

# Alguns aspectos da Hidrobiologia importantes para a Engenharia Sanitária

SAMUEL MURGEL BRANCO (\*)

Biologista do laboratório central do DAE

*Pode-se afirmar que, até hoje, no Brasil, a Hidrobiologia com fins sanitários se encontra em estado incipiente, constituindo um terreno em que apenas aventuramos os primeiros passos. Quasi todos os nossos reservatórios naturais ou artificiais, de água doce, inclusive aqueles que servem ao abastecimento público, permanecem inteiramente desconhecidos, do ponto de vista limnológico ou hidrobiológico. Muitos dos nossos projetos de abastecimento de água apresentam, apenas, um pequeno espaço de seu relatório dedicado ao estudo das qualidades da água e, neste, quasi sempre somente se referem às qualidades físicas, químicas e bacteriológicas, nenhuma menção sendo feita a estudos de algas e outros microorganismos que tantas dificuldades poderão causar, futuramente, ao tratamento dessa água, encarecendo sobremaneira o produto. E, no entanto, aí estão, pululando, os exemplos desses prejuízos, muitos deles em nossas próprias Estações de Tratamento, outros relatados pela bibliografia estrangeira, constituindo, sempre, dolorosas experiências, tais como: a destruição de filtros, despesas crescentes em coagulantes, mau cheiro e mau gosto nas águas, sem contar prejuízos mais sérios, que poderão advir de certos grupos de algas conhecidas como tóxicas, podendo produzir moléstias intestinais no homem e morte de animais domésticos e peixes.*

*Tendo em vista esses fatos e, acreditando que muitas dessas dificuldades poderão ser solucionadas desde que se disponha de um pequeno acervo de conhecimentos teóricos sobre essa extensa matéria, foi que resolvemos abordar, ainda que resumidamente, alguns de seus mais importantes aspectos, nesse trabalho que dedicamos a todos aqueles que, especialmente engenheiros e químicos, se dedicam à difícil tarefa de projetar ou operar tratamento de água para abastecimento público ou privado.*

## I — INTRODUÇÃO

### a) Objeto do estudo da Hidrobiologia Sanitária

Quando se fala em Hidrobiologia Sanitária, isto é, estudo dos organismos aquáticos do ponto de vista sanitário, pode-se dar a impressão de que tal estudo visa a eliminação radical, o combate sem tréguas a todos os organismos, ou pelo menos, microorganismos existentes na água destinada ao consumo público. Tal interpretação é, entretanto, falsa, podendo mesmo, levar o técnico em tratamento de águas a êrros graves na orientação de seu trabalho. Microorganismos não são, necessariamente, organismos nocivos à saúde pú-

blica ou, mesmo, ao tratamento da água; mais do que isso, os microorganismos chegam a ter interesse econômico e mesmo sanitário em águas naturais. Assim é que, uma das maiores utilidades do estudo da Hidrobiologia está em suas aplicações à piscicultura: as estações biológicas de piscicultura pesquisam microorganismos aquáticos não com a finalidade de destruí-los, mas, pelo contrário, de descobrir meios para aumentar seu número, em virtude de constituírem eles a principal fonte de alimentação dos peixes. Além disso sabemos que organismos vegetais produzem oxigênio, de interesse não só para a respiração dos animais aquáticos, como também, para a oxidação de matéria orgânica e ainda para melhorar a qualidade da água potável. Sabemos também da necessidade de bactérias na digestão de materiais de esgoto e veremos ainda, a importância de certos protozoários que regulam o desenvolvimento numérico dessas bactérias.

Há, entretanto, ao lado dos benefícios, vários prejuízos, alguns bastante sérios, que podem ser causados por microorganismos quando estes ultrapassam um certo número por unidade de volume de água: entre outros, podemos citar a transmissão de moléstias, a produção de mau gosto e mau cheiro, distúrbios que causam na filtração, na decantação, etc.

Há necessidade, pois, de se executar um controle rigoroso sobre o desenvolvimento de tais organismos, de maneira a não permitir que se desenvolvam excessivamente, isto é, mante-los em equilíbrio biológico. Sabemos que, num ambiente qualquer, inclusive a água, cada organismo se encontra sujeito à ação do meio químico e dos outros organismos. O seu desenvolvimento se encontra, dessa maneira, limitado pelas condições ambientes. Se, por qualquer razão, for eliminado um dos fatores limitantes, seu desenvolvimento será excessivo. Assim, por exemplo, agem como fatores limitantes ao desenvolvimento de determinada alga, a quantidade de sais minerais dissolvidos na água, a quantidade de gás carbônico, de luz, o número de peixes, etc. Se, por exemplo, houver um aumento da quantidade de sais minerais produzido por adubação ou despêjo de material orgânico em decomposição etc., ou uma diminuição do número de peixes, a alga passará a se desenvolver excessivamente.

