sendo reciclada para o manto.

3 – Feições fisiográficas dos oceanos

A altitude média de continentes e a profundidade média dos fundos oceânicos são conseqüência da densidade contrastante das rochas graníticas dos continentes ($2,7 \text{ g/cm}^2$) em relação às rochas basálticas dos oceanos ($2,9 \text{ g/cm}^2$). Nas placas tectônicas que contêm oceanos em formação, como é o caso do Oceano Atlântico, o limite entre continente e oceano se dá ao longo de *marginens passivas*. Nestes casos, o perfil fisiográfico típico que caracteriza este tipo de margem, a partir do continente até o fundo oceânico, apresenta as feições seguintes:

- 1 – O interior do continente, com planaltos que dependem dos processos geomorfológicos regionais e que apresentam elevações médias de 840 metros em relação ao nível do mar.
- 2 – A plataforma continental, extensão do continente para dentro do domínio oceânico, a qual apresenta profundidades rasas, até cerca de 200 metros abaixo do nível do mar.
- 3 – O talude continental, já em pleno domínio oceânico, que apresenta declive bem maior em relação à plataforma, e desce desde cerca de 200 metros até as profundidades de alguns milhares de metros do fundo oceânico.
- 4 – O fundo oceânico, que possui profundidades médias da ordem de 3700 metros. O limite físico entre os dois tipos de crosta, continental e oceânica, situa-se justamente no início da região de fundo oceânico, na base do talude continental.

No espaço ocupado pelo Oceano Atlântico se dá a interação entre quatro placas tectônicas maiores (as duas Américas, a África e a Eurásia), além de duas outras menores (Caribe e Scotia). A sua estrutura tectônica mais impressionante é a Dorsal Médio-Atlântica, localizada propriamente no limite divergente entre as placas da América do Norte e da Eurásia (no Atlântico Norte) e entre as placas da América do Sul e da África (no Atlântico Sul). Ela compreende uma série de cordilheiras submarinas que se levantam a mais de 3000 metros sobre o fundo oceânico e se apresenta dividindo o oceano, de norte a sul, em duas partes simétricas. Ao longo dos cerca de dez mil quilômetros de comprimento da Dorsal Médio-Atlântica são registradas vários arquipélagos, sempre de caráter vulcânico e constituição essencialmente basáltica.

4 – Desenvolvimento inicial do Oceano Atlântico

A formação do Oceano Atlântico está relacionada com o fraturamento e dispersão da Pangea, o supercontinente que existia na superfície da Terra há cerca de 250 Ma, no assim chamado Período Permiano, e reunia todas as massas continentais. A dispersão da Pangea se iniciou por volta de 200 Ma, começando com grandes fraturas em sua parte setentrional, afastando a América do Norte da Europa e do NW da África. O Atlântico Sul formou-se mais tarde, por volta de 135 Ma, afastando a América do Sul do SE africano. Não há uma explicação clara para a localização específica das fraturas iniciais. Deve ter havido uma mudança radical no sistema de correntes de convecção no manto, aliada possivelmente a uma ação de fluxos quentes e ascendentes no interior do planeta, as chamadas *plumas mantélicas*, cuja origem se deve à existência de anomalias térmicas de profundidade. Nos dois casos, do Atlântico Norte e Sul, o início do fraturamento foi marcado por grandes eventos vulcânicos de natureza basáltica sobre os continentes ainda unidos. No primeiro caso trata-se de inúmeros corpos de rocha ligados à Província Magmática do Atlântico Central e no segundo a uma enorme manifestação vulcânica nas bacias sedimentares do Paraná, no Brasil, e Etendeka, na África.

Margens passivas formaram-se nos continentes voltados para o Atlântico, com a formação de muitas bacias sedimentares nas áreas continentais afetadas e afundadas pelo fraturamento. O desenvolvimento de todas essas bacias nas plataformas e taludes continentais recém-criados guarda semelhanças significativas. Primeiramente, no início do rompimento, em ambientes ainda continentais, o fraturamento se caracteriza por vales de afundamento, chamados *riftes*. Mais tarde, com o afastamento apenas inicial dos continentes, o ambiente de sedimentação é de águas rasas com muita evaporação. Finalmente, com o oceano aberto, as margens continentais interagem com ambientes marinhos mais profundos.

