

A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos

Antonio Rogério Fiorucci e Edegar Benedetti Filho

Nos ecossistemas aquáticos, as reações de oxidação e redução exercem papel primordial na manutenção da vida. No presente artigo, são discutidos: a importância do oxigênio dissolvido como agente oxidante, os fatores que afetam sua solubilidade, o balanço de oxigênio dissolvido nos sistemas aquáticos e suas variações com a profundidade da coluna d'água. Essas informações podem ser utilizadas pelo professor do ensino médio na abordagem dos temas estruturadores "Química e hidrosfera" e "Reconhecimento e caracterização das transformações químicas" descritos nos Parâmetros Curriculares Nacionais.

► oxigênio dissolvido, ecossistemas aquáticos, oxidação-redução ◀

Recebido em 29/4/04, aceito em 9/5/05

10

Todas as formas de vida existentes na Terra dependem da água. Apesar da maior parte da superfície do nosso planeta ser recoberta por água, 97,3% da água do mundo é água salgada, inadequada para beber e para a maioria dos usos agrícolas. Os lagos e rios são as principais fontes de água potável; porém, constituem menos de 0,01% do suprimento total de água (Baird, 2002; Azevedo, 1999). Adicionando aos rios e lagos a água subterrânea a menos de 800 m da superfície, a água doce facilmente disponível representa apenas 0,3% do volume total na Terra.

Diante da disponibilidade restrita de águas naturais para consumo humano e da sua crescente poluição, é importante entender os processos químicos que nelas ocorrem e como o uso do conhecimento químico pode ser empregado na avaliação da qualidade da água. Pretende-se neste artigo, portanto, fornecer alguns subsídios teóricos ao professor de Química do Ensino Médio para a abordagem do tema "água" numa perspectiva

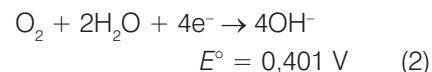
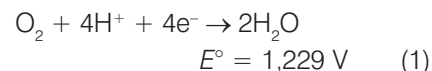
ambiental, proposta esta já discutida nesta revista (Silva, 2003).

Pode-se considerar a química das águas naturais dividida em duas categorias de reações mais comuns: as reações ácido-base e as de oxidação-redução (redox). Os fenômenos ácido-base e de solubilidade controlam o pH e as concentrações de íons inorgânicos dissolvidos na água, como o carbonato e o hidrogenocarbonato, enquanto o teor de matéria orgânica e o estado de oxidação de elementos como nitrogênio, enxofre e ferro, entre outros presentes na água, são dependentes da presença de oxigênio e das reações redox.

Oxigênio dissolvido: propriedades e solubilidade

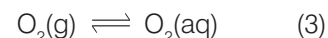
O agente oxidante mais importante em águas naturais é o oxigênio molecular dissolvido, O_2 (Baird, 2002). Em uma reação envolvendo transferência de elétrons, cada um dos átomos da molécula é reduzido do estado de oxidação zero até o estado de oxidação -2, formando H_2O ou OH^- .

As semi-reações de redução do O_2 em solução ácida e neutra são, respectivamente:



A concentração de oxigênio dissolvido (OD) em um corpo d'água¹ qualquer é controlada por vários fatores, sendo um deles a solubilidade do oxigênio em água.

A solubilidade do OD na água, como para outras moléculas de gases apolares com interação intermolecular fraca com água, é pequena devido à característica polar da molécula de água (Tabela 1). A presença do O_2 na água se deve, em parte, à sua dissolução do ar atmosférico para a água:



cuja constante de equilíbrio apropriada é a constante da Lei de Henry², K_H . Outra fonte importante de oxigênio para água é a fotossíntese.

Para o processo de dissolução do O_2 , K_H é definida como:

$$K_H = [O_2(aq)]/p_{O_2} \quad (4)$$

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre Ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da Ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais. Neste número a seção apresenta dois artigos.

onde p_{O_2} é a pressão parcial do oxigênio atmosférico.

O valor de K_H para o O_2 a temperatura de 25 °C é de $1,29 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$.

Desta forma, como no nível do mar a pressão atmosférica é de 1 atm e a composição média em volume ou molar do ar seco é de 21% de O_2 , pode-se estimar a pressão parcial do oxigênio como sendo 0,21 atm. Substituindo esse valor de pressão na expressão da constante de equilíbrio de Henry rearranjada, tem-se:

$$\begin{aligned} [O_2] &= K_H p_{O_2} = \\ 1,29 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \times 0,21 \text{ atm} \\ &= 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \end{aligned}$$

Portanto, estima-se a solubilidade do O_2 em água, a 25 °C e no nível do mar, como sendo $8,6 \text{ mg L}^{-1}$. Esse valor apresenta uma concordância razoavelmente boa com o valor medido de $8,11 \text{ mg L}^{-1}$ mostrado na Tabela 1 (Connell, 1997).