A esse conjunto de fatores, limitando-se uns aos outros, chamamos *equilíbrio biológico*. O estudo dessas relações, isto é, o estudo do ambiente biológico é chamado *Ecologia*. A parte dessa ciência que estuda os ambientes de água doce denomina-se de um modo geral *Limnologia*.

A Hidrobiologia, com fins sanitários, apoia-se em grande parte em conhecimentos fornecidos por esta última, pois, preocupando-se em *manter em equilíbrio biológico os organismos que povoam as águas de abastecimento público*, deve procurar, antes de tudo, reconhecer o meio químico, físico e biológico

(\*) Os desenhos das algas, que ilustram esse trabalho foram execuções do natural, ao microscópio, pelo autor e pela Biologista Wilma Cardinale Branco, Estagiária nesse Laboratório.

existente no lago, rio ou represamento em estudo. A Hidrobiologia não é tanto, pois, um estudo sistemático de microorganismos (embora não possa dispensá-lo) porém, mais, um estudo de relações entre organismos e meio, bem como interrelações de vários tipos de organismos a fim de poder exercer sobre eles, um controle constante.

#### b) Bibliografia

O livro mais completo sobre Hidrobiologia, do ponto de vista sanitário é, sem dúvida o "Microscopy of Drinking Water" (33) de G. C. Whipple. Dêsse mesmo autor, em colaboração com H. B. Ward, existe o "Fresh Water Biology" (37) que é uma descrição sistemática, acompanhada de desenhos dos principais gêneros de organismos que ocorrem nas águas doces.

Subsídios de Limnologia, necessários a êsse estudo, poderão ser obtidos numa publicação em português, do Ministério da Agricultura de autoria de Herman Kleerekoper, que trabalhou em São Paulo no Depto. de Águas e Esgotos em 1928-29 e na Faculdade de Filosofia da U. S. P.

Outros trabalhos mais completos, sobre o assunto, são os tratados de Limnologia de F. Ruttner (23) (traduzido para o inglês), o de Welch (31) e o de Hutchinson (2 vols.) (11). Sobre a parte técnica da colheita de amostras, ensaios químicos de água necessários à Hidrobiologia, contagens de microorganismos etc., destacamos o "Limnological Methods" (32) de Welch e o "Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Water" (1), publicado pela American Public Health Association e outros.

Muitos livros serão obrigatoriamente utilizados pelo especialista em Hidrobiologia, tais como tratados de Ecologia, fisiologia das algas, chaves sistemáticas de todos os grupos de água doce etc..

## II — BIOLOGIA — ESTUDO DO SÉR VIVO

### a) Definição — Propriedades. (\*)

Sem dúvida, os organismos, ou os seres vivos em geral possuem características próprias que os identificam entre todos os objetos que nos cercam. Quando, entretanto, procuramos definir exatamente essas características encontramos sérias dificuldades. Assim, por exemplo, notamos bem uma diferença sensível, porém não perfeitamente definível, entre o crescimento de um organismo rudimentar e o crescimento físico-químico de um cristal de cloreto de sódio colocado em solução saturada do mesmo sal. O mesmo podemos verificar em relação à irritabilidade dos seres vivos e certo fenômenos físico-químicos observáveis em colóides, ou ainda com relação à reprodução etc..

Parece que a questão fundamental nesse problema e para a qual devemos voltar nossa atenção é, tanto do ponto de vista estritamente biológico como sanitário, a nutrição característica de todo o ser vivo.

Realmente, podemos verificar que os seres vivos crescem e se reproduzem a partir de substâncias que retiram do meio em que vivem, porém, o que há de característico nesse processo e que não se observa em nenhum cristal é o fato de que o ser vivo não retira do ambiente *exatamente a substância que cons-*

*titui a massa de seu corpo*, mas é age sobre as substâncias do meio de maneira a *transformá-las* naquelas que o constituem. Nisto consiste a sua capacidade de vida: na interação mútua entre indivíduo e meio, resultando disso a autoconstrução daquele.

