



## Água - Uma Visão Integrada

**Hélio A. Duarte**

As propriedades químicas e físicas da água, responsáveis pelo surgimento e pela manutenção da vida, são apresentadas. A partir de uma perspectiva de causa e efeito, propõe-se que as propriedades excepcionais da água são decorrentes da natureza quântica das partículas que compõem a molécula. A importância desse conhecimento para a preservação ambiental e a exploração das riquezas minerais de forma sustentável é enfatizada.

► água, biodiversidade, meio ambiente, mineração ◀

4

Recebido em 13/03/2014, aceito em 24/04/2014

**A** água, o elixir da vida. Na saga humana na Terra, desde os tempos mais remotos, a água sempre foi um componente importante, indispensável e promotor de mudanças. Nos tempos antigos, a água era considerada a fonte que dava origem a todas as coisas visíveis e materiais. As primeiras civilizações no Oriente Médio, que temos notícia, prosperaram na Mesopotâmia (terra entre rios) às margens dos rios Tigre e Eufrates. Encontramos, na Ásia, o rio Ganges, cujas margens foram testemunhas das mais belas histórias. Na África, o rio Nilo testemunhou o apogeu da civilização egípcia, cujas margens de terras férteis forneciam o alimento ao seu povo. Na Europa, os rios Tâmesa e Sena foram utilizados e degradados durante a revolução industrial para depois serem revitalizados no final do século XX. Na América do Norte, o Rio Mississippi presenciou o avanço da civilização americana rumo ao oeste e o desenvolvimento das máquinas térmicas que movimentavam os navios a vapor. Na América Latina, encontramos o Rio São Francisco, que foi utilizado em grande extensão na ocupação do interior do Brasil. O rio Paraguai, mais ao sul do continente, é responsável por uma das maiores áreas alagadas do mundo, provendo um espetáculo de fertilidade, biodiversidade e beleza. Não poderíamos ainda deixar de citar o Rio Amazonas e todos os seus afluentes, verdadeiras

**A água, em sua constituição física, apresenta propriedades únicas que a difere de qualquer outra substância e que, em grande parte, é responsável pela existência da vida na terra.**

avenidas que nos levam ao interior do continente sul americano e alimentam a maior e mais densa floresta tropical do mundo. A presença da água sempre foi e será condição *sine qua non* para o desenvolvimento e a prosperidade da civilização humana.

A água, em sua constituição física, apresenta propriedades únicas que a difere de qualquer outra substância e que, em grande parte, é responsável pela existência da vida na terra. Vejamos os porquês. A água na forma líquida possui o maior calor específico ( $4,18 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), com exceção da amônia, e alta condutividade térmica ( $0,598 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), quando comparado a outros líquidos. Isso significa que a água é capaz de absorver grande quantidade de calor sem alterar enormemente a temperatura. Dessa forma, a água impede que haja variações bruscas de temperatura. Além disso, o dinamismo dos rios e mares e o ciclo das chuvas permitem uma grande transferência de calor sem grande variação de temperatura. O calor de fusão ( $333 \text{ J g}^{-1}$ ) também é um dos mais altos. Nos extremos sul e norte do planeta, as grandes extensões de gelo são, na verdade, grandes termostatos que garantem o equilíbrio térmico do planeta. Não podemos esquecer que, na forma sólida, o gelo tem baixa condutividade térmica ( $2,4 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) comparado a outros sólidos, ou seja, é um isolante térmico. Essa propriedade é utilizada pelos esquimós, no polo norte,

para fazer os iglus, suas casas de gelo, garantindo uma temperatura mais amena no seu interior. A água é um dos poucos materiais que ao solidificar fica menos denso: o gelo flutua na água líquida. Essa característica permite que o gelo seja formado na superfície de rios e lagos, impedindo que, no interior, a água solidifique-se, garantindo, assim, a sobrevivência de peixes e moluscos (veja Figura 1). Nas geleiras eternas dos polos (norte e sul), o gelo guarda, nas cavidades de suas estruturas, amostras da atmosfera de épocas remotas do globo terrestre. Estudos dessas estruturas, chamadas de clatratos, fornecem indicativos da composição da atmosfera e como ela variou ao longo do tempo.

