



*Universidade Federal Fluminense*

*Departamento de Biologia Marinha*

## Propriedades Físico-Químicas da Água



**Abílio Soares Gomes & Etiene Clavico**

**2005**

A água cobre mais de 70% da superfície terrestre e é vital para toda a vida no planeta. É a substância mais abundante da natureza, ocorrendo nos rios, lagos, oceanos, mares e nas calotas polares. Dentre os diversos reservatórios, mais de 99 % correspondem aos oceanos, às geleiras e à umidade dos solos e do ar.

O total de água doce no nosso planeta, corresponde a  $40 \times 10^{15}$  de litros, ou seja 3% de toda água da Terra, (os 97% restantes são de água salgada), onde 2% fazem parte da calota glacial, esta não disponível na forma líquida. Portanto, verdadeiramente apenas 1% do total de água do planeta é de água doce na forma líquida, incluindo-se as águas dos rios, dos lagos e as subterrâneas. Estima-se que apenas 0,02 % deste total corresponda à disponibilidade efetiva de água doce com a qual pode a humanidade contar, em termos médios e globais, para sustentar-se e atender às necessidades ambientais das outras formas de vida, das quais não pode prescindir. Dos 1% da água doce líquida disponível no planeta, 10% esta localizada em território brasileiro.

A água é considerada a mais abundante das substâncias encontradas na crosta terrestre. Nosso planeta possui um suprimento abundante de água calculado em cerca de 1392 milhões de quilômetros cúbicos de água líquida. Calcula-se que cerca de 71% da superfície da Terra encontra-se coberta de água e, deste total, 97% são águas oceânicas.

A água é tão importante, que os gregos antigos consideravam-na como sendo um dos elementos fundamentais da matéria. Aristóteles considerava a água como um dos quatro elementos fundamentais. Por mais de 2000 anos ainda pensou-se que a água era um elemento; somente no século XVIII experimentos evidenciaram que a água era um composto, formado por hidrogênio e oxigênio.

## A polaridade da água

A água tem uma estrutura molecular simples. Ela é composta de um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio. Cada átomo de hidrogênio liga-se covalentemente ao átomo de oxigênio, compartilhando com ele um par de elétrons. O oxigênio também tem um par de elétrons não compartilhados. Assim, há 4 pares de elétrons em torno do átomo de oxigênio, dois deles envolvidos nas ligações covalentes com o hidrogênio e dois pares não-compartilhados no outro lado do átomo de oxigênio.

A água é uma molécula "polar", o que quer dizer que ela tem uma distribuição desigual da densidade de elétrons. A água tem uma carga negativa parcial ( $\delta^-$ ) junto ao átomo de oxigênio por causa dos pares de elétrons não-compartilhados, e tem cargas positivas parciais ( $\delta^+$ ) junto aos átomos de hidrogênio.

A atração eletrostática entre as cargas positivas parciais dos átomos de hidrogênio e a carga negativa parcial do átomo de oxigênio resulta na formação de uma ligação denominada "ponte" de hidrogênio. Tais ligações permitem a união entre as moléculas de água. Sem as pontes de hidrogênio, a temperatura de ebulição da água poderia chegar a  $-80^\circ\text{C}$ , existindo na superfície terrestre somente na forma gasosa.

Compostos similares ocorrem na natureza sob a forma de gases, com temperaturas de fusão e ebulição bem abaixo de  $0^\circ\text{C}$ . A água é única porque ocorre nos três estados da matéria – sólido, líquido e gasoso – sob condições atmosféricas bastante restritas.

