



**Universidade Federal Fluminense**

*ABILIO SOARES GOMES*

## **ORIGEM DOS OCEANOS**

Uma das perguntas mais persistentes da humanidade é sobre as origens do homem e do universo, tendo originado tantas cosmogonias quantas civilizações existentes.

Para os povos que colonizaram o litoral e para aquelas pessoas que tiveram alguma experiência com os oceanos, duas outras perguntas devem ter surgido em algum momento: 1) Por que o mar é salgado? 2) Qual a origem da água dos oceanos? A essas perguntas intuitivas, soma-se uma terceira: 3) Como se formaram as bacias oceânicas que hoje se encontram preenchidas por água salgada?

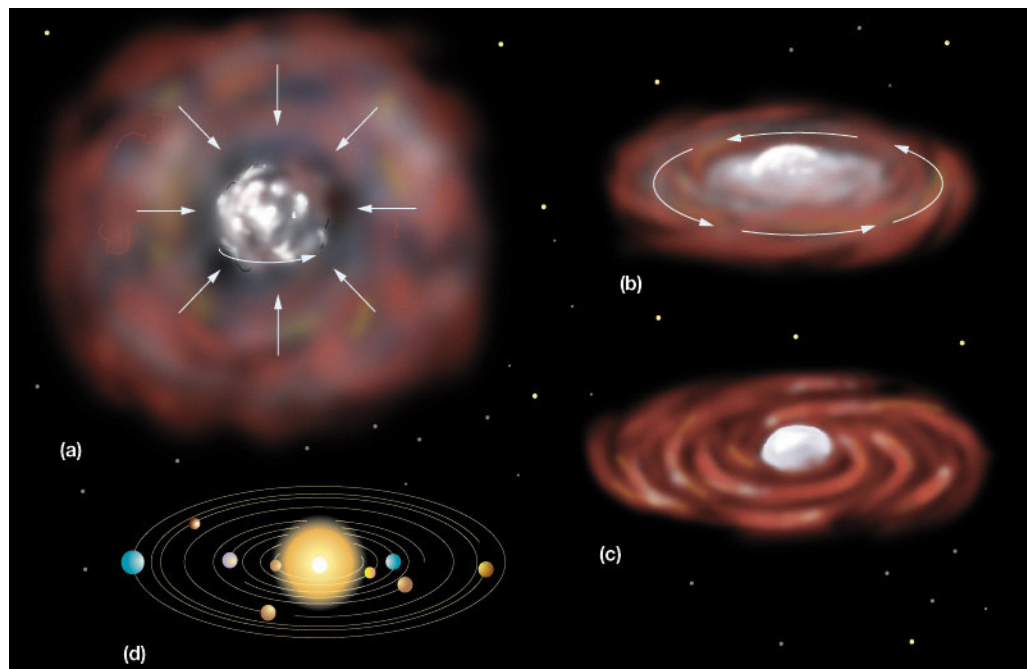
Dado que a idade da Terra é de cerca de 4,6 bilhões de anos e que os oceanos foram formados muito precocemente nesta história geológica, essas perguntas só podem ser respondidas de forma parcial e especulativa.

De acordo com a teoria do *Big Bang*, no início do universo toda a matéria estava concentrada em um único ponto, extremamente denso, unida por forças gravitacionais. Há 20 bilhões de anos atrás essa massa única se expandiu numa grande explosão - o *Big Bang* - e reações nucleares produziram todo o hidrogênio e o hélio existente atualmente, porém, nenhum dos elementos pesados.