Como a solubilidade é proporcional à pressão parcial² de O_2 ($[O_2] = K_H p_{O_2}$), pode-se inferir que a uma dada temperatura a solubilidade do oxigênio na água decresce com o aumento da altitude, pois com o aumento da altitude há uma diminuição da pressão atmosférica e o oxigênio, sendo um dos componentes do ar, terá sua pressão parcial também reduzida. Como a composição do ar seco em termos de O_2 é praticamente constante em altitudes modestas, poderíamos dizer que a diminuição da pressão parcial de O_2 será praticamente proporcional à diminuição da pressão atmosférica.

Um fator mais importante que a

Tabela 1: Solubilidade de alguns gases em água e constantes da Lei de Henry^a (adaptado de Connell, 1997).

| Gás | Solubilidade / mg L^{-1} | K_H / $\text{mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ |
|--------|-----------------------------------|--|
| O_2 | 8,11 | $1,29 \times 10^{-3}$ |
| N_2 | 13,4 | $6,21 \times 10^{-4}$ |
| CH_4 | 24 | $1,34 \times 10^{-3}$ |

^aValores para pressão atmosférica de 1 atm e temperatura de 25 °C.

altitude no controle da solubilidade do O_2 na água é a temperatura. Como a solubilidade dos gases em água diminui com a elevação da temperatura³, a quantidade de oxigênio que se dissolve a 0 °C ($14,2 \text{ mg L}^{-1}$) é mais do que o dobro da que se dissolve a 35 °C ($7,0 \text{ mg L}^{-1}$). A Figura 1 ilustra esse fato. Deste modo, águas de rios

ou lagos aquecidas artificialmente como resultado de poluição térmica contêm menos OD. A poluição térmica ocorre

frequentemente como resultado da operação de usinas geradoras de energia elétrica, que retiram água fria de um rio ou lago e a utilizam para refrigeração, devolvendo continuamente água aquecida à sua origem.

Baseado na solubilidade do O_2 , fica notório que os organismos aquáticos tropicais têm menos oxigênio disponível do que os de ambientes aquáticos de clima temperado. Essa constatação assume importância quando se considera que nos lagos próximos ao Equador a temperatura pode atingir até 38 °C (Esteves, 1998). Isto não significa que os organismos em um lago próximo do Equador irão ter problemas para sobreviver, pois estão adaptados para essas condições ambientais.

Embora insignificante quando comparada à temperatura, a salinidade também influencia na capacidade da água em dissolver oxigênio. O aumento da salinidade diminui a solubilidade do O_2 na água. Assim, a quantidade de minerais ou a presença de elevadas concentrações de sais dissolvidos na água em decorrência de atividades potencialmente poluidoras podem, mesmo que em pequena intensidade, influenciar o teor de OD na água. Desta forma, a salinidade é a principal causa do menor valor de OD nas águas salgadas, em relação ao mesmo valor em águas doces em condições idênticas de temperatura e pressão atmosférica.

Além da temperatura, pressão e salinidade que controlam a solubilidade do oxigênio na água, existem outros fatores bioquímicos e climáticos que também influenciam o teor

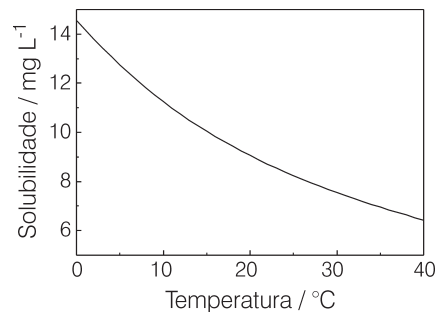


Figura 1: Solubilidade do gás oxigênio em água a várias temperaturas, na pressão atmosférica de 1 atm (760 mmHg). Os valores de solubilidades para construção do gráfico foram consultados no seguinte sítio na Internet: http://www.tps.com.au/handbooks/93BFDOv2_1.PDF.

de OD e que serão discutidos no texto a seguir.

O balanço de oxigênio dissolvido nos sistemas aquáticos

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998). As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas de oxigênio são causadas pelo consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), por perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação⁴ e oxidação química abiótica de substâncias como íons metálicos - ferro(II) e manganês(II) -, por exemplo.

Essas diversas transformações do O_2 nos sistemas aquáticos são representadas esquematicamente na Figura 2.

Nas condições naturais de um sistema aquático não poluído, o material mais habitualmente oxidado pelo oxigênio dissolvido na água é a matéria orgânica de origem biológica, como a procedente de plantas mortas e restos de animais. Esse processo de oxidação, chamado de degradação aeróbica, ocorre em água ricas em oxigênio, ou seja, que possuem níveis de oxigênio próximos de 100% de saturação⁵, e é mediado por microrganismos aeróbicos. A reação química envolvida pode ser expressa de forma simplificada supondo que a matéria orgânica seja em sua totalidade carboidrato polimerizado