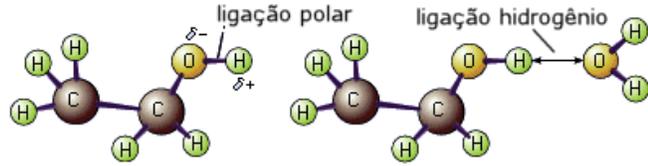
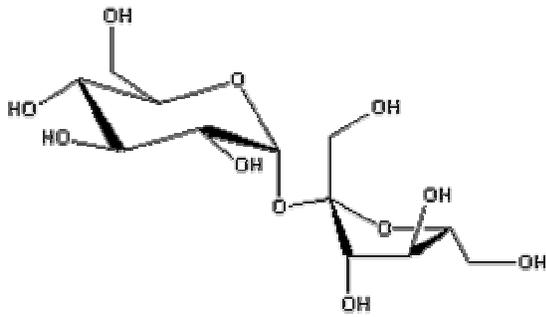


Várias propriedades peculiares da água são devidas às ligações de hidrogênio. A flutuação do gelo pode ser citada como exemplo, uma vez que tais ligações mantêm as moléculas de água mais afastadas no sólido do que no líquido, onde há uma ligação hidrogênio a menos por molécula. Também é devido às ligações de hidrogênio o elevado calor de vaporização, a forte tensão superficial, o alto calor específico e as propriedades solventes quase universais. Em função da natureza química de sua molécula, as propriedades físicas e químicas da água diferem muito das de qualquer outra substância, o que a caracteriza como constituinte fundamental da matéria viva e do meio que a condiciona.

## **Dissolução**

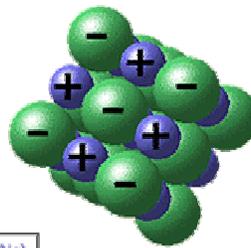
Uma das propriedades mais importantes da água líquida é a sua capacidade de dissolver substâncias polares ou iônicas para formar soluções aquosas. A interação entre as moléculas do solvente (água) e as do soluto são responsáveis pelo processo de solubilização: cada íon negativo, situado no interior de uma solução aquosa, atrai as extremidades positivas das moléculas de água vizinhas, o mesmo acontecendo com os íons positivos relativamente às extremidades negativas. Isso faz com que os íons fiquem como que recobertos por uma camada de moléculas de água solidamente ligadas a eles, o que confere grande estabilidade à solução. Nisso consiste o importante fenômeno da hidratação dos íons. A hidratação dos íons é que promove a "quebra" do retículo cristalino da substância iônica, ou seja, a dissolução: as forças existentes entre os cátions e ânions no sólido (ligação iônica) são substituídas por forças entre a água e os íons.

Muitos compostos não iônicos também são solúveis em água, como por exemplo, o etanol. Esta molécula contém uma ligação polar O-H tal como a água, que permite à molécula fazer ligações intermoleculares.



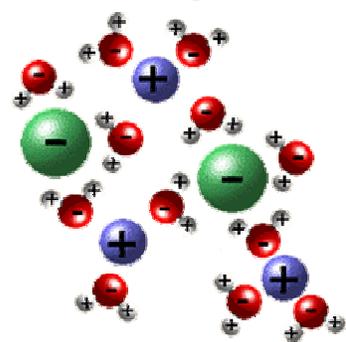
A água tem um forte poder de dissociação, i.e., pode separar o material dissolvido em íons carregados eletronicamente. Como conseqüência, o material dissolvido aumenta bastante a condutividade da água. A

Estrutura do cristal de NaCl



sódio (Na)  
cloro (Cl)

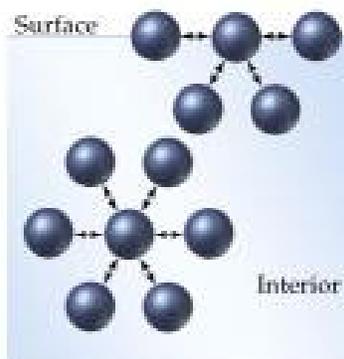
NaCl em água



condutividade da água pura é relativamente baixa, mas a da água do mar tem valores entre aqueles da água pura e do cobre. Em 20°C, a resistência da água do mar com um conteúdo de sal de 35 é maior que 1.3 km o que é grosseiramente equivalente à resistência da água pura sobre 1 mm.