Muitos dos outros elementos encontrados na Terra foram produzidos por nucleossíntese nas estrelas que se formaram após a *Big Bang*, processo esse que continua a ocorrer nos dias de hoje. A maioria das estrelas queima hidrogênio e produz hélio e uma grande quantidade de energia (4 átomos de hidrogênio sofrem fusão e formam um de hélio). Uma estrela colapsa após queimar todo seu hidrogênio. Após colapsar, a estrela pode queimar hélio e produzir carbono e oxigênio. Estrelas com massa elevada, denominadas gigantes vermelhas, passam por este ciclo, queimando e colapsando várias vezes, produzindo carbono, neônio, oxigênio e, finalmente, magnésio e

elementos pesados. Por último, o ferro também é produzido. Elementos mais pesados que o ferro são formados nas supernovas, que é a explosão de grandes estrelas após a queima de todo hidrogênio. Nesta explosão, a maior parte da matéria da estrela é expelida para o espaço, produzindo nêutrons. Esses nêutrons colidem com elementos estelares e produzem elementos pesados que também são expelidos para o espaço devido à explosão da supernova.

Os elementos formados por nucleossíntese nas gigantes vermelhas e durante as supernovas formam parte da poeira interestelar. O sol, a Terra e os outros planetas foram formados a partir da poeira interestelar à cerca de 4,6 bilhões de anos atrás. Uma nuvem de poeira interestelar tornou-se progressivamente mais densa, devido à força gravitacional entre as partículas, tendo, finalmente, se tornado densa o suficiente para que colisões produzissem corpos maiores, denominados planetesimais, e finalmente o sol e os planetas (Figura 1).



**Figura 1: Representação da origem do sistema solar. (a) atração da poeira estelar por forças gravitacionais; (b) adensamento da nuvem e colisão entre partículas; (c) formação de corpos maiores; (d) formação do sistema solar.**

Quando da formação da Terra, os elementos foram segregados de acordo com suas densidades, tendo ocorrido uma subida do material mais

leve - os gases, que formaram a proto-atmosfera terrestre. A composição dos gases atmosféricos deve ter sido muito semelhante à dos gases expelidos atualmente pelos vulcões e gêiseres, dentre os quais inclui-se o vapor d'água. Inicialmente a temperatura atmosférica era muito elevada, mas à medida que a Terra foi esfriando, a grande massa de vapor d'água presente na atmosfera se condensou e precipitou na superfície do planeta, preenchendo as bacias oceânicas, há cerca de 4 bilhões de anos, logo após a solidificação da crosta. As rochas mais antigas que se tem conhecimento foram datadas de 3,8 bilhões de anos. Elementos voláteis, como o vapor d'água, também foram introduzidos no planeta, trazidos por cometas que penetraram na atmosfera terrestre.

Dentre os gases que escaparam para a atmosfera e que continuam a ser expelidos por vulcões encontram-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o ácido hidroclorídrico ( $\text{HCl}$ ), este último sendo a fonte de cloro para a água do mar. Deste modo, logo nos primórdios dos oceanos, a água acumulada nas bacias oceânicas sofreu um processo de salinização, que foi incrementado a medida que a erosão dos continentes forneceu mais elementos dissolvidos para a solução.

Existem algumas evidências que a composição da água do mar tem se mantido constante há bilhões de anos devido ao balanço entre a entrada de sais, principalmente via rios e fontes hidrotermais, e a saída, principalmente via sedimentação e formação de depósitos de sais. Apesar disso, análises recentes realizadas com gotículas de água do mar de épocas passadas, conservadas no interior de cristais de sal, constataram mudanças na concentração de componentes químicos dissolvidos nas águas dos oceanos ao longo das últimas centenas de milhões de anos. Este fato pode derrubar a teoria vigente de que a composição química dos oceanos permaneceu inalterada nos últimos dois bilhões de anos. Neste sentido, pesquisas científicas ainda estão sendo conduzidas a fim de solucionar esta questão.