O calor de vaporização da água também é um dos mais altos ( $2250 \text{ J g}^{-1}$ ), o que evita as variações bruscas de temperatura, pois a água absorve boa parte da energia solar que incide na Terra e é vaporizada. Outro aspecto importante é o ciclo de chuvas, que envolve a vaporização e a condensação da água, o que contribui para o transporte de energia térmica entre diferentes regiões do planeta.

**Nas geleiras eternas dos polos (norte e sul), o gelo guarda, nas cavidades de suas estruturas, amostras da atmosfera de épocas remotas do globo terrestre. Estudos dessas estruturas, chamadas de clatratos, fornecem indicativos da composição da atmosfera e como ela variou ao longo do tempo.**

Além disso, a tensão superficial da água é a mais alta de todos os líquidos ( $0,073 \text{ N m}^{-1}$ ) e garante o perfeito equilíbrio entre o líquido que escoar nos rios e canais, a formação das gotas, a penetrabilidade da água em poros e microporos, a transferência e condução da água através de membranas e a miscibilidade da água com outras substâncias líquidas. A sua baixa viscosidade ( $0,001 \text{ N s m}^{-2}$ ) permite que ela alcance quase todos os lugares, penetrando os materiais rochosos, alcançando as profundezas da terra, alimentando os rios e as cachoeiras. A constante dielétrica ( $\epsilon = 80$ ) é a mais alta entre os líquidos, o que garante que sais minerais e grande parte das moléculas sejam solúveis em água. Esses compostos representam nutrientes para muitos organismos vivos e podem ser espalhados e carregados pela água para todos os lugares.

A água límpida e cristalina, seja no copo d'água que utilizamos para saciar a sede, seja caindo do alto de uma cachoeira ou, ainda, nas ondas do mar, é fonte de muita poesia, alegria, satisfação e, principalmente, de muita vida.



Figura 1: Diferentes vistas da cachoeira do rio Louise, Alberta, Canadá (Foto: Hélio A. Duarte).



Figura 2: a) Cachoeira do Tabuleiro, Conceição do Mato Dentro (MG), a mais alta do estado de Minas Gerais; b) Cachoeira de Casca d'Anta, São Roque de Minas (MG) (Foto: Hélio A. Duarte).



A Figura 2 mostra a cachoeira do Tabuleiro com 273 m de altura na Serra do Cipó, sendo a mais alta de Minas Gerais e a terceira mais alta do Brasil, e a cachoeira Casca d'Anta, próxima à nascente do Rio São Francisco, na Serra da Canastra, com 186 m de altura. A turbulência das águas favorece a sua oxigenação e, por meio de processos bioquímicos, a eliminação de substâncias orgânicas e inorgânicas, tornando-a potável.

Apesar de muito estudada, há ainda muito mais para se conhecer a respeito da água. A ciência química tenta entender os meandros de todo esse concerto da natureza em torno da água e busca, no microcosmo, explicações para essa maravilha. A água, cuja molécula é representada pela fórmula  $H_2O$ , apresenta outras propriedades muito relevantes. Um novo mundo se descortina, a química quântica levanta o véu que mantinha essa intimidade da matéria inacessível. Sabemos que os três átomos que se associam para formar a molécula de água organizam-se com ângulo de ligação de aproximadamente 104 graus. A química quântica indica que a distribuição eletrônica dessa molécula leva a um momento de dipolo que explica grande parte das propriedades macroscópicas da água. A diferença de carga entre os átomos de hidrogênio e de oxigênio permite que outras importantes interações ocorram com moléculas de água (Amaral; Almeida, 2000). Trata-se das ligações de hidrogênio, responsáveis pela estrutura do gelo, pela alta capacidade calorífica de fusão e vaporização da água, dentre outras propriedades. Os dois pares de elétrons não ligantes, que se orientam ao redor do oxigênio, permitem que a água interaja fortemente com íons metálicos. Sabemos que, em muitos processos químicos que ocorrem em meio aquoso, a água age como reagente e participa do mecanismo da reação química. A água não é apenas um solvente universal, mas também desempenha papel ativo em grande parte dos processos químicos em meio aquoso, reagindo e formando outras moléculas.

