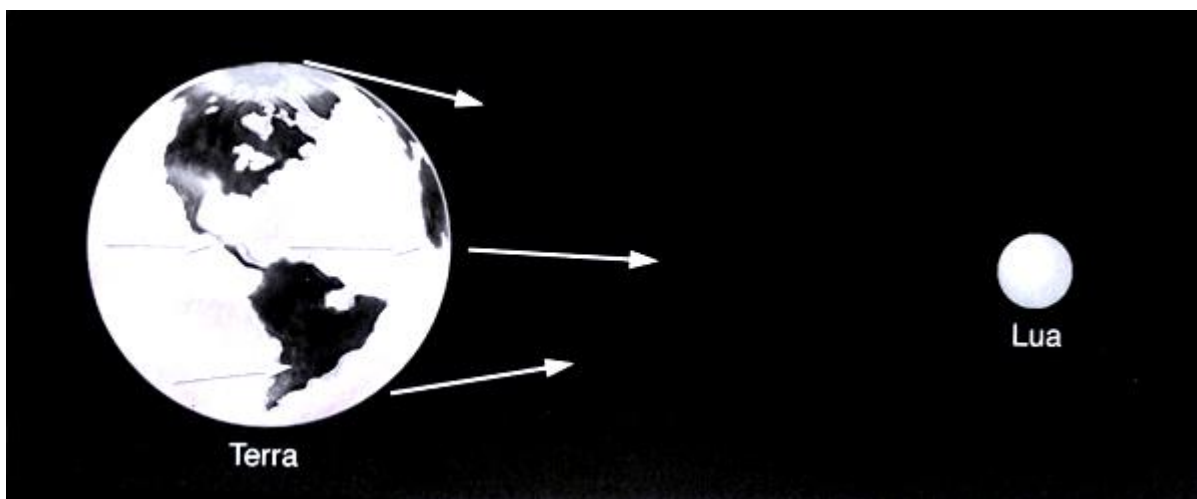


As marés oceânicas e a Lua

Desde a antiguidade conhece-se o fenômeno da subida e descida do nível de água dos oceanos, fenômeno este chamado de maré e que todos sabem estar associado a ação gravitacional da Lua.

Entretanto, a explicação das marés só seria conhecida a partir da formulação da lei da gravitação universal, descoberta pelo físico inglês Isaac Newton.

A atração gravitacional exercida pela Lua em diferentes pontos da Terra pode ser vista na figura abaixo.



Esta atração gravitacional difere ligeiramente de um ponto a outro devido ao fato da Terra não ser um ponto no espaço e sim um corpo com dimensão finita.

Conseqüentemente, nem todos os pontos da superfície da Terra estão a uma mesma distância da Lua, e nem mesmo exatamente em uma mesma direção.

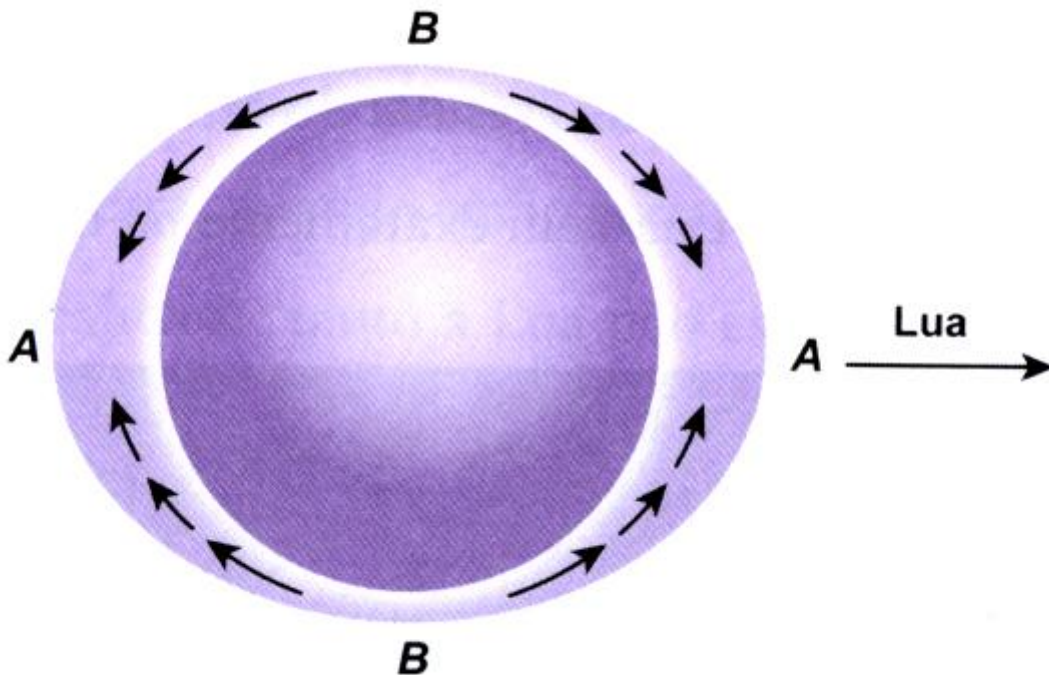
Além disso, a Terra não é um corpo perfeitamente rígido. Assim, a força de atração gravitacional exercida pela Lua em diferentes pontos da Terra, chamadas de forças diferenciais, provocam uma distorção na forma do nosso planeta.