Com o avanço da separação entre os continentes, crosta oceânica é criada entre eles, preenchendo paulatinamente o espaço resultante, em episódios vulcânicos sucessivos de adição de material basáltico. Por este processo, a crosta oceânica apresenta idades cada vez mais novas, a partir das margens continentais até as regiões da dorsal. Olhando os mapas de anomalias magnéticas que ocorrem no Atlântico, que se dispõem paralelas à dorsal e se apresentam de modo simétrico dos dois lados desta, é possível verificar a evolução do mecanismo de formação do fundo oceânico, o “*sea floor spreading*”, característico da tectônica de placas. As mencionadas anomalias referem-se à magnetização adquirida pelas rochas basálticas na época de sua formação, que registram as diversas reversões de polaridade do campo magnético terrestre, as quais ocorrem em média a cada milhão de anos.

5 – Processos vulcânicos e ilhas oceânicas

A maior das ilhas situadas ao longo da Dorsal Médio-Atlântica é a Islândia, onde o processo de extensão que caracteriza a divergência entre placas tectônicas diferentes pode ser observado diretamente: as grandes fissuras que cortam a ilha de NE para SW marcam os locais em que se dá a separação entre as placas da América e da Eurásia, no Atlântico Norte. Na Islândia, a formação de crosta oceânica nova é registrada através das erupções vulcânicas modernas, com o extravasamento de lavas ao longo das fissuras da crosta. O processo é contínuo e não deixa de apresentar grandes riscos para a população existente. Outras ilhas com processos vulcânicos modernos, ou conhecidos de tempos históricos, ocorrem ao longo da cordilheira, como é o caso dos Açores, Ascensão, Tristão da Cunha e Bouvet. Todas elas estão vinculadas ao mesmo processo de extensão que ocorre nesse limite divergente entre placas, em que a crosta oceânica do Atlântico continua em formação. No Atlântico Norte, a América do Norte afasta-se da Eurásia com velocidade da ordem de 2-3 cm/ano, enquanto que no Atlântico Sul, a América do Sul se afasta da África com velocidade da ordem de 4-5 cm/ano. Se hoje em dia estão sendo formadas as rochas basálticas da dorsal, o fundo oceânico mais antigo, no Atlântico Norte, possui cerca de 200 Ma, e aquele do Atlântico Sul não passa de 130 Ma.

Afastadas da dorsal, manifestações vulcânicas modernas também ocorrem, sempre com produtos do tipo basáltico, como resultado do movimento vertical de *plumas mantélicas* que afloram na superfície do planeta diretamente sobre fundo oceânico, ou em regiões de *plateaus oceânicos*. Em muitos casos correspondem a montes submarinos, mas por vezes emergem formando ilhas. Os principais exemplos são os arquipélagos das Bermudas, Madeira, Canárias e Cabo Verde no Hemisfério Norte, bem como Fernando de Noronha, Santa Helena, Trindade e Martin Vaz no Hemisfério Sul. Como exceção, os rochedos de São Pedro e São Paulo são um tipo muito especial de formações rochosas emersas, que representam o próprio manto sub-crustal, ao longo de uma enorme zona de fratura que afeta o fundo oceânico do Atlântico Equatorial.

O traço de algumas plumas que tiveram longa duração, da ordem de muitas dezenas de milhões de anos, pode ser revelado devido ao movimento horizontal das placas tectônicas, tangencial à superfície do planeta. Com efeito, o caminho dessas placas é marcado por produtos vulcânicos sucessivos, de idade cada vez mais jovem do continente em direção à dorsal. É o caso de duas das plumas que podem ter sido indutoras do fraturamento inicial, as da Islândia e de Tristão da Cunha, que hoje se situam sobre a dorsal na qualidade de ilhas vulcânicas. A maior delas, a da Islândia, deixou rastros de onde teria se iniciado, na Escócia e na Groenlândia. A de Tristão da Cunha, se for confirmada como pluma, pode ter sido importante na geração das grandes manifestações vulcânicas do Paraná e Etendeka. As ilhas brasileiras de Fernando de Noronha e Trindade também parecem ser oriundas da ação de plumas mantélicas. Fernando de Noronha está na extremidade de uma elevação oceânica que se inicia perto de Fortaleza, Ce, e inclui vários montes submarinos, um dos quais é coroado pelo Atol das Rocas. Trindade, por sua vez, faz parte de outra elevação oceânica, que se inicia na altura de Vitória, ES.