## Tensão superficial

A tensão superficial é uma propriedade dos líquidos e ocorre devido às forças de atração que as moléculas internas do líquido exercem junto às da superfície. As moléculas situadas no interior de um líquido são



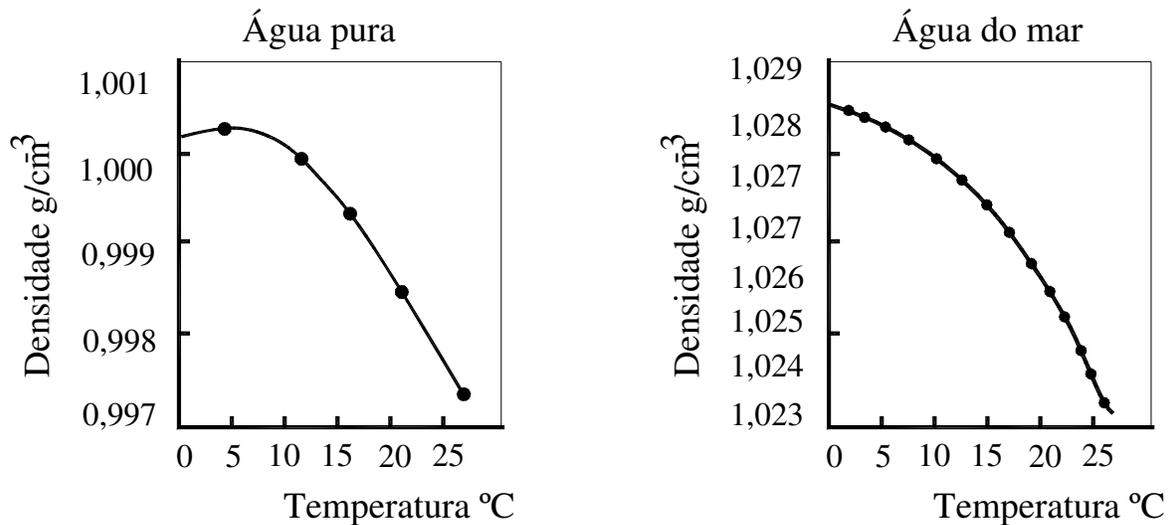
Georges I. Barnard

atraídas em todas as direções pelas moléculas vizinhas e, por isso, a resultante das forças que atuam sobre cada molécula é praticamente nula. As moléculas da superfície do líquido, entretanto, sofrem apenas atração lateral e inferior. Esta força para o lado e para baixo cria a tensão na superfície, que faz a mesma comportar-se como uma película elástica.

A tensão superficial é um fator fundamental para a sobrevivência de muitos organismos marinhos. Esta película superficial da água, resultante de sua tensão superficial é reconhecida como habitat de muitos organismos vivos. Tais organismos são conhecidos como Neuston e incluem bactérias, protozoários, ovos de peixes, copépodos, dentre outros.

## **Densidade**

A densidade de uma substância mede o grau de compactidade desta substância. E é definida pela razão entre a massa da substância e o seu volume. Os sólidos são, geralmente, mais compactos que os líquidos e os gases. Com o aumento da temperatura da substância, a sua densidade decresce, em geral. De fato, a água é a única substância que apresenta uma densidade maior quando se encontra no seu estado líquido. O seu valor máximo obtém-se a 4 °C. Esta particularidade da água pura deve-se às ligações de hidrogênio existentes entre as suas moléculas, que na fase sólida (gelo) formam uma estrutura ordenada, aberta e muito estável. Com baixas temperaturas, a água, na fase líquida, apresenta uma densidade mais alta que na fase



Como a densidade da água pura e da água do mar varia em relação temperatura. A água pura tem maior densidade à 4°C quando se encontra na fase líquida. Com um valor fixo da concentração do sal (salinidade = 35) a densidade decresce com o aumento da temperatura.

As variações de densidade, cujo máximo se encontra na temperatura de 4°C, explicam a formação do gelo na superfície dos lagos, não na parte submersa. As variações de densidade em função da temperatura explicam ainda, os movimentos de agitação das águas dos lagos durante as estações.