A parte da Terra mais próxima da Lua será atraída por esta mais fortemente do que o centro da Terra o qual, por sua vez, será mais atraído do que o lado da Terra que está oposto à Lua. Assim, estas forças diferenciais tendem a distorcer a forma da Terra fazendo-a assumir a forma de um esferóide prolato, algo parecido com uma bola de futebol americano, com seu diâmetro maior apontando para a Lua.

Se a Terra fosse composta apenas de água ela seria distorcida até o ponto em que as forças diferenciais nas diversas partes de sua superfície atingissem um equilíbrio com as forças gravitacionais que mantêm a Terra unida. Cálculos mostram que neste caso a Terra teria uma distorção em relação à forma esférica de cerca de um metro.

Medidas mostram que, de fato, a Terra sofre uma distorção produzida pela ação gravitacional da Lua mas que esta é de 20cm no máximo. Isto é devido ao fato de que o interior da Terra é sólido.

Conseqüentemente, temos que as forças devido à atração da Terra não chegam a equilibrar aquelas devidas à atração diferencial da Lua. Assim, objetos situados na superfície da Terra sofrem pequenos "puxões", denominados forças de maré, que os fazem deslizar. Estas forças de maré não afetam os objetos sólidos existentes na Terra, mas somente a água dos oceanos como pode ser visto esquematicamente na figura abaixo.



As forças de maré, atuando ao longo de várias horas, produzem um movimento mensurável nos oceanos. A água no lado da Terra que está voltado para a Lua é puxada na direção desta. Isto faz com que o nível do oceano aumente neste ponto.

No lado oposto à Lua a água também flui aumentando, de forma equivalente, o seu nível.

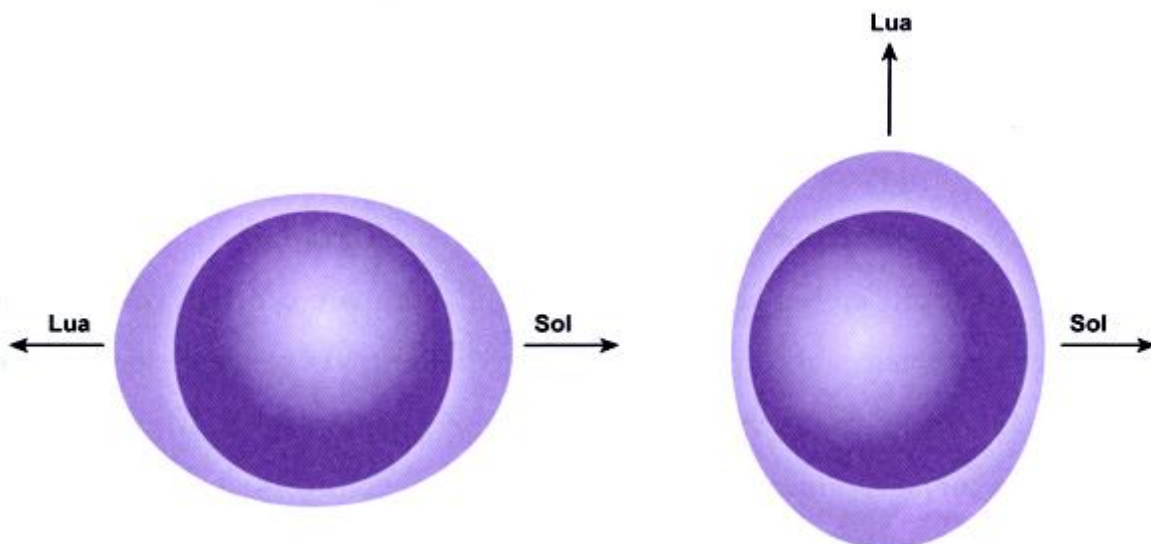
É importante notar que o aumento do nível do oceano não se deve à Lua comprimir ou expandir a água nem tampouco à Lua "levantar" a água do fundo do oceano. Na verdade, o aumento do nível do mar é resultado do fluxo de água sobre a superfície da Terra provocando o aumento do volume de água em certos pontos.