O organismo, como vemos, não sofre, apenas, influências do meio, mas exerce, também sobre este, sua influência. Os organismos são capazes de produzir, sobre o ambiente, grandes modificações, principalmente de natureza química ou físico-química. Este é um dos aspectos, talvez o mais importante, da ação dos organismos aquáticos sobre a água. As relações estreitas existentes entre composição física e química da água e a frequência de determinados tipos de organismos nesse ambiente, referem-se não somente a exigências por parte dos organismos quanto à composição química do meio (quantidade de determinados sais, valor osmótico, etc.) como também às *modificações produzidas no ambiente pelos próprios organismos*, como resultado da assimilação de materiais e produção de outros.

### b) Organismos vegetais e animais.

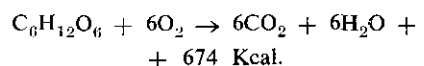
Outro problema importante, com relação aos seres vivos e que diz respeito também à Hidrobiologia sanitária, consiste em se estabelecer uma distinção nítida entre animal e vegetal. Com respeito à Hidrobiologia Sanitária uma tal distinção se torna fundamental, uma vez que as ações exercidas por um e outro tipo de organismos sobre a água são, às vezes, diametralmente opostas, como veremos a seguir.

Com respeito à forma, ou ao caráter sésil ou mótil dos organismos, reações de irritabilidade etc., pouca ou nenhuma distinção pode ser feita entre os dois grupos. Um caráter químico, estrutural, apenas, pode ser apontado como distintivo da maior parte dos vegetais: a presença da *celulose*, praticamente inexistente no reino animal e que constitui o esqueleto rígido que quasi todos os grupos vegetais. Do ponto de vista ecológico (que é o que mais interessa) entretanto, uma outra distinção assume importância muito mais decisiva: o tipo de nutrição característico de um e outro grupos.

Já vimos que uma característica constante em todos os seres vivos é a de que todos eles se nutrem. Pois bem: em relação à nutrição, encontramos uma diferença fundamental entre os organismos animais e a grande maioria dos vegetais e esta se refere à capacidade que possuem estes últimos de sintetizar o seu próprio alimento, a partir de elementos exclusivamente minerais. Como sabemos, os animais, pelo contrário, exigem substâncias orgânicas muito complexas (como *proteínas*, por ex.) para sua nutrição.

Todos aqueles que já observaram os vegetais, devem ter percebido que eles crescem ou se reproduzem tão rapidamente que adquirem, em pouco tempo u'a massa de material muito maior que a produzida por qualquer animal terrestre. Isto porque, enquanto que os vegetais, de um modo geral, durante toda sua vida acumulam material sem dispender-lo em grande quantidade, os animais, pelo contrário, dotados de maior movimento, ou mesmo movimento constante, consomem o material construído ou adquirido transformando-o em energia indispensável a esses movimentos.

Essa transformação de material em energia é realizada pelo fenômeno respiratório que pode ser resumido na seguinte reação:



(\*) Para maiores detalhes sobre êsse assunto, remetemos o leitor ao pequeno livro "Do mineral ao Protoplasma" (5) de Samuel Branco e Christiano Murgel.

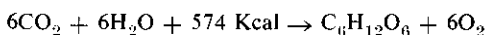
Por êsse processo, vemos que a maior parte do material ingerido pelos animais é transformado em glicose a qual, oxidada pelo oxigênio retirado do ar, no processo respiratório, produz 674 Kcal. por molécula, dando como subproduto 6 mol. de  $\text{CO}_2$  que são desprendidas para o ar novamente. Essas 674 Kcal. obtidas por molécula de glicose oxidada, constituem a energia necessária à atividade muscular do animal.

Na maioria dos vegetais, pelo contrário, não havendo quasi despesa de energia (a não ser u'a pequena quantidade utilizada em processos químicos etc.) êsse fenômeno respiratório é muito reduzido, sendo portanto, muito reduzido também, o consumo de matéria prima. Esta é, pois, acumulada sob a forma principalmente de polissacarídeos insolúveis, tais como amido, celulose etc. Porisso, a reprodução e o crescimento dêstes são muito mais intensos que os encontrados, em geral nos organismos animais, podendo mesmo ser considerada como uma diferença fundamental entre os dois grupos, a de que, enquanto que os vegetais, durante sua vida, principalmente *assimilam*, os animais principalmente *desassimilam*, isto é, consomem material.

Entretanto, com relação ao fenômeno, podemos notar, ainda, um outro fato de grande importância: Todos nós, certamente, já plantámos uma planta em um vaso. Observamos, então, que em pouco tempo essa planta cresce, adquirindo, às vêzes, um volume superior ao do próprio vaso. De onde teria ela, pois, retirado matéria prima para sua construção? Sabemos que na constituição celular de u'a planta entra uma grande percentagem de água e poderíamos supor que o aumento do volume fôsse devido somente à água que adicionamos diariamente ao vaso: entretanto, podemos verificar que o pêso sêco da planta é, ainda, muitas vêzes, superior ao pêso sêco da terra do vaso, e isto vem demonstrar não ter sido dessa terra que a planta retirou o material com que se auto-construiu.