### Capacidade térmica da água (calor específico)

A capacidade térmica é definida pela quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1g (grama) de uma determinada substância, e a unidade de medida utilizada é a caloria. A capacidade térmica da água é bem elevada (1 cal/°C), quando comparada com a maioria das substâncias conhecidas (< 1 cal/°C). Em outras palavras, a água é capaz de adquirir ou perder muito mais calor que outras substâncias comuns, quando submetida à mesma temperatura.

Esta propriedade da água é sempre relacionada com a presença das pontes de hidrogênio. A energia térmica, considerada como medida de

movimentação molecular, é utilizada para quebrar as ligações intermoleculares, permitindo que as moléculas se movam mais rapidamente, fato que resulta mudança de estado físico das substâncias.

Porque a capacidade térmica da água é muito grande e considerando que 71 % da superfície do globo é coberta por água, pode-se concluir que a energia de origem solar causa, apenas, pequenas alterações na temperatura do planeta. Assim, os oceanos controlam o aquecimento ou o arrefecimento do planeta e proporcionam todas as condições fundamentais para tornar possível à vida na Terra. O calor é armazenado pelos oceanos durante o verão e é libertado de volta para a atmosfera no inverno. Assim, os oceanos moderam o clima através da redução das diferenças de temperatura entre as estações do ano.

### **Viscosidade**

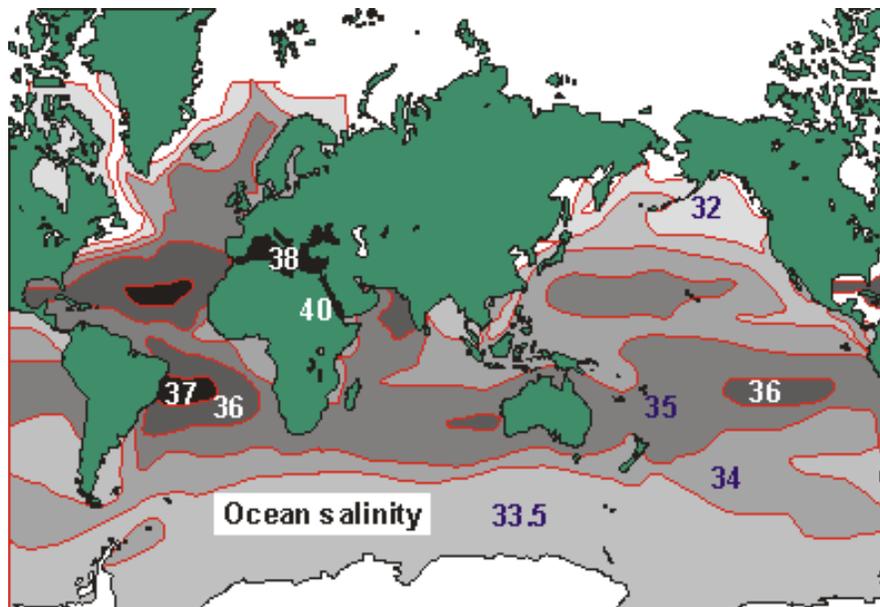
A viscosidade é uma medida da resistência ao fluxo. Em um gás, as moléculas estão em média longe umas das outras e as forças de atração não são efetivas. Assim, a viscosidade não vem do atrito interno, mas da transferência de “momentum” (quantidade de movimento) entre camadas adjacentes, que se movem com velocidade relativa. As moléculas que passam de uma camada para outra e que se movem menos rapidamente levam uma quantidade de movimento maior que as moléculas que passam em sentido inverso, de modo que a velocidade da camada mais rápida diminui e a velocidade da camada mais lenta aumenta, diminuindo a velocidade relativa. Em um líquido, as moléculas estão em média muito perto umas das outras e as forças de atração são efetivas. Assim, a viscosidade vem do atrito entre camadas adjacentes, nas quais o líquido se divide ao escoar.

### **Salinidade**

A salinidade refere-se à quantidade de sais dissolvidos na água do mar, sendo definida pelo peso total de sais inorgânicos dissolvidos em 1 Kg de água.