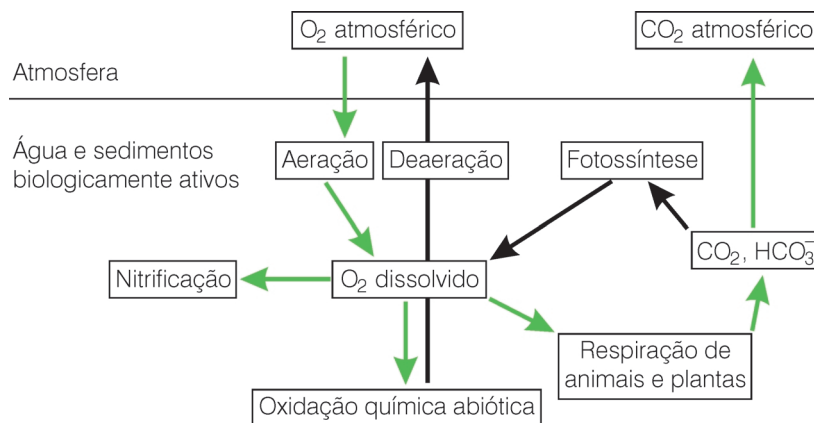
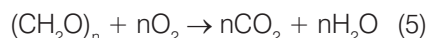
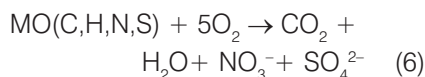


Figura 2: Balanço de oxigênio dissolvido nos sistemas aquáticos; os processos acelerados ou aumentados pela descarga de materiais orgânicos são indicados por setas verdes (adaptado de Connell, 1997).

(Guimarães e Nour, 2001), com uma fórmula empírica aproximada de CH_2O :



Considerando a matéria orgânica (MO) de uma forma mais complexa, pode-se substituir a Eq. 5 pela Eq. 6:



O consumo de oxigênio por esses processos, em condições naturais, é compensado pelo oxigênio produzido na fotossíntese e pelo “reabastecimento” de oxigênio com a aeração da água através do fluxo da água em cursos d’água e rios pouco profundos. Porém, a água estagnada ou a que está situada próxima ao fundo de um lago de grande profundidade está, com frequência, quase completamente sem oxigênio, devido à sua reação com a matéria orgânica e à falta de qualquer mecanismo que possibilite sua reposição com rapidez, já que a difusão, possível forma de reposição de O_2 , é um processo lento.

Substanciais reduções no OD podem ocorrer nos ambientes aquáticos, com implicações ambientais severas, se quantidades significativas de matéria orgânica forem a eles incorporadas. Essa situação ocorre normalmente com o lançamento de esgotos domésticos e de efluentes industriais ricos em matéria orgânica nos corpos d’água. O aumento da matéria orgânica resulta na maior taxa de respiração de microorganismos, dando origem à elevação

das quantidades de CO_2 e metano (o último produzido apenas por degradação anaeróbica) e, principalmente, em uma demanda de oxigênio, cuja disponibilidade é pequena devido à sua solubilidade bastante limitada na água.

Para avaliar a qualidade da água quanto à concentração de OD e a presença de cargas poluidoras ricas em material orgânico, alguns parâmetros como o teor de OD e a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) devem ser determinados. Uma descrição do significado químico e biológico desses parâmetros é apresentada na Tabela 2. Os valores de DBO de esgotos e alguns efluentes industriais são mostrados na Tabela 3.

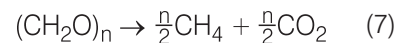
Não é raro que águas poluídas com substâncias orgânicas associadas a resíduos de animais e de alimentos ou a esgoto apresentem uma demanda de oxigênio superior à solubilidade de equilíbrio máxima de oxigênio. Sob tais circunstâncias, a menos que a água seja continuamente aerada, a depleção de oxigênio será alcançada rapidamente.

A construção de represas sobre áreas de florestas também pode resultar na formação de lagos com alta demanda de oxigênio dissolvido. Nessas represas, a grande quantidade de fitomassa inundada⁶, ao se decompor, consome grande quantidade de OD, gerando déficits altos de oxigênio. Os primeiros anos após a inundação correspondem ao período de maior demanda de oxigênio. Assim, não raramente, toda a coluna d’água⁷

pode tornar-se desoxigenada.

Decomposição anaeróbica da matéria orgânica

Em baixa quantidade ou ausência de OD, microorganismos anaeróbicos e facultativos⁸, principalmente as bactérias, desenvolvem a degradação e decomposição da matéria orgânica, através do processo de degradação anaeróbica. A reação de degradação anaeróbica pode ser expressa de maneira simplificada:



Esse processo não requer nenhuma demanda por OD presente no corpo d’água, sendo uma parte do carbono oxidada (para CO_2) e a parte restante reduzida⁹ (para CH_4). O metano e o dióxido de carbono produzidos são liberados no interior da massa de água e, posteriormente, na atmosfera, resultando na remoção de carbono orgânico e da demanda de oxigênio do sistema. Esse processo ocorre em pântanos, nos sedimentos de fundo enriquecidos com matéria orgânica, assim como em corpos d’água impactados pela poluição de resíduos orgânicos. Dado que o metano produzido nesse processo é praticamente insolúvel em água, ele forma bolhas que podem ser observadas em zonas pantanosas. Por esse motivo, o metano já foi conhecido como “gás dos pântanos”.