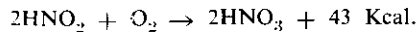
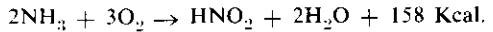
Outros exemplos são ainda muito significativos: Muitas plantas são cultivadas a partir de, apenas, um pequeno fragmento de caule, colocado em um recipiente contendo simplesmente água da torneira. Nêsse fragmento brotam fôlhas, a planta se desenvolve, adquirindo grande volume. Outras, ainda, como é o caso da chamada "*Fortuna*", desenvolvem-se a partir de uma fôlha dependurada à parede por meio de um prego.

Em todos êsses casos, vemos que a planta se desenvolve formando grande massa de material orgânico, aparentemente a partir de nada, pois do meio em que vive, através das raízes ela não retira, senão água e pequeníssima quantidade de sais minerais. Isto, porque as plantas são capazes de *sintetizar*, como já dissemos, substâncias orgânicas, a partir exclusivamente de substâncias minerais. A fonte de carbono, de que se utilizam para a construção de moléculas altamente complexas que a constituem é apenas o *gás carbônico do ar*. Quasi todos os grupos vegetais são capazes de sintetizar matéria orgânica a partir de gás carbônico, por meio de uma reação que, em linhas gerais, pode ser resumida no seguinte:



Para a realização dessa reação vemos que são necessárias 674 Kcal. e as plantas em geral, obtêm essa energia a partir da luz solar, por intermédio de uma substância de cor verde, denominada *clorofila*, capaz de realizar a sua transformação em energia química. Outros vegetais, como bactérias, desprovidos de clorofila, realizam processo idêntico, utilizando energia proveniente de outras reações químicas que realizam, tais como, por exemplo, *Nitrobactérias*, muito

difundidas no sólo, que oxidam  $\text{NH}_3$ , transformando-a em nitratos, ou êstes em nitratos, pelas reações:



Importantes são também as *Ferrobactérias*, que oxidam o ferro bivalente, em forma de carbonato ferroso, transformando-o em carbonato férrico que se decompõe hidroliticamente, com separação de hidróxido férrico. Verificam-se em charcos ou em poças de água ferruginosas, a presença dessas bactérias, pela "nata" de cor pardo-avermelhada que formam. Em tubos condutores de água chegam a produzir entupimento, por depósitos dêsses óxidos de ferro.

A reação de síntese da glicose, pelos vegetais, recebe o nome de *Fotossíntese*, quando a energia necessária é obtida a partir da luz, por intermédio da clorofila, e *Quimiossíntese*, quando essa energia é conseguida a partir de reações químicas paralelas.

Podemos observar, ainda, nessa reação de síntese, várias consequências importantes:

1) O primeiro produto formado é a glicose. A partir desta, por intermédio de *enzimas*, que são catalizadores orgânicos, a planta forma tôdas as outras substâncias orgânicas que a constituem, inclusive as proteínas. (Naturalmente, com adição de outros elementos, especialmente nitrogênio, obtidos a partir de sais minerais dissolvidos na água).

2) A reação de síntese é exatamente a reação inversa da respiração isto é, sempre que a planta necessita energia para outras atividades utiliza-se da glicose que é, por assim dizer, um armazém de energia utilizável (674 Kcal. por molécula). Por essa mesma razão, os vegetais constituem, por excelência a fonte primária de alimentação animal. A glicose, sempre que vai ser armazenada para utilização futura, é, transformada, na planta, em açúcares menos solúveis como o amido e o glicogênio.

3) O sub-produto da reação de síntese é o oxigênio. De cada molécula de gás carbônico e de água utilizada pela planta, resulta u'a molécula de oxigênio que é desprendida para o ar. Ora, como vimos, a planta realiza muito mais síntese do que respiração ou oxidação. Assim sendo, a sua contribuição em oxigênio para a atmosfera é, não só considerável, mas até mesmo decisiva: segundo alguns autores, não existia oxigênio livre na atmosfera (por ter sido totalmente consumido na oxidação dos minerais) antes da existência dos primeiros vegetais autossintetizantes. Os vegetais são, por excelência, purificadores do ar, quer atmosférico, quer dissolvido na água.