Sua mensuração é feita pela determinação da condutividade elétrica, que tende a aumentar com a elevação da quantidade de sais dissolvidos.

A água do mar de todo o mundo possui em média uma salinidade de 35. Isto significa que para cada litro de água do mar há 35 gramas de sais dissolvidos (a maior parte é cloreto de sódio, NaCl), embora possam existir variações em função do ambiente. A água menos salina do planeta é encontrada no Golfo da Finlândia, no Mar Báltico. O Mar Vermelho, no Oriente Médio, é considerado como o mais salino, com a maior concentração de sais dissolvidos devido à alta taxa de evaporação da superfície, bem como à pouca descarga fluvial.

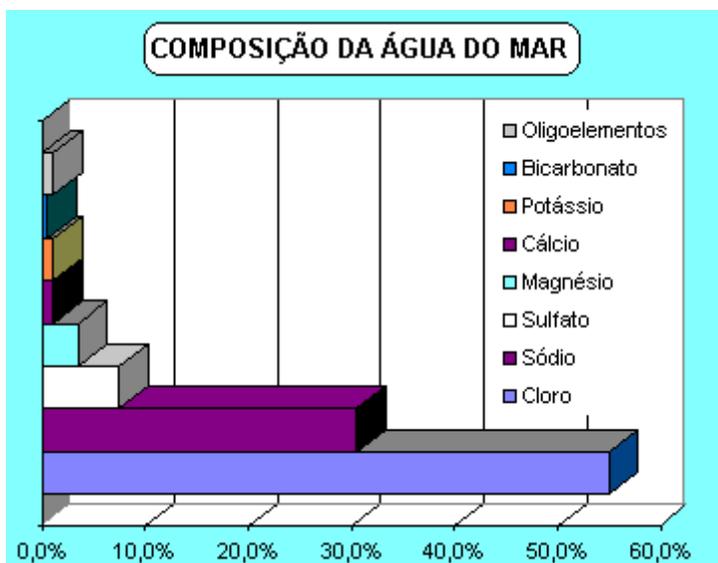


De acordo com o mapa, a salinidade dos oceanos varia entre 30 e 37. Regiões com altas taxas de evaporação apresentam maiores índices de salinidade, enquanto tal valor tende a diminuir em áreas mais frias, devido ao aporte de água doce proveniente das calotas polares

A água encontrada nos rios, lagos e lençóis subterrâneos é procedente de um processo de precipitação ( chuva, granizo neve ) com uma salinidade próxima de zero, por oposição à água do mar ( que tem geralmente uma salinidade próxima de 35 gramas de sais dissolvidos por litro) e à água salobra, ou dos estuários, que tem uma salinidade intermédia.

A salinidade pode variar ainda em função da profundidade. Águas superficiais são mais salinas que águas profundas, e isto acontece principalmente por causa das interações entre a superfície oceânica e a atmosfera.

Em função de sua alta capacidade de dissolução, muitos tipos de substâncias diferentes encontram-se dissolvidas no oceano, e estas substâncias são usualmente classificadas, de acordo com a sua natureza química, em cinco grupos distintos: componentes principais, nutrientes, gases, elementos traço e compostos orgânicos.



- **Componentes Principais**

Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  compreendem mais de 85,65% de todas as substâncias dissolvidas na água do mar. Estes dois constituintes iônicos fornecem à água do mar sua propriedade mais característica - a salinidade. Os seis íons mais abundantes - cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), somam cerca de 99 % de todo soluto presente na água, restando cerca de 0,01% que é composto por outras substâncias. Os

componentes principais são considerados como propriedades conservativas da água do mar, uma vez que suas concentrações são estáveis ao longo do tempo.