Variações e perfis verticais de OD

Não é raro encontrar ao mesmo tempo condições aeróbicas e anaeróbicas em partes diferentes do mesmo lago, particularmente no verão, devido à ocorrência de uma estratificação estável em camadas de água diferenciadas, como representado na Figura 3. A água próxima da superfície do lago é aquecida através da absorção de luz solar por materiais biológicos, enquanto a parte que está abaixo do nível de penetração da luz solar permanece fria. Como a água morna é menos densa que a água fria (a temperaturas próximas dos $4\text{ }^\circ\text{C}$ ¹⁰), a camada superior “flutua” sobre a camada inferior, ocorrendo pouca transferência de massa entre elas. A camada superior geralmente contém

Tabela 2: Alguns parâmetros para avaliação da qualidade de uma água relacionados com a química de oxidação-redução (adaptação da tabela disponível em sítio do Ministério do Meio Ambiente na Internet: <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/zoneamen/anexo2.pdf>).

| Parâmetro | Características gerais | Origem na água e fatores de alteração | Inconvenientes |
|---|--|--|--|
| Oxigênio dissolvido (OD) | <ul style="list-style-type: none"> Representa a quantidade de oxigênio molecular (O₂) dissolvido na água; Expresso, geralmente, em mg L⁻¹ ou porcentagem de saturação em uma dada temperatura e pressão. | <ul style="list-style-type: none"> Provém naturalmente de processos de dissolução/aeração das águas e como produto da reação de fotossíntese; Varia em função da temperatura e salinidade da água e da pressão atmosférica; Reduções significativas nos teores de OD podem ser provocadas por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) e/ou com elevada temperatura, que pode diminuir a solubilidade do oxigênio na água. | <ul style="list-style-type: none"> Apesar de essencial à vida, o oxigênio é fator significativo na corrosão de tubulações de ferro e aço. |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | <ul style="list-style-type: none"> Parâmetro mais usual de indicação da poluição por matéria orgânica; A determinação envolve a medida do oxigênio dissolvido utilizado pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica; A DBO é avaliada experimentalmente determinando a concentração de OD antes e após um período durante o qual uma amostra de água é mantida no escuro a temperatura de 20 ou 25 °C. A DBO é igual à quantidade de oxigênio consumida como resultado da oxidação de matéria orgânica dissolvida da amostra. As reações de oxidação são catalisadas pela ação de bactérias já presentes na amostra de água natural; Usualmente, permite-se que a reação se prolongue por 5 dias antes da determinação do oxigênio residual. A demanda determinada por este tipo de teste (DBO₅) corresponde a cerca de 80% do que seria determinada se o experimento fosse realizado após um período de tempo muito longo - o que naturalmente não é prático, A DBO é expressa em mg L⁻¹ (miligramas de O₂ por litro de H₂O); A DBO é empregada na determinação da quantidade aproximada de oxigênio que será necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica presente na água. | <ul style="list-style-type: none"> Ocorre naturalmente nas águas em nível reduzido em função da degradação de matéria orgânica (folhas, animais mortos, fezes de animais); Aumentos de DBO são provocados por efluentes de origem predominantemente orgânica; A DBO média para água superficial não poluída nos EUA é cerca de 0,7 mg L⁻¹, que é consideravelmente menor que a solubilidade do O₂ em água (8,1 mg L⁻¹ a 25 °C); Valores de DBO de águas residuais, efluentes ou esgotos de indústrias são em geral de várias centenas de mg L⁻¹; Águas seriamente poluídas apresentam DBO maior que 10 mg L⁻¹. | <ul style="list-style-type: none"> Altos índices podem gerar a diminuição e até a eliminação do oxigênio presente nas águas. Nessas condições, os processos aeróbicos de degradação orgânica podem ser substituídos pelos anaeróbicos, gerando alterações substanciais no ecossistema, inclusive extinção das formas de vida aeróbicas; O tempo elevado de determinação da DBO é um inconveniente deste parâmetro. |
| Demanda química de oxigênio (DQO) | <ul style="list-style-type: none"> Possibilita uma determinação mais rápida da demanda de oxigênio de uma amostra de água do que a DBO; Representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico; É um parâmetro utilizado no monitoramento de sistemas de tratamento de efluentes e na caracterização de efluentes industriais; Usualmente o íon dicromato, Cr₂O₇²⁻, na forma de um de seus sais, como o Na₂Cr₂O₇, é dissolvido em ácido sulfúrico, resultando em um poderoso agente oxidante. Esta solução preparada é usada no lugar do O₂ para oxidar a matéria orgânica presente na amostra. A semi-reação de redução do íon dicromato durante a oxidação da matéria orgânica é: Cr₂O₇²⁻ + 14H⁺ + 6e⁻ → 2Cr³⁺ + 7H₂O. A DQO também é expressa em mg L⁻¹; A DQO está relacionada com a matéria orgânica total - não biodegradável e biodegradável. O teste de DQO é importante na medida da matéria orgânica em despejos que contenham substâncias tóxicas à vida, inclusive as bactérias e outros microrganismos que oxidam a matéria orgânica biodegradável; A diferença entre DBO e DQO é que a última refere-se à oxidação de matéria orgânica e outros compostos através de reagentes químicos, enquanto na DBO essa oxidação é realizada por microrganismos. | <ul style="list-style-type: none"> Aumentos de DQO decorrem principalmente de despejos de origem industrial; O teste é valioso na medida de matéria orgânica em efluentes que contenham substâncias tóxicas. Neste caso, valores de DBO baixos são encontrados mesmo na presença de grande quantidade de matéria orgânica, pois as substâncias tóxicas levam à morte os microrganismos que catalisam a decomposição aeróbica da matéria orgânica; A DQO em um efluente industrial, em geral, é mais alta que a DBO, em virtude da maior facilidade com que grande número de compostos pode ser oxidado por via química em vez da via biológica. Esses compostos que são oxidados apenas por via química são os chamados não biodegradáveis. | <ul style="list-style-type: none"> A dificuldade de usar a DQO como índice para a demanda de oxigênio é que a solução ácida de dicromato é um oxidante tão forte que oxida substâncias que consumiriam oxigênio muito lentamente em águas naturais, e que, portanto, não constituem uma ameaça real para seu conteúdo de oxigênio. |
| Potencial de oxidação-redução (POR ou pE) | <ul style="list-style-type: none"> Mede a capacidade de oxidação ou redução de uma substância ou amostra; A medida do potencial de oxidação-redução de uma amostra é feita por meio de dois eletrodos que medem uma diferença de potencial que é correlacionável com o grau de oxidabilidade ou redutibilidade de uma amostra; Diferenças de potencial positivas entre 200 mV e 600 mV indicam um meio fortemente oxidante. Diferenças de potencial entre -100 mV e -200 mV revelam meios redutores. | <ul style="list-style-type: none"> As condições de um rio não poluído são fracamente oxidantes, graças à presença de quantidades limitadas de oxigênio dissolvido. | |