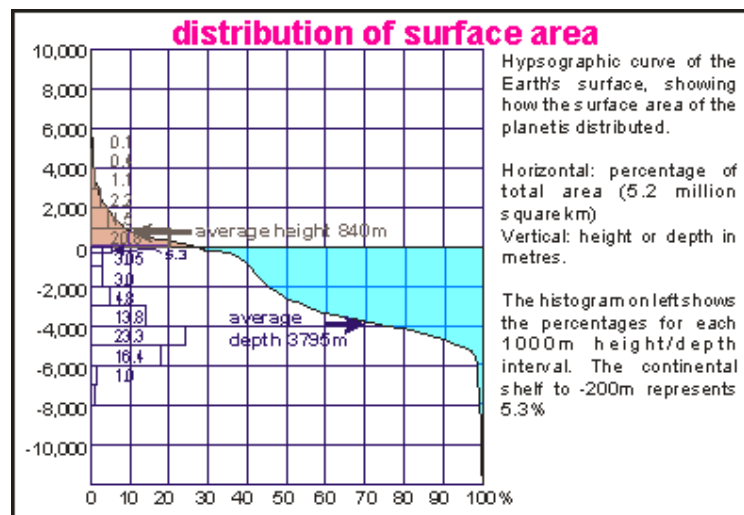
Como visto, os oceanos já nasceram salgados, apesar de mais sais terem sido adicionados gradualmente, à medida que a crosta formada foi sendo intemperizada. A composição química do oceano recém-formado era, provavelmente, semelhante a atual, exceto por mudanças causadas pela atividade biológica que tiveram início com a origem da vida há cerca de 3,5

bilhões de anos. A produção fotossintética aumentou em muito a concentração de oxigênio na atmosfera e na hidrosfera e a precipitação biológica de carbonatos levou a uma redução do dióxido de carbono atmosférico, ao mesmo tempo em que aumentou a concentração de carbono nos sedimentos marinhos.

O balanço de sais dos oceanos, que mantém a salinidade constante, é um processo ainda não completamente compreendido. O total de sais dissolvidos nos oceanos é de 55 trilhões de toneladas. Considerando que os sais vem sendo adicionados na água do mar nos últimos 3,5 bilhões de anos, a uma média anual de 2,7 bilhões de anos (cerca de 0,000005% do total atual), essa é a quantidade que deve estar sendo removida pela formação de depósitos de evaporitos, sedimentação de sais adsorvidos a argilas e componentes inorgânicos, remoção por reações químicas em fontes hidrotermais, sedimentação de partículas orgânicas e soterramento de recifes biológicos por atividade tectônica.

### Formação das bacias oceânicas

O diagrama abaixo nos dá uma idéia da forma geral de uma bacia oceânica. Só uma parte muito pequena ultrapassa 6.000m de profundidade e as depressões abissais (+10.000m prof.) são dificilmente visíveis aqui. As porções mais importantes são quase invisíveis neste diagrama: a terra até 500m onde a maioria das pessoas vive e o mar até 200m, onde a maioria da produtividade do oceano é encontrada. Dessa pequena área (c.a. 17%), toda a população mundial obtém seu sustento.



Segundo cientistas, a formação da crosta terrestre ocorreu devido ao resfriamento do material líquido existente, permitindo que partículas de diferentes composições químicas migrassem de forma diferenciada para a superfície ou para o núcleo da Terra.

Neste sentido, levantou-se a questão à cerca da natureza diferenciada dos solos oceânicos e continentais. Evidências demonstravam que as montanhas oceânicas em nada se pareciam com os dobramentos que formavam os Alpes, por exemplo.

Efetivamente, a crosta oceânica e a crosta continental apresentam diferenças entre si. A primeira ocorre sob os oceanos, é menos espessa e é formada por extravasamentos vulcânicos ao longo de imensas faixas no meio dos oceanos (as cadeias meso-oceânicas), que geram rochas basálticas. A segunda é mais espessa, pode emergir até alguns milhares de metros acima do nível do mar, e é formada por vários processos geológicos, tendo uma composição química média mais rica em Si e em Al que as rochas basálticas, que pode ser chamada de composição granítica.