4) A luz é um elemento indispensável à vida da maioria dos vegetais não sintetizantes (fungos e parasitas) e aqueles que se utilizam de energia obtida em reações químicas (bactérias).

Essas características, como dissemos, se bem que abrangem a maior parte dos vegetais, não são absolutas. Muitos vegetais, por exemplo, não realizam síntese (os principais dêste grupo são os fungos, tais como cogumelos e "Mofos"). Além disso, em certos grupos de vegetais inferiores a distinção não é fácil, como nos vegetais superiores. Assim, por exemplo: existe um grupo de seres unicelulares, dotados de pequenas organelas denominadas *flagelos*. Todos êles têm várias características em comum, tais como: uma só célula, tipo de locomoção, tipo de reprodução etc. Entretanto, alguns dêles possuem pigmento clorofiliano, e realizam fotossíntese, enquanto outros não. Biologicamente seria muito artificial coloca-los em 2 grupos distintos, uma vez que filogeneticamente, isto

é, quanto à sua origem e grau de evolução, são todos êles idênticos. Além disso alguns dêles parecem representar um grupo intermediário, pois, embora possuindo clorofila, alimentam-se de substâncias orgânicas quando afastados da luz.

Do ponto de vista hidrobiológico sanitário, Marcus Ingram e C. Mervin Palmer apresentam num trabalho denominado "Suggested Classification of Algae and Protozoa in Sanitary Science" (12), uma sugestão para sua classificação, usando a capacidade de síntese orgânica como característica e justificam essa classificação artificial considerando que, para fins de tratamento de água interessam, principalmente, os efeitos do organismo sobre o meio, isto é, a maneira pela qual os organismos afetam as qualidades da água: assim seriam, para nós, considerados vegetais somente aquêles que produzem oxigênio e animais apenas aquêles que se alimentam de matéria orgânica. Parece aceitável essa sugestão, desde que se adote terminologia referente ao caráter sintetizante ou não sintetizante dos organismos, sem denominá-los Algas ou Protozoários, o que seria artificial.

Pelo processo fotossintético, pois, os vegetais aquáticos enriquecem em oxigênio o meio líquido. Por outro lado, retiram deste somente gás carbônico e sais minerais. Os animais aquáticos, pelo contrário (inclusive os microorganismos animais) exigem do meio, também matéria orgânica. Sua principal fonte de alimento, é pois, constituída por vegetais. Existe, assim, no ambiente hídrico, uma estreita relação entre êsses vários fatores: sais minerais, luz, gás carbônico, vegetais e animais.

Animais e vegetais em decomposição constituem, por outro lado, importante fonte de sais minerais para a vida dos vegetais e nesse processo, o próprio oxigênio produzido pelos vegetais, tem importância na oxidação da matéria orgânica, reduzindo-a a gás carbônico e sais minerais.

### c) *Ecologia*

É o estudo, como vimos, dos seres vivos, em relação ao ambiente em que vivem. O ambiente é constituído de fatores tais como: temperatura, luz, sais minerais, oxigênio, pH, salinidade etc. Todas as espécies de animais ou vegetais são exigentes com relação a êsses fatores. Por essa razão, determinados organismos encontram-se somente em determinados ambientes possuindo assim, uma distribuição geográfica característica. Mas não é só: dentro de um mesmo lago ou rio, podemos encontrar regiões diferentes, caracterizadas por diferentes elementos, cada qual com *flora e fauna típicas. Assim é que distinguimos gradientes de temperatura, ou de intensidade luminosa, de acordo com a profundidade, ou ainda, gradientes de concentração de sais minerais, oxigênio, pH etc. Existe, pois, além de uma distribuição geográfica, uma distribuição topográfica, como também uma distribuição no tempo com relação a ciclos anuais: distribuição estacional.*

### d) *Associações: estratificação biológica.*

É lógico que organismos que necessiam oxigênio vivam, sempre que possível, próximos a outros organismos que produzam êsse elemento, ou fontes de oxigênio: assim, por exemplo, muitas bactérias vivem próximas a algas fotossintetizantes. Da mesma maneira, todo o organismo que se nutre, ou que de qualquer modo é beneficiado pelos sub produtos da atividade de outro organismo, procura viver próximo a êste. Por êsse processo, estabelecem-se associações biológicas. Há também associações formadas por organismos que

vivem do mesmo alimento, e que portanto procuram o mesmo ambiente.