Tabela 3: Valores típicos de DBO_5 de alguns efluentes industriais e domésticos sem tratamento (adaptado de Mota, 1995).

| Fonte poluidora | DBO_5 / mg L ⁻¹ |
|---------------------------|------------------------------|
| Esgotos domésticos | 300 |
| Engenhos de açúcar | 1000 |
| Destilarias de álcool | > 7000 |
| Cervejaria (maltaria) | 400-1500 |
| Cervejaria | 1000-2000 |
| Curtumes | 1000-1500 |
| Matadouros e frigoríficos | 800-32000 |
| Laticínios | 500-2000* |

*Quando não há recuperação do soro do leite, a DBO_5 pode atingir até 3000 mg L⁻¹.

níveis de oxigênio dissolvido próximos à saturação (solubilidade), condição que se deve tanto ao seu contato com o ar quanto à presença de O_2 produzido na fotossíntese das algas e plantas aquáticas. As condições da camada superior são aeróbicas e, conseqüentemente, os elementos dessa região

existem em suas formas mais oxidadas⁹: o carbono como CO_2 , H_2CO_3 ou HCO_3^- ; o enxofre como SO_4^{2-} ; o nitrogênio como NO_3^- e o ferro como

$Fe(OH)_3$ insolúvel (estado de oxidação: +3). Perto do fundo ocorre depleção¹¹ do oxigênio, visto que não existe contato com o ar e que o O_2 é consumido na decomposição de material biológico abundante. Sob tais condições anaeróbicas, os elementos químicos existem em suas formas *mais reduzidas*⁹: o carbono como metano, CH_4 ; o enxofre como gás sulfídrico, H_2S ; o nitrogênio como NH_3 e NH_4^+ e o ferro como Fe^{2+} solúvel.

É importante também levar em conta o efeito da sazonalidade no perfil de

OD com a profundidade. Normalmente, as condições anaeróbicas das regiões mais profundas de um lago de clima temperado não perduram indefinidamente. Durante o outono e o inverno, a camada superior da água é resfriada pelo ar frio que passa sobre ela, de modo que, finalmente, a água rica em oxigênio da parte superior torna-se mais densa que a da parte inferior e ocorre uma mistura por convecção das camadas de água com diferentes temperaturas, ou seja, a camada superior mais fria e densa tende a se deslocar para o fundo, ao mesmo tempo que a camada inferior mais quente e menos densa tende a se mover para a superfície. Assim, durante o inverno e primeiros dias da primavera, o ambiente próximo ao fundo de um lago é, em geral, aeróbico.