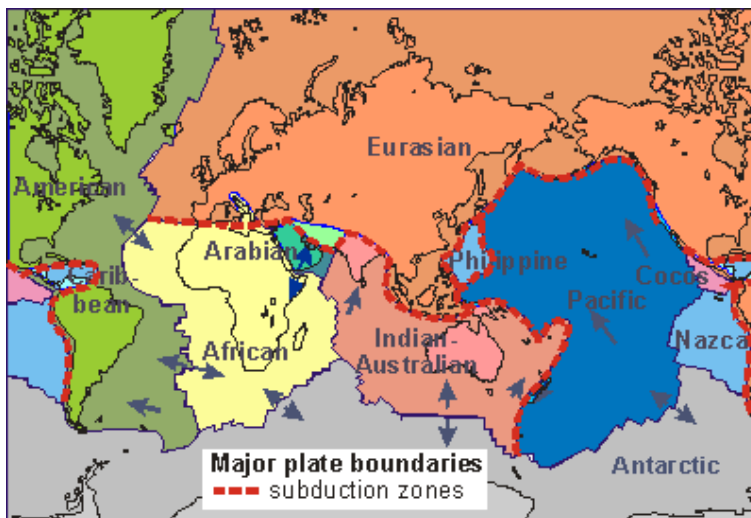
Estudos demonstraram que as montanhas submarinas formavam um sistema global de cerca de 65000km de comprimento. Isto ajudou a interpretar o sistema de cordilheiras e fendas abissais, estabelecendo o conceito de "Expansão do Assolho Oceânico". A flutuação continental se tornou uma teoria aceita somente na década de 40. Desde então, cientistas buscam por evidências capazes de elucidar como tal flutuação verdadeiramente ocorre.

A crosta oceânica e continental, junto com uma parte superior do manto, forma uma camada rígida com 100 a 350km de espessura. Esta camada chama-se Litosfera e constitui as placas tectônicas, que formam, na superfície do globo, um mosaico de placas encaixadas entre si como um gigantesco quebra-cabeças; são as placas tectônicas ou placas litosféricas. Abaixo da litosfera, ocorre a Astenosfera, que é parte do manto superior; suas condições de temperatura e pressão permitem uma certa mobilidade, muito lenta, mas sensível numa escala de tempo muito grande, como é a escala do tempo geológico. A velocidade de movimento da placa (3-15 mm/ano) é semelhante à velocidade de crescimento de uma unha, mas tal velocidade pode sofrer variação em função do local de ocorrência.

O manto da Terra é formada por rochas com elevadas temperaturas, semi-líquidas, que circulam muito lentamente por via de correntes de convecção. O movimento de ascensão destas correntes provoca atividade vulcânica, emitindo lavas que solidificam imediatamente, promovendo, neste local, a expansão da crosta oceânica.