As várias condições predominantes em níveis diferentes de um lago ou rio, bem como características intrínsecas dos próprios organismos determinam a formação de comunidades típicas, situadas em planos diferentes, formando como que uma estratificação biológica ou ecológica. Assim, por exemplo, todos os organismos que necessitam grande quantidade de luz para síntese orgânica procuram situar-se à tona d'água. Aquêles que vivem de matéria orgânica em decomposição, situam-se no fundo, onde estas se precipitam, etc. Essas várias comunidades recebem denominações de acordo com o nível em que vivem:

*Neuston*: composto pelos organismos que habitam a película de tensão superficial.

*Plancton*: organismos de superfície, geralmente imóveis.

*Necton*: organismos livre nadantes, habitando a massa total de água.

*Benton*: organismos que habitam o fundo dos lagos — geralmente fixos.

O termo *plancton* é usado, entretanto, de um modo mais geral, para designar o conjunto de microorganismos de vida livre que habitam um lago, rio ou mar.

## III — A ÁGUA COMO MEIO ECOLÓGICO

A distribuição dos organismos no ambiente aquático, a sucessão de vários gêneros em épocas diferentes, o aparecimento de um determinado gênero em grande quantidade etc. estão grandemente sujeitos às variações estacionais. Com respeito às algas, por exemplo, cita S. H. Tiffany ("Fresh Water Algae Ecology" (29) que, em certo reservatório de Illinois, as algas de inverno são substituídas por algas de primavera e estas por algas de verão. Transeau classifica mesmo, ecológicamente as algas em 6 grupos: Algas de Inverno, de Primavera, de Verão, Outono, Algas Perenes e Efêmeras. Diz Tiffany que "A distribuição estacional de algas aquáticas é devida ao estabelecimento de alguns grupos definidos produzindo plantas sexualmente maduras, em épocas ideais, específicas, do ano. A abundância de algas é associada de perto com a periodicidade estacional restrita e, portanto, varia também geograficamente".

Os fatores estacionais que interferem no desenvolvimento de um ou de outro grupo de organismos em maior ou menor escala, são vários, tais como: temperatura, luz, ventos etc. Além disto, muitos fatores de natureza química, decorrentes das estações, exercem grande influência. Assim, por exemplo, sabemos que uma das condições essenciais para o desenvolvimento de vegetais em uma água, é a existência, nela, de certa quantidade de sais minerais. Em geral, a maior parte dos sais exigidos pelas plantas aquáticas é obtida através da decomposição de vegetais que vivem nas margens do reservatório ou dos rios tributários, sendo êsses restos, em fase de mineralização, conduzidos pelas chuvas.

Vemos, assim, que êsse fenômeno atinge seu máximo quando preponderam dois fatores estacionais: queda de folhas e chuvas. Mesmo quando é o homem que indistintamente fornece os sais necessários a êsse desenvolvimento, êsse fornecimento, muitas vezes, obedece aos períodos estacionais: assim é que, uma das fontes importantes de sais minerais é constituída pelas terras cultivadas e ricamente adubadas. Ora, sabemos que tais adubos são, em geral, colocados em épocas certas do ano e, além disto, seu trans-

porte até o reservatório ou rio está na dependência do fator chuva. Um exemplo característico desse tipo de periodicidade é o que se observa em relação à morte de peixes; temos observado, em São Paulo, que grande número de queixas ou consultas sobre a morte em massa de peixes em rios ou reservatórios particulares se verifica durante os meses da primavera, coincidindo, pois, com a época em que é aplicada a calda bordaleza (mistura de cal e sulfato de cobre) às plantas de cultura para eliminar muitos parasitas. Sendo o  $\text{Cu SO}_4$  muito tóxico para os peixes, em quantidades extremamente pequenas (inferiores a 1 parte por milhão) verifica-se a morte em massa desses animais nos rios e açudes em que são lavadas as bombas de aplicação do sulfato, ou, ainda, quando uma chuva forte, lavando as plantas, leva, em solução, o tóxico através da enxurrada.

Como vemos, a água constitui um meio ecológico extremamente variável pelas condições ambientes, quer naturais, quer artificiais.

São as seguintes as propriedades mais importantes da água, do ponto de vista ecológico:

#### a) Propriedades Físicas:

##### 1) densidade e peso específico.

A água atinge densidade máxima a 4° C, em virtude de possuir a essa temperatura um volume mínimo. Isso se deve ao fato de que as moléculas de água, ao contrário das de outros líquidos, se dispõem segundo tetraedros e não esferas, a temperaturas inferiores a 4° C. Como veremos ao estudarmos as propriedades térmicas, esse fato assume máxima importância limnológica, na localização relativa das várias camadas de água com temperaturas diferentes. Diz, mesmo, Ruttner que: "Pode-se, sem exagerar, dizer que o mais importante fenômeno regulador do equilíbrio químico da água de um lago, é, primariamente, função das diferenças de densidade" ("Fundamentals of Limnology") (23). É importante, também lembrar que a densidade sofre maiores variações às altas temperaturas que às baixas. Assim, entre 24° C e 25° C a mudança é trinta vezes maior do que entre 4 e 5° C.