Diferentemente, condições de hipoxia (baixa concentração de oxigênio) ou mesmo anoxia¹² podem ocorrer na superfície de lagos tropicais, totalmente

livres de poluição. Em ecossistemas da região amazônica e do Pantanal, observa-se o fenômeno da “fria-gem” ou “dequada”, respectivamente. Nes-

ses fenômenos, há a queda de temperatura da água de até cerca de 20 °C, como conseqüência do vento e da chuva fria. Como resultado da queda da temperatura, há uma mistura total da massa d’água de diferentes profundidades, com conseqüente redução da concentração de oxigênio na partes superiores até níveis de 10% de saturação. Esse fenômeno pode persistir por três dias e é suficiente para provocar intensa mortandade de peixes e causar a redução acentuada da população de fitoplâncton¹³ e zooplâncton¹⁴.

Em condições anaeróbicas, a decomposição de matéria orgânica contendo enxofre leva à formação de gases fétidos

Importância do oxigênio dissolvido

O OD é necessário para a respiração de microorganismos aeróbicos, bem como outras formas aeróbicas de vida. A sobrevivência dos peixes, por exemplo, requer concentrações mínimas de OD entre a 10% e 60% de saturação, dependendo da espécie e outras características do sistema aquático. A Tabela 4 mostra exemplos de concentrações mínimas de OD necessárias à sobrevivência de algumas espécies de peixes.

A importância do OD não se restringe apenas à sobrevivência dos seres aquáticos. A presença de OD em águas residuárias (águas servidas) industriais ricas em material orgânico é desejável por prevenir a formação de substâncias com odores desagradáveis que comprometem os diversos usos da água como, por exemplo, fonte de água potável ou meio de recreação. Em condições anaeróbicas, a decomposição de matéria orgânica contendo enxofre leva à formação de gás sulfídrico (H_2S) e mercaptanas¹⁵, enquanto a decomposição de material protéico produz, entre outros, o indol¹⁶ e o escatol¹⁷ (compostos derivados da decomposição do aminoácido triptofano¹⁸). Todas essas substâncias apresentam odores desagradáveis (vide Figura 4). A Figura 5 apresenta vias biossintéticas que têm o aminoácido triptofano como precursor do indol e do escatol e de outras substâncias de relevância biológica, como o neurotransmissor serotonina e os hormônios melatonina e ácido 5-hidroxiindolacético.

Apesar de desejável nos sistemas aquáticos naturais, a presença de altas concentrações de OD não é conveni-

Tabela 4: Concentrações mínimas de oxigênio dissolvido (OD) e de temperatura necessárias à existência continuada de alguns peixes (Connell, 1997, p. 347).

| Organismo | Temperatura / °C | OD / mg L ⁻¹ |
|--|------------------|-------------------------|
| Truta marrom (<i>Salmo trutta</i>) | 6-24 | 1,3-2,9 |
| Salmão de Coho (<i>Oncorhynchus kisutch</i>) | 16-24 | 1,3-2,0 |
| Truta arco-íris (<i>Salmo gairdnerii</i>) | 11-20 | 1,1-3,7 |

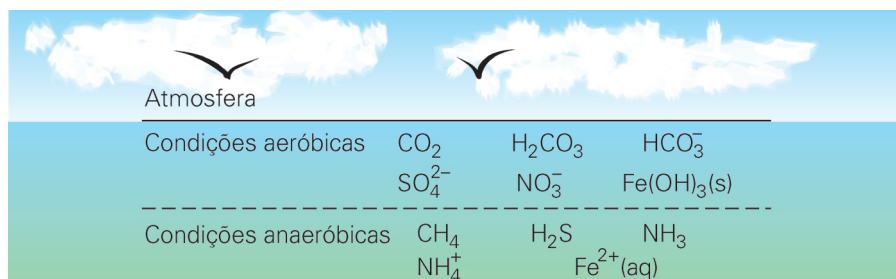


Figura 3: Representação esquemática da estratificação térmica e química das águas de um lago no verão, mostrando as principais espécies químicas presentes (adaptado de Baird, 2002).



Figura 4: Vista parcial da Lagoa da Jansen, mais famosa lagoa de São Luís, capital do Maranhão. Localizada no bairro Ponta D'Areia, sua beleza tem sido ofuscada pelo mal cheiro que de suas águas exala, fruto da decomposição anaeróbica de matéria orgânica. Esse problema pode ser minimizado, ou quiçá até eliminado, arejando-se a água da lagoa.

ente em águas que percorrem tubulações de ferro e aço, por favorecer a corrosão. Esse fato resulta do poder oxidante do O_2 (Eq. 1) e, por esse motivo, em águas tratadas é recomendado que os valores de OD sejam menores que $2,5 \text{ mg L}^{-1}$.

Considerações finais

As informações apresentadas no presente artigo evidenciam como o uso do conhecimento químico pode ser usado na avaliação da qualidade da água do ponto de vista ambiental (Tabela 2). Essas informações podem ser utilizadas pelo professor de Química no Ensino Médio para contextualização de conceitos de oxidação e redução e na abordagem dos temas estruturadores “Química e hidrosfera” e “Reconhecimento e caracterização das transformações químicas” descritos nos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 2002).