Assim, o dióxido de carbono,  $CO_2$ , solubilizando-se na água, forma o ácido carbônico,  $H_2CO_3$ . O íon carbonato,  $CO_3^{2-}$ , por sua vez, oriundo da interação da água com o ácido carbônico, interage com cátions, principalmente os metais alcalino terrosos, para formar carbonatos. Na natureza, as reações de dissolução e precipitação controladas pela solubilidade de carbonatos (principalmente de cálcio e magnésio), formam estalagmites e estalactites, que nos deixam maravilhados nas explorações espeleológicas (Figura 3).

As rochas, com suas estruturas únicas e belas, guardam, muitas vezes, o trabalho paciente e incansável da água que, por milhares de anos, moldou a sua forma (Figura 4). As formações rochosas de todos os tipos são afetadas pela presença ou ausência da água. O grau de hidratação desses materiais lhes confere variações grandes de cor e propriedades.

Microrganismos, vegetais e animais proliferam nos ambientes onde há nutrientes e água. A biodiversidade nos ensina como a natureza pode encontrar caminhos inusitados de adaptação e de especialização, sendo que cada organismo pode se adaptar às mais diferentes condições encontradas no planeta.



Figura 3: Estalactites e estalagmites da Gruta de Maquiné, Serra do Cipó (MG) (Foto: Hélio A. Duarte).



Figura 4: Cânion no parque da Ferradura, Canela (RS) (Foto: Hélio A. Duarte).

A civilização humana inicia a sua grande mudança tecnológica com a utilização da energia potencial das águas nas cachoeiras para fazerem mover rodas d'água. Por exemplo, nas fazendas antigas do interior do Brasil, ainda há vestígios



Figura 5: Moinho de água para fazer fubá e farelo de milho, município de Bento Gonçalves (RS). Esse moinho tem mais de 150 anos (Foto: Hélio A. Duarte).

de moinhos d'água utilizados para fazer farelo de milho (Figura 5). No alvorecer da revolução industrial, a água foi utilizada para mover navios e trens com as máquinas a vapor. A água era aquecida até atingir o estado vapor que, por meio de uma engenhoca apropriada, fazia mover os pistões da máquina a vapor, levando desenvolvimento para regiões longínquas.

O esforço para o desenvolvimento econômico oriundo da modernidade tecnológica, durante muito tempo, subestimou o impacto das atividades industriais na natureza e na qualidade de vida das gerações futuras. Espaços próximos aos rios eram escolhidos para a implantação de fábricas e indústrias, de modo a facilitar a utilização da sua água em seus processos físicos e químicos, além de facilitar o descarte dos resíduos sem interesse econômico. Esse processo entrou logo em colapso com a percepção de que a água é, na verdade, um bem finito e esgotável. Os processos naturais, ao serem perturbados, levam a um novo patamar de equilíbrio que pode até mesmo comprometer a sobrevivência da civilização humana.

A humanidade faz parte da natureza e, como tal, está sujeita ao seu curso e sobre a égide de suas leis. Toda atividade humana (antropogênica) ou fenômeno natural leva invariavelmente a modificações do meio ambiente que, por sua vez, afetarão de alguma forma os seres vivos. O conhecimento científico das leis que governam a natureza, seja ela física, química ou biológica, tem permitido compreender os intrincados mecanismos dos processos naturais quando afetados por alguma perturbação causada pelas atividades antropogênicas ou por eventos naturais.