6 – Sedimentação nas bacias marginais e potencial petrolífero

A evolução da sedimentação nas plataformas continentais e nos taludes que fazem parte das margens passivas dos continentes que rodeiam o Oceano Atlântico tem grande importância na exploração de combustíveis fósseis, petróleo e gás. É o caso do Mar do Norte, na parte setentrional da Europa, da plataforma continental da América do Norte, e em especial do Golfo do México, bem como das inúmeras bacias sedimentares existentes nas margens continentais da África e da América do Sul. Levando em conta o período de formação e evolução tectônica inicial do Oceano Atlântico, organismos marinhos acumularam-se em certos sedimentos favoráveis ainda na Era Mesozóica, durante a fase de *rifte*. Estes sedimentos foram cobertos por depósitos de sal quando os continentes ainda não estavam separados por distâncias maiores e posteriormente, sobre o material salino, depositaram-se alguns milhares de metros de sedimentos marinhos. Em seguida, quando a matéria orgânica transformou-se em petróleo e gás, esse material migrou das *rochas geradoras* para os sedimentos porosos das *rochas reservatório* e acumulou-se naquelas circunstâncias especiais em que camadas selantes, impermeáveis, impediam a fuga dos fluidos. As camadas de sal são excelentes selantes, de modo que muitas estruturas salinas foram favoráveis ao acúmulo de combustíveis fósseis. É o caso do Golfo do México, em que jazidas petrolíferas importantes estão sendo exploradas há muitos anos, ou da Bacia de Santos na plataforma continental brasileira, onde foram feitas recentemente descobertas relevantes de jazidas petrolíferas, no que se convencionou denominar de “*pré-sal*”.

7 – O oceano e o clima atual

Em primeiro lugar, é conhecido o papel de extrema importância dos oceanos no controle do clima e como elemento regulador do *balanço hídrico global* e dos ciclos biogeoquímicos, como o do carbono. No caso do balanço hídrico, é a partir deles que se dá a introdução de vapor de água na atmosfera em consequência da evaporação contínua provocada pela energia solar. Em seguida, a circulação atmosférica providencia a transferência dessa água para as regiões continentais, através de nuvens e de precipitação meteórica, provendo as águas doces que alimentam os reservatórios necessários aos seres vivos que habitam os continentes e particularmente às atividades humanas.

Em segundo lugar, os oceanos também são essenciais para o estabelecimento de *ótimos climáticos* nas regiões próximas do litoral, em contraste com os *extremos climáticos* do interior dos continentes. No caso do Oceano Atlântico, a circulação superficial relacionada com os *giros intertropicais*, especificamente no caso das correntes do Brasil e da Flórida, regula e mitiga as temperaturas ao longo das costas das duas Américas.

Em terceiro lugar, a circulação atmosférica, atuando ao lado das correntes oceânicas superficiais aquecidas em baixas latitudes, em todos os oceanos, consegue

proporcionar uma importante transferência de calor para regiões de alta latitude, mitigando os climas frios. No caso do Atlântico, tendo em vista as peculiaridades das formas geográficas dos continentes no Hemisfério Norte, a Corrente do Golfo favorece uma distribuição de calor que lhe permite amenizar a temperatura das ilhas britânicas e da Escandinávia, que sem a sua ajuda poderiam sofrer frios intensos.

Concluindo, os três pontos comentados acima, entre outros, deixam claro os importantes benefícios que os oceanos em geral proporcionam aos seres vivos que habitam as suas margens. O Oceano Atlântico não é exceção, e não é por acaso que muitas das populações banhadas por ele estão entre as que possuem os maiores índices de desenvolvimento humano do planeta.