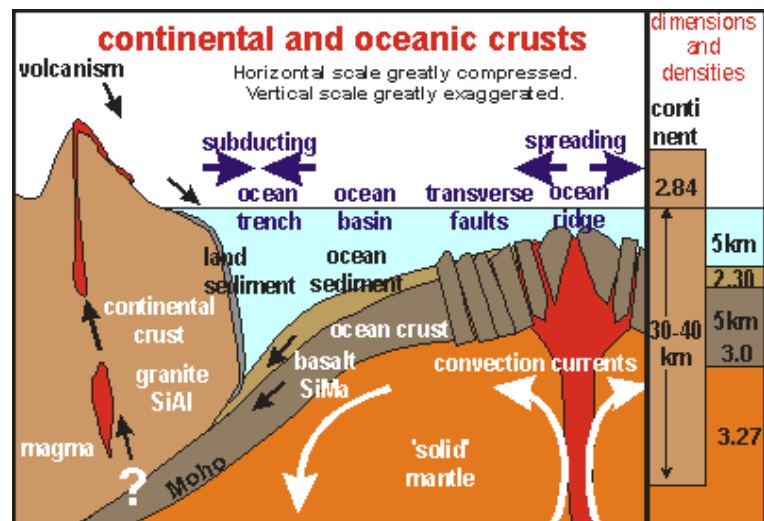
No meio dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico existem cordilheiras submarinas, que se elevam a até cerca de 4.000m acima do assoalho oceânico. Estas cordilheiras, denominadas meso-oceânicas, são interrompidas transversalmente pelas falhas transformantes e sublinham imensas rupturas na crosta, ao longo das quais há extravasamentos periódicos de lava basáltica vinda das partes mais internas (astenosfera). O mesmo mecanismo que força a cordilheira a se abrir periodicamente (correntes de convecção divergentes) para que materiais mais novos possam se colocar ao longo das aberturas, formando e expandindo o domínio oceânico, em outros locais promove colisões de placas (correntes de convecção convergentes). Nestas colisões, a placa que contém crosta oceânica, mais pesada, entra sob a placa continental, que se enrugua e deforma (processos incluídos no metamorfismo), gerando as grandes cadeias continentais (Andes, Montanhas Rochosas). A placa que afundou acaba por se fundir parcialmente ao atingir as grandes temperaturas internas (zona de subducção), gerando magma passível de subir na crosta formando rochas ígneas intrusivas ou extrusivas. Desta forma, a crosta oceânica é renovada, sendo gerada nas cadeias meso-oceânicas e reabsorvida nas zonas de colisões entre as placas, onde ocorre subducção. Assim, oceanos são formados pela divisão de continentes. Por exemplo, há 180 milhões de anos, um grande continente chamado Gondwana dividiu-se, formando a África, a América do Sul e o oceano Atlântico.

Outros oceanos podem ser fechados por movimentos convergentes das placas (por exemplo, o Mar Mediterrâneo está sendo fechado pela aproximação entre a África e a Europa). Os limites entre as placas podem ser divergentes, onde elas separam-se, criando fundo oceânico, ou convergentes, onde elas colidem, formando cadeias montanhosas continentais ou fechando oceanos.



O mapa mostra as placas tectônicas relativas ao posicionamento dos continentes. As linhas pontilhadas em vermelho são cadeias montanhosas e faixas marginais com atividade vulcânica. Nestes locais ocorre a colisão das placas, provocando o lançamento de lava e elevando o relevo. Este fato provoca também, em contraste, o

O diagrama mostra como a crosta oceânica é continuamente formada nas áreas onde o solo oceânico está se expandindo, enquanto a milhares de quilômetros adiante, uma outra porção da crosta é “absorvida” pelo manto.



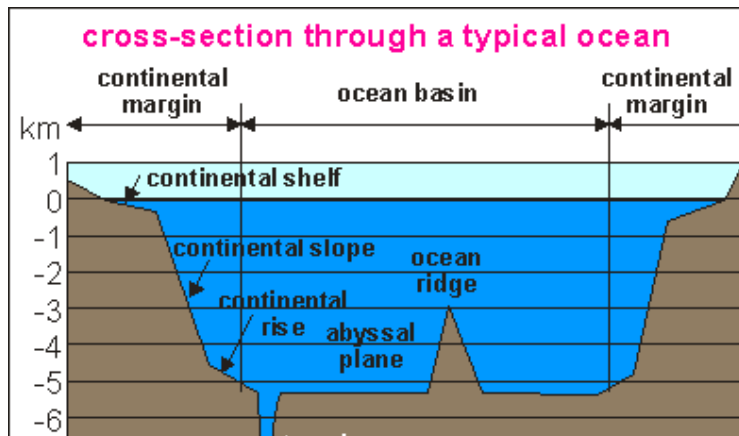
A crosta continental, formada antes dos oceanos, é composta por granito, rochas formadas por silício e alumínio (SiAl) e possui cerca de 30 à 40 Km de espessura. Apresenta densidade menor que a densidade do manto. A crosta oceânica possui cerca de 11 Km de espessura, rochas formadas por silício e magnésio (SiMa) e é mais rígida que a crosta continental, porém mais leve que o manto, sobre o qual flutua em equilíbrio.