É consenso de toda a sociedade a necessidade premente de incorporar em todas as atividades do homem o cuidado

quanto ao seu impacto no meio ambiente e o esforço para atenuar os seus efeitos, bem como ao papel central da ciência para apontar soluções e problemas desse impacto. No entanto, a internalização desse conceito em suas atividades tem se demonstrado muito difícil e requer um esforço contínuo de educação e conscientização das pessoas.

Este caderno temático aborda esse tema em relação às atividades de mineração e metalurgia. Essas atividades são de suma importância para o desenvolvimento econômico e social de nosso país. A riqueza mineral do Brasil, a sua exuberante biodiversidade e a privilegiada condição de ser um dos países mais ricos em água doce do mundo o colocam numa condição de destaque no cenário mundial. Extrair essa riqueza mineral, agregando-lhe valor e preservando a biodiversidade e os recursos hídricos, é garantir condições de sobrevivência e de qualidade de vida para as gerações futuras. Sabemos que o desafio é enorme, mas se os atores sociais (sociedade, organizações não governamentais e governos), acadêmicos (universidades e centros de pesquisa) e os setores produtivos (indústria, comércio e instituições financeiras) atuarem de forma colaborativa e harmoniosa, será possível transformar as nossas riquezas minerais em fonte de desenvolvimento com qualidade de vida para toda a população.

A química tem um papel destacado no processo de internalizar nas atividades produtivas a preocupação com o impacto ambiental e sua repercussão na vida no planeta.

**O esforço para o desenvolvimento econômico oriundo da modernidade tecnológica, durante muito tempo, subestimou o impacto das atividades industriais na natureza e na qualidade de vida das gerações futuras. Espaços próximos aos rios eram escolhidos para a implantação de fábricas e indústrias, de modo a facilitar a utilização da sua água em seus processos físicos e químicos, além de facilitar o descarte dos resíduos sem interesse econômico. Esse processo entrou logo em colapso com a percepção de que a água é, na verdade, um bem finito e esgotável.**

O entendimento dos processos químicos e físicos que ocorrem nas diversas etapas de um empreendimento mineral permite desenvolver tecnologias com alto desempenho ambiental. Isso significa um menor consumo da água por meio do seu reaproveitamento via recirculação bem como pela exploração de seus usos múltiplos e compartilhados, da minimização da geração dos rejeitos e do descarte correto dos resíduos industriais. Os processos químicos e biológicos que ocorrem na mineração e a disposição de resíduos na natureza devem ser

compreendidos no nível microscópico para que o aproveitamento do recurso mineral seja maximizado e os impactos ambientais sejam atenuados. Áreas degradadas devem ser recuperadas de forma abrangente e em todos os aspectos, sejam eles geológicos, químicos e biológicos.

O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Recursos Minerais, Água e Biodiversidade (INCT-Acqua) propõe-se a reunir pesquisadores de diferentes áreas para dar respostas a algumas questões e desafios relacionados às atividades do setor mineral e metalúrgico. Neste caderno, pretendemos trazer até o leitor a contribuição da química para responder a algumas dessas questões. Conceitos químicos