Notas

1. Também denominado de corpo hídrico, refere-se a uma denominação genérica para rio, ribeirão, riacho, córrego, lago, reservatório, laguna ou aquífero.

2. William Henry, amigo pessoal de John Dalton, dispensou muito tempo estudando a solubilidade de gases

em líquidos. Em 1801, ele resumiu suas descobertas na lei que conhecemos hoje como Lei de Henry. Ele descobriu que a solubilidade de um gás dissolvido em um líquido a uma dada temperatura é diretamente proporcional à pressão do gás na superfície do líquido (Hill *et al.*, 1993).

3. Diferentemente da maioria dos solutos sólidos, os gases se tornam menos solúveis quando a temperatura aumenta. O calor aumenta a mobilidade das moléculas de soluto e solvente. Em oposição aos solutos sólidos, as moléculas de gases podem escapar da solução quando estas atingem a superfície de um líquido em um sistema aberto.

4. Em decorrência da decomposição da matéria orgânica em sistemas aquáticos, há formação de compostos nitrogenados reduzidos, por exemplo, a amônia e o íon amônio. A oxidação biológica desses compostos a nitrato (NO_3^-) é denominada nitrificação.

5. Entende-se 100% de saturação de oxigênio a quantidade máxima de oxigênio que pode ser dissolvida na água em determinada pressão, temperatura e salinidade. Valores de OD acima de 100% de saturação podem ocorrer em águas naturais durante alguns períodos do dia, nos quais ocor-

re alta taxa de fotossíntese.

6. É a quantidade de matéria orgânica submersa que pode ser expressa por toneladas de carbono por hectare, indicando a carga orgânica presente no corpo d'água.

7. Perfil de espessura de um lago, rio ou oceano, desde o leito até a superfície do corpo d'água.

8. Microorganismos anaeróbicos é o termo que designa qualquer organismo inferior que consegue viver na ausência de oxigênio e microorganismos anaeróbicos facultativos são organismos que podem viver em ambientes com ou sem oxigênio (Lincoln *et al.*, 1982).

9. Os conceitos de *oxidação* e *redução* no texto também se relacionam a perda e ganho de elétrons, porém com certa especificidade para compostos orgânicos. *Um elemento ou composto é oxidado quando liga-se ou adquire átomos de oxigênio. Um composto é oxidado quando perde átomos de hidrogênio e é reduzido quando ganha átomos de hidrogênio* (Hill *et al.*, 1993).

10. A temperatura na qual a água apresenta sua densidade máxima é de $3,94 \text{ }^\circ\text{C}$ (Esteves, 1998).

11. Termo usado para designar a diminuição do teor de certas substâncias ou de íons em uma solução (Lincoln *et al.*, 1982).

12. Insuficiência ventilatória de uma célula ou de um tecido celular; pouco ou nenhum oxigênio disponível para uso celular, o que implica o acúmulo de íons hidrogênio no protoplasma e conseqüente acidose metabólica, com morte da célula (Soares, 1993).

13. No século 19, o fisiologista alemão Johannes Müller, ao filtrar água do mar através de uma rede de malha fina, descobriu uma comunidade constituída de pequenos animais e plantas. Em 1887, Viktor Hensen (outro fisiologista), denominou essa comunidade de “plâncton” e a definiu como sendo o conjunto de organismos que não dispõe de movimentos próprios capazes de se opor ao movimento da água. O plâncton é constituído pelo fitoplâncton (algas), pelo zooplâncton (pequenos animais) e pelo bacterioplâncton (Esteves, 1998).

14. Zooplâncton é o termo genérico para um grupo de animais de diferentes categorias sistemáticas, tendo como característica comum a coluna d'água como seu habitat principal. Na grande maioria dos ambientes aquáticos, o zooplâncton é formado por protozoários e por vários grupos de metazoários (Esteves, 1998).