O peso específico da água é 775 vezes maior que o do ar. Isto traz, também, características ecológicas importante, especialmente para os vegetais aquáticos que, sendo sustentados pelo meio, não necessitam o esqueleto sólido, constituído por fibras resistentes, encontrado nas plantas aéreas.

##### 2) Viscosidade.

A viscosidade da água tem certa importância na distribuição do plancton. Sendo a viscosidade extremamente variável com a temperatura, os microorganismos ocupam níveis diferentes de profundidade, de acordo com a temperatura ambiente. "A grande dependência de viscosidade da água para com a temperatura faz com que mudanças na temperatura causem movimentos verticais do plancton. Assim, a elevação da temperatura e uma consequente diminuição da viscosidade causarão a descida dos organismos até as camadas mais frias, mais viscosas e de maior densidade específica" (Kleerekoper — "Introdução ao estudo da Limnologia") (15).

Embora tenhamos, já verificado, através de experiências de laboratório, que esse aumento da velocidade da queda não é significativo, para certas algas, especialmente algumas do gênero *Staurastrum*, em virtude da pequeníssima velocidade com que se precipitam mesmo às temperaturas mais elevadas (cerca de 70 horas, ou sejam, quase 3 dias para caírem um metro, a 26,5° C), não poderemos deixar

de admitir que esse fenômeno tenha significado, com relação a outros tipos de algas. Numa reprise para abastecimento de água, durante o inverno, com a diminuição da temperatura, pode acontecer que as algas subam para a superfície, sendo levadas para a Estação de Tratamento, onde poderão causar distúrbios.

#### 3) Radiações: propriedades óticas: cor e turbidez.

As radiações que penetram na superfície da água são divididas em 2 partes: uma que atravessa o líquido e vai diminuindo em quantidade, ao mesmo tempo que muda em qualidade: esta é a luz. Outra é absorvida pela água: calor. Ambas têm grande importância para a vida e distribuição dos organismos da água.

A luz, penetrando, é responsável por um "clima de luz" característico para cada profundidade de determinada água. Esse "clima de luz" é importante porque determina as condições para assimilação de carbono pelos vegetais verdes.

Teoricamente, um lago profundo visto de cima seria negro, isto é, a luz seria total e integralmente absorvida. Entretanto tal fenômeno nunca acontece. Em virtude da falta de transparência devida à presença de partículas e, sendo a luz solar policromática, isto é, composta de ondas de comprimentos diversos, cada qual com um poder de penetração diferente, as massas de água têm coloração variando do azul esverdeado ao marrom, de acordo com sua composição, às várias profundidades. Hoje, sabe-se mesmo, pela "teoria da flutuação" de Smoluchowski-Einstein, que, ainda que não existam partículas em suspensão, há uma certa dispersão da luz produzida por variações de densidade causada por movimentos irregulares de moléculas.

Essa dispersão, é, proporcional à quarta parte da energia do comprimento de onda. Assim, ondas curtas são dispersadas em muito maior grau que às longas. Quando há partículas em suspensão, o efeito da dispersão é muitíssimo aumentado pela reflexão nelas. Se as partículas são pigmentadas são refletidas luzes coloridas que combinando com o efeito de filtro ótico da água, produzem uma cor mista (Ruttner). Matérias húmicas, provenientes de folhas em decomposição, geralmente são responsáveis pela coloração das águas, como também compostos de ferro ou manganês. Deve-se, ainda, distinguir uma cor específica de uma cor aparente, em que há influência do ambiente: os arredores e o fundo podem modificar a cor aparente de um lago. Assim, um fundo colorido, dependendo da profundidade, ou as margens cobertas de vegetação que podem causar variações do espectro da luz incidente, ou ainda a cor do céu que varia com o tempo e com o dia, podem alterar a cor do lago, produzindo uma cor aparente, não devida, portanto, à composição da água.