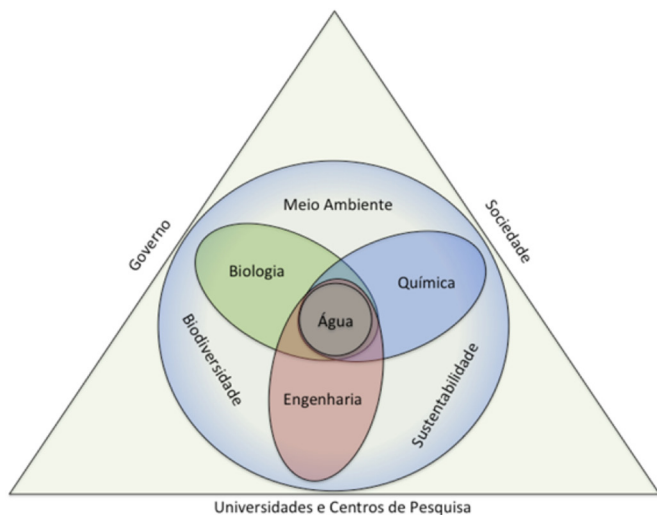


Figura 6: A água como elo aglutinador de diferentes áreas do conhecimento na proposta do INCT-Acqua (<http://www.acqua-inct.org>).

fundamentais são utilizados para melhorar processos, mitigar o impacto ambiental e recuperar áreas degradadas. Não obstante a importância da química nesse contexto, a sua relação com biologia, engenharia de minas, metalúrgica e de materiais é de extrema relevância para alcançar os objetivos dessa empreitada, na qual a água representa o elo aglutinador (veja Figura 6), sendo que as diferentes áreas do conhecimento encontrem ensejo para trabalharem juntas na solução de problemas e, principalmente, na busca por caminhos alternativos para o desenvolvimento da nossa sociedade.

Este caderno temático aborda aspectos relacionados com a indústria extrativa e o meio ambiente com o foco na química. O Capítulo 2 descreve as principais técnicas utilizadas no beneficiamento físico e químico de minérios como cominuição, concentração física, lixiviação, flotação e extração por solvente. As diferentes espécies químicas formadas durante os processos hidrometalúrgicos são importantes para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis ambientalmente. A especiação química, que é a distribuição das diferentes espécies de um dado elemento químico numa amostra, e sua importância nos processos de extração mineral e de remediação ambiental são apresentadas no Capítulo 3. Outro processo químico importante decorrente da atividade

mineral é a oxidação natural dos sulfetos minerais expostos durante a escavação de uma mina, levando à formação de ácidos e, conseqüentemente, acidificando os rios e as águas subterrâneas e solubilizando compostos contendo metais pesados. Esse processo, chamado de drenagem ácida de mina ou de rocha, é discutido em detalhes no Capítulo 4. No Capítulo 5, materiais funcionais para a proteção ambiental são apresentados e discutidos. No Capítulo 6, a qualidade da água do ponto de vista químico e biológico no contexto dos recursos minerais e biodiversidade é discutida. Os microrganismos desempenham papel importante nos processos naturais e tecnológicos para a remediação de águas contaminadas. Por fim, a importância da visão química e biológica no desenvolvimento sustentável das atividades minerais é enfatizada.

**Helio Anderson Duarte** ([duarteh@ufmg.br](mailto:duarteh@ufmg.br)), engenheiro químico, mestre em Química Inorgânica e doutor em Química Teórica, é pesquisador 1B do CNPq e professor titular do Departamento de Química – ICEx da UFMG. Belo Horizonte, MG – BR.

## Referências

AMARAL, L.O.F.; ALMEIDA, W.B. (Orgs.). Estrutura da matéria: uma visão molecular. *Cadernos Temáticos da Química Nova Na Escola*, v. 4, Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, 2000.

## Para saber mais

ANDRADE, J.B.; SILVA, R.R. (Orgs.). Química, vida e ambiente. *Cadernos Temáticos da Química Nova Na Escola*, v. 5, Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, 2003.

JARDIM, W.F.; GIORDAN, M. (Orgs.). Química ambiental. *Cadernos Temáticos da Química Nova Na Escola*, V. 1, Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, 2001.

**Abstract:** *Water – An integrative view.* The chemical and physical properties of water, responsible for the emergence and the maintenance of the life are presented. From the perspective of cause and effect, it is proposed that the extraordinary properties of water are due to the quantum nature of the particles that compose the molecule. The importance of this knowledge for the environmental preservation and the sustainable exploration of the mineral resources are emphasized.

**Keywords:** Water, biodiversity, environment, mining.