Pelo modelo idealizado (e muito simplificado!) apenas descrito as marés teriam uma altura de cerca de meio metro. A rotação da Terra levaria então um observador colocado num ponto qualquer da superfície oceânica, alternadamente a regiões de águas mais rasas e mais profundas.

Assim, ao longo de um dia, este observador seria levado através de duas regiões de maré alta e duas de maré baixa.

O Sol também produz marés na Terra, embora com menos eficiência do que a Lua. Isto é devido ao fato de que a força de maré é proporcional à massa do corpo perturbador e ao inverso do CUBO da distância.

Na realidade as marés que observamos são a combinação dos efeitos da Lua e do Sol. Quando o Sol e a Lua estão alinhados, e isso ocorre quando temos Lua cheia ou Lua nova, as marés produzidas pelo Sol e pela Lua se somam sendo maiores que o normal. A figura abaixo mostra este fenômeno.



Quando a Lua está nas fases quarto crescente ou quarto minguante, as marés produzidas pelo Sol praticamente se cancelam com as produzidas pela Lua, resultando em marés menores do que o normal.

O modelo muito simples descrito acima seria aceitável se a Terra girasse muito lentamente e fosse completamente recoberta por oceanos de grande profundidade. Entretanto, a presença dos continentes, que freiam o fluxo das águas, a fricção com o fundo dos oceanos, a rotação da Terra, os ventos, a profundidade variável dos oceanos e outros fatores, complicam muito qualquer modelo que queira descrever o fenômeno das marés.

A fricção das águas sobre a crosta da Terra envolve uma enorme quantidade de energia. Ao longo de grandes períodos de tempo a fricção das marés reduz a rotação da Terra. Nossos dias se tornam mais longos em cerca de 0,002 segundos a cada século. Entretanto, na medida que a rotação da Terra diminui, o momento angular do sistema Terra-Lua deve permanecer constante. Isto faz com que a Lua se afaste da Terra e com que gire em torno desta cada vez mais lentamente. Deste modo o mês está se tornando cada vez mais longo.

Estes efeitos somados levarão à situação tal que, daqui a bilhões de anos, tanto o dia terrestre quanto o período de rotação da Lua serão iguais. Neste momento a Lua permanecerá num ponto fixo do céu e não haverá mais marés.

Até agora falamos dos efeitos que a presença da Lua e a rotação da Terra causam na superfície terrestre. Mas, qual é o efeito que a Terra exerce sobre a Lua?

Pela terceira lei de Newton a cada força corresponde uma outra igual e com sentido oposto. Deste modo, podemos imediatamente questionar por que razão não vemos marés na Lua.

A resposta é muito simples. Como a Lua é menor do que a Terra os efeitos de maré já levaram o sistema a se ajustar numa configuração de mínima dissipação de energia, ou seja, uma rotação síncrona. Isto significa que a Lua gira em torno de seu eixo exatamente no mesmo intervalo de tempo em que completa uma volta em torno da Terra. Nesta configuração as marés na Lua, produzidas pela Terra, ocorrem sempre no mesmo ponto não gerando atrito nem perda de energia. Logo, o fato de sempre observarmos a mesma face da Lua se deve exatamente a este ajuste do sistema Terra-Lua.

Para finalizar é bom ressaltar que as forças de maré ocorrem em todos os sistemas em que temos um corpo muito próximo a outro e que, dependendo do sistema, resultam em efeitos diferentes.

No caso de Mercúrio, por exemplo, as forças de maré em conjunção com a excentricidade de sua órbita, levaram a uma configuração em que sua rotação em torno de seu eixo tem um período de exatamente $2/3$ de seu período de revolução em torno do Sol. No caso de Io, satélite de Júpiter, as forças de maré, em conjunção com as perturbações produzidas pela atração gravitacional gerada pelos outros satélites do sistema jupiteriano, são responsáveis pelo vulcanismo presente nele. Neste caso, o atrito causado pela distorção de um corpo rígido leva ao aquecimento das camadas inferiores e ao surgimento de uma intensa atividade vulcânica.