Íons	Íons na água do mar ‰	Íons por peso %
Cloreto ( $\text{Cl}^-$ )	18,980	55,04
Sódio ( $\text{Na}^+$ )	10,556	30,61
Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2,649	7,68
Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	1,272	3,69
Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	0,400	1,16
Potássio ( $\text{K}^+$ )	0,380	1,10
Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )	0,140	0,41
Brometo ( $\text{Br}^-$ )	0,065	0,19
Acido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	0,026	0,07
Estrôncio ( $\text{Sr}^{2+}$ )	0,013	0,04
Fluoreto ( $\text{F}^-$ )	0,001	0,00
Total	3,4482	99,99

- Nutrientes

São os elementos críticos responsáveis pela produtividade primária nos oceanos. Por causa do consumo e liberação destes por processos biológicos, as concentrações dos nutrientes variam na água do mar e são ditos não conservativos. Os organismos fotossintetizantes consomem nutrientes na forma de fosfato e nitrato. O silício não é envolvido diretamente na produtividade primária, mas exerce um papel vital na precipitação da sílica, importante componente nos esqueletos de alguns organismos marinhos.

Concentrações de nutrientes elementares na água do mar	
<i>Elemento</i>	<i>Concentração (mg/L)</i>
Fósforo	0,07

Nitrogênio	0,5
Silício	3

- Gases dissolvidos

Incluem nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>) e os gases nobres Argônio (Ar), Neônio (Ne) e Hélio (He). O nitrogênio, bem como os gases nobres são inertes e raramente envolvidos em atividades biológicas. Por outro lado, os níveis de O<sup>2</sup> e CO<sup>2</sup> são intensamente controlados pela fotossíntese e respiração dos organismos. Portanto, a concentração de O<sup>2</sup> e CO<sup>2</sup> são propriedades não conservativas.

Quantidades de gases na água do mar			
<i>Gás</i>	<i>Em ar seco</i>	<i>Nas águas superficiais dos oceanos</i>	<i>Razão água/ar</i>
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	78.03	47.5	0.6
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	.99	36.0	1.7
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0.03	15.1	503.3
Argônio, Hidrogênio, Neônio e Hélio	0.95	1.4	1.5

- Elementos traço

São todos ingredientes inorgânicos que ocorrem em quantidades minúsculas - < 1ppm (parte por milhão). Eles compreendem, em sua maioria, o manganês (Mn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Ouro (Au), Iodo (I) e ferro (Fe).

Apesar da baixa concentração destes elementos, eles são extremamente importantes em algumas reações bioquímicas.

- Compostos orgânicos

Estes incluem moléculas orgânicas complexas como lipídios, proteínas, carboidratos, hormônios, vitaminas e muitas outras. Estas substâncias ocorrem normalmente em baixas concentrações, sendo, alguns destes compostos, como os complexos de vitamina, vitais para promover o crescimento de bactéria, plantas e animais.

A maioria dos organismos marinhos desenvolveu mecanismos fisiológicos de osmoregulação a fim de controlar os valores de pressão osmótica dos fluidos corporais (concentrações de sais e água).

Um problema relacionado ao balanço osmótico concerne aos organismos que habitam áreas com mudanças abruptas na salinidade, ou ainda a peixes que migram entre águas doce e salgada. Tais organismos geralmente exibem muitas formas de regulação osmótica, que podem variar desde impermeabilidade à complexos mecanismos de transporte ativo.

## **Sumário**

A água possui características extremamente peculiares, quando comparada ao ambiente atmosférico, como maior densidade, elevadíssimo calor específico, maior resistência a passagem da luz, pequena capacidade de dissolver o gás oxigênio e grande capacidade de dissolver substâncias em geral, além de conter nutrientes orgânicos e inorgânicos, tanto em suspensão como em solução. É a água a única substância não-metal, inorgânica, que se apresenta em estado líquido, nas temperaturas e pressões normais na superfície da Terra, acompanhada pelo metal mercúrio, este infinitamente em proporção bem menor e bem mais raro

O estado líquido da água, encontrado em posições de 0 a 100°C é explicado, em geral, pelas suas peculiaridades, entre elas da sua própria estrutura molecular e, em especial, pela existência das "pontes de hidrogênio" que lhe dão uma elevada coesão, evitando a sua volatilização às temperaturas normais de nosso planeta

A água apresenta ainda um comportamento anômalo, de aumentar sua densidade, progressiva, de maneira inversa à temperatura, com curva máxima dessa variação até aos 4°C, voltando a reduzir-se às temperaturas mais baixas. Por essa razão o gelo flutua sobre a água no estado líquido, permitindo encontrá-lo sempre na superfície e não no fundo dos oceanos, mares e lagos, onde não poderia voltar a fundir-se, dado a pequeníssima penetração das radiações caloríferas através do meio aquático.