15. Um grupo de compostos organossulfurados que são derivados do sulfeto de hidrogênio (H_2S), da mes-

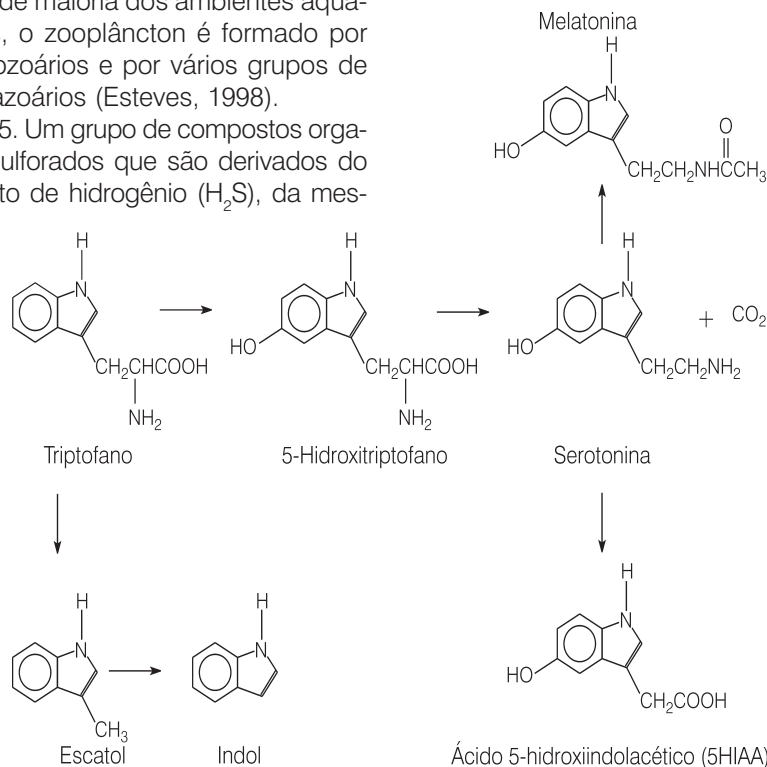


Figura 5: Biossíntese de diversas moléculas de relevância biológica a partir do aminoácido triptofano como precursor (adaptado de Hill *et al.*, 1993).

ma forma que os álcoois são derivados da água. Têm um odor desagradável característico. São também chamados de tióis, com uma fórmula

genérica R-SH, na qual R é um grupo alquila.

16. Também conhecido como 2,3-benzopirrol. É um sólido cangerígeno de cor branca amarelada e de aroma desagradável. Usado como um reagente químico para as indústrias de perfume e medicamentos (Parker, 1997). Também pode ser formado em ambientes naturais pela degradação do aminoácido triptofano.

17. Também conhecido como 3-metilindol. É um sólido branco que funde a 93-95 °C. É responsável pelo odor característico das fezes, apesar de sua estrutura química ser muito semelhante à do indol usado na composição de perfumes.

18. Aminoácido essencial da dieta dos seres humanos. É precursor de substâncias biológicas relevantes como o neurotransmissor serotonina (Figura 5).

Antonio Rogério Fiorucci (arfiorucci@uems.br), licenciado e bacharel em Química (com Atribuições Tecnológicas) e doutor em Ciências (Química Analítica) pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), é docente do Curso de Química na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (CQ-UEMS), em Dourados - MS. **Edemar Benediti Filho** (edemar@uems.br), licenciado e bacharel em Química, mestre e doutor em Ciências (Química Analítica) pela UFSCar, também é docente do CQ-UEMS.

Referências bibliográficas

AZEVEDO, E.B. Poluição vs. tratamento de água: duas faces de uma mesma moeda. *Química Nova na Escola*, n. 10, p. 21-25, 1999.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2ª ed. Trad. M.A.L. Recio e L.C.M. Carrera. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRASIL, MINISTERIO DA EDUCAÇÃO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA. PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. Disponível no sítio: http://cenp.edunet.sp.gov.br/Ens_medio/em_pcn.htm

CÖNNELL, D.W. *Basic concepts of environmental chemistry*. Boca Raton: Lewis, 1997.

ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

GUIMARÃES, J.R. e NOUR, E.A.A. Tratando nossos esgotos: Processos que imitam a natureza. Em: GIORDAN, M. e JARDIM, W.F. (Eds.). *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 1, p. 19-30, 2001.

HILL, J.W.; FEIGL, D.M. e BAUM, S.J. *Chemistry and life. An introduction to general, organic, and biological chemistry*. 4ª ed. Nova Iorque: Macmillan, 1993.

LINCOLN, R.J.; BOXSHALL, G.A. e CLARK, P.F. *A dictionary of ecology, evolution and systematics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

MOTA, S. *Preservação e conservação de recursos hídricos*. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

PARKER, S.P. (Ed.). *McGraw-Hill dictionary of chemistry*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1997.

SILVA, R.M.G. Contextualizando aprendizagens em Química na formação escolar. *Química Nova na Escola*, n. 18, p. 26-30, 2003.

SOARES, J.L. *Dicionário etimológico e circunstanciado de Biologia*. São Paulo: Scipione, 1993.

Para saber mais

Sobre o uso de experimentação simples para determinação do oxigênio dissolvido em água, recomendamos a leitura do artigo:

FERREIRA, L.H.; DE ABREU, D.G.; IAMAMOTO, Y. e ANDRADE, J.F. Experimentação em sala de aula e meio ambiente: Determinação simples de oxigênio dissolvido em água. *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 32-35, 2004.

Abstract: *The Importance of Dissolved Oxygen in Aquatic Ecosystems* – Oxidation and reduction reactions play a prime role in the sustenance of life in aquatic ecosystems. In this paper the importance of dissolved oxygen as an oxidizing agent, the factors that affect its solubility, the dissolved-oxygen balance in aquatic ecosystems and its variations with water column depth are discussed. High-school teachers can use this information when dealing with the structuring themes "chemistry and the hydrosphere" and "recognition and characterization of chemical transformations" described in the National Curricular Parameters.

Keywords: dissolved oxygen, aquatic ecosystems, oxidation-reduction