O sedimento oceânico também é formado com o desgaste e a erosão sofrida pelas rochas. Partículas leves, como silte e argila, provenientes da superfície terrestre, bem como esqueletos calcários de organismos marinhos e alguns metais, como manganês, freqüentemente são depositados no fundo



dos oceanos, dando origem ao sedimento oceânico que, na realidade, é uma mistura de muitos destes constituintes.

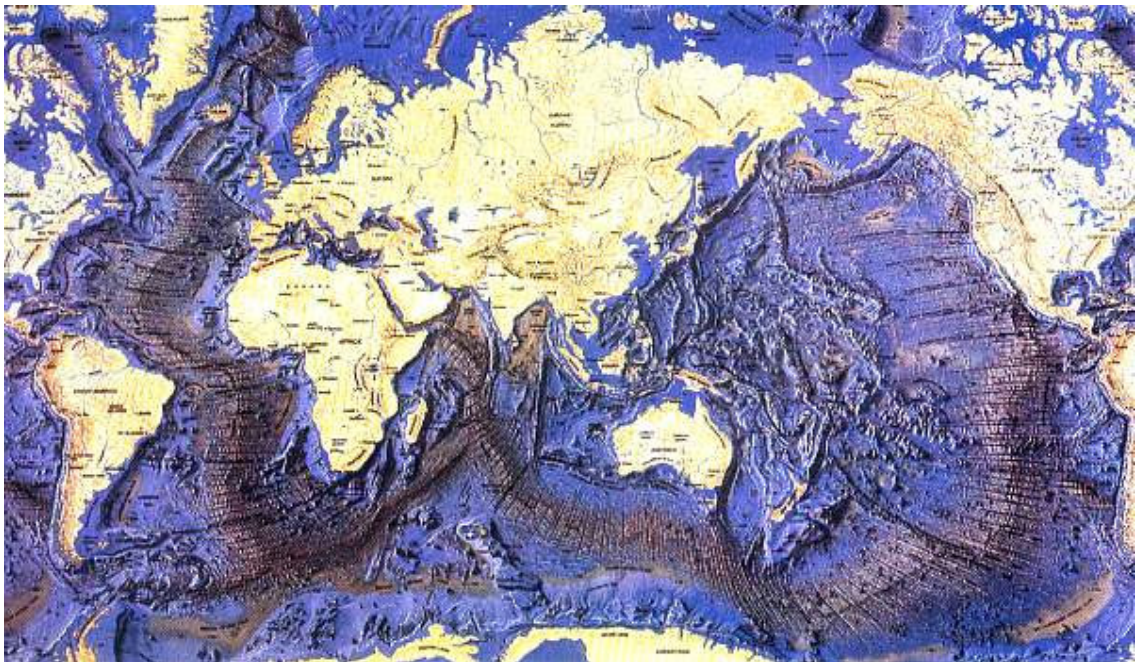
### Características de uma bacia oceânica



Escala vertical alterada para melhor ilustrar o formato de uma bacia oceânica.

No limiar entre o mar e a "terra", o continente inicia um declive gradual até cerca de 200 m de profundidade. Esta região é conhecida como plataforma continental. Por várias razões, esta é a região mais produtiva do oceano. A

a partir daí, a declividade do solo aumenta (talude continental), até tornar-se mais gradual novamente (elevação *continental*) e então atingir regiões mais profundas, denominadas regiões abissais (Gk a = sem; bussos = profundidade, abismo).



O piso oceânico, traçado por Bruce Heezen e Marie Tharp, logo após SEGUNDA GUERRA MUNDIAL. As zonas de propagação podem ser claramente discriminadas das zonas de subducção (e seus respectivos sulcos).



## **Referências Bibliográficas**

Baptista Neto et al., 2004. Introdução à Geologia Marinha. Ed. Interciência, Rio de Janeiro.

Thurman, H.V., 1994 – Introductory Oceanography. Macmillan Publ., New York.

The origin of the oceans. School of Fisheries and Ocean Science

<http://www.sfos.uaf.edu/msl111/notes/origin.html>