### **Águas doces**

São assim chamadas as águas terrestres que têm uma salinidade muito baixa. Sua principal fonte é a chuva, que é água quase pura, pois contém apenas uma pequena quantidade de oxigênio e de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em solução.

### **Água salgada**

Em comparação com a água doce, a água dos mares e oceanos contém grandes quantidades de sais, embora tal salinidade não seja igual em todos eles. A maior salinidade registrada encontra-se no Mar Vermelho, com 39 gramas por litro, e a menor, a do Mar Báltico, com 30 gramas por litro. Dentre os elementos dissolvidos na água do mar, há seis que perfazem mais de 99% da massa dos sais: cloro, sódio, enxofre (sob a forma de íon sulfato), magnésio, cálcio e potássio. O cloreto de sódio (NaCl) corresponde a 77% dos sais contidos na água do mar, dando-lhe sabor salgado.

### **Água: solvente de substâncias iônicas**

Por ser polar, a água aproxima-se dos íons que formam um composto iônico (sólido) pelo pólo de sinal contrário à carga do íon, conseguindo assim anular sua carga e desprendê-lo do resto do sólido. Uma vez separado do sólido, o íon é rodeado pela água, evitando que ele regresse ao sólido. Um exemplo claro é a ação da água sobre o NaCl (cloreto de sódio).

### **Propriedades físicas e químicas**

A água, em seu estado natural mais comum, é um líquido transparente, assumindo a cor azul esverdeada em lugares profundos. Possui uma densidade máxima de 1 g/cm<sup>3</sup> a 4°C e seu calor específico é de 1 cal/°C. No estado sólido, sua densidade diminui até 0,92 g/cm<sup>3</sup>, mas são conhecidos gelos formados sob pressão que são mais pesados que a água líquida. Suas temperaturas de fusão e ebulição à pressão de uma atmosfera são de 0 e 100°C, respectivamente, muito superiores às temperaturas de fusão e ebulição de outros compostos parecidos com a água. Ela é um composto estável que não se decompõe em seus elementos até 1.300°. Reage com os metais alcalinos (Li, Na, K, Rb e Cs) formando uma base e desprendendo hidrogênio:  $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2$ . Reage com alguns óxidos metálicos para formar hidróxidos, como por exemplo:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ , e com os não-metálicos para formar ácidos,  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$

Composto	Massa molecular	Temperatura fusão	deTemperatura ebulição	de
H <sub>2</sub> O	18	0	100	
H <sub>2</sub> S	34	- 82,9	- 60,1	
H <sub>2</sub> Se	81	- 64	- 42	
A H <sub>2</sub> Te	129,6	- 54	- 1,8	

tabela demonstra que tanto a temperatura de fusão como a de ebulição de distintos compostos parecidos com a água diminuem com a redução da massa molecular. Para a água, cuja massa molecular é menor, essas temperaturas são muito superiores. O fenômeno é atribuído à grande polaridade da água, que chega à formação de ligações de hidrogênio.

### Referências bibliográficas

Laly, C.M. & Parsons, T. R. (1993) Biological Oceanography – An introduction. Eds. Butterworth Heinemann. University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Lerman, M. (1986) Marine Biology. Environment, diversity and ecology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Eds.

Libes, S. M. (1992) An introduction to Marine Biogeochemistry. Eds. John Wiley & Sons. University of South Carolina – Coastal Carolina College.

Thurman H.V. (1997) Introductory Oceanography Eds. Prentice-Hall, Inc. Mt San Antonio College