Ora, sabemos que os vegetais clorofilados, para sua síntese orgânica, necessitam luz. Além disso, não são todos os comprimentos de onda igualmente eficazes nesse processo, mas o são, principalmente os que se situam em torno do vermelho, e, em menor grau, do azul. Tendo, os vários comprimentos de onda, poder de penetração diferentes, estes fatores são decisivos na capacidade de desenvolvimento e na qualidade do plancton de uma água. De acordo com a quantidade e tipos de pigmentos que possuem os vários grupos de algas, situam-se elas, também em níveis diferentes de um lago, conforme a qualidade de luz que as atinge.

A turbidez pode, também ser causada por grande variedade de partículas em suspensão. Desde as partículas minerais arrastadas pelas chuvas até o próprio plancton, quando desenvolvido em grande quantidade. O fenômeno da "floração das águas",

que consiste em acúmulo de grande quantidade de algas, especialmente Cianofíceas, na película superficial de água, limita a transparência da água a poucos centímetros de profundidade. A turbidez tem evidentemente, grande importância como fator limitante da penetração da luz, impedindo ou dificultando o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes nas regiões mais profundas.

#### 4) Calor e temperatura.

Diz Ruttner: "Pode-se afirmar que as relações térmicas são o ponto pivot de toda a investigação limnológica". Realmente o calor é o mais importante regulador dos processos vitais. Sabemos através da lei de Van't Hoff que as reações químicas têm sua velocidade geralmente aumentada 2 ou 3 vezes para cada 10° C de aumento de temperatura. Sendo os fenômenos da fisiologia celular, essencialmente fenômenos de natureza físico-química, todos os processos vitais de um organismo são, dentro de certos limites, ativados pela elevação da temperatura. Com êsse respeito existem, fundamentalmente, 2 tipos de organismos na natureza: aqueles capazes de manter, no seu interior, uma temperatura constante (organismos *homeotermos* — somente aves e mamíferos) e os que não possuem essa capacidade (organismos *poiquilotermos* — todos os vegetais e animais, com exceção dos dois grupos referidos). Sendo que a quasi totalidade dos organismos estritamente aquáticos pertencem ao segundo grupo, só com êstes nos preocuparemos.

Os organismos incapazes de regular sua temperatura, e dependendo desta, sua atividade orgânica, têm suas funções fisiológicas limitadas estreitamente pela temperatura do ambiente, isto é, da água.

Vegetais ou animais *poiquilotermos*, sujeitos a uma temperatura baixa, têm suas atividades celulares e orgânicas (tais como: respiração, fotossíntese e nutrição etc.) reduzidas proporcionalmente. Daí, o grande interesse em estudarmos essas relações no ambiente aquático.

O calor específico da água é muito alto; Poucas substâncias o possuem maior. Em consequência disto, o clima aquático é muito mais estável que o terrestre. Entretanto, com respeito à distribuição do calor, encontramos fenômenos muito curiosos: durante as estações quentes, a temperatura de um lago está distribuída mais ou menos uniformemente mas, no inverno, ao contrário do que se poderia esperar da distribuição das radiações solares, observamos que nos primeiros 10 metros, abaixo da superfície, não há diferenças apreciáveis de temperatura, embora nessa camada se dê a absorção de 99% da radiação total. *Decresce a temperatura, rapidamente, a partir dos 10 ou 12 metros até atingir os 20 metros aproximadamente.* Abaixo desta profundidade, não há grandes variações. O que mais nos chama a atenção em um gráfico de um lago desse tipo é a rápida queda de temperatura (de vários graus por metro) que se observa entre os 12 e os 20 metros. Esse trecho da curva, em gráfico, é denominado *termoclina*, e a região correspondente no lago, recebe o nome de *metalimnio* ou camada de descontinuidade. As regiões situadas acima e abaixo desta são chamadas respectivamente *epilimnio* e *hipolimnio*.

Há, assim, uma verdadeira *estratificação térmica* da água que varia com as estações, isto é, com a temperatura. Cada uma das referidas camadas é caracterizada por uma fauna e flora típicas, bem como por teor de oxigênio, gás carbônico etc., típicos.

A água de um reservatório, entretanto, está em constante movimento de circulação provocado, principalmente, pelos ventos. Como explicar então, que não se misturam as camadas de água de temperaturas diferentes? Sabemos que a cada variação de

temperatura, corresponde uma variação de densidade da água. Sendo o abaixamento de temperatura além de 12 metros de profundidade muito maior que na superfície, a diferença de densidade entre essas 2 camadas é muito grande. A camada "leve" da água da superfície, impelida pelo vento, ao atingir a outra margem aprofunda-se, mas encontra resistência na camada inferior, de maior densidade, e volta em sentido contrário, deslizando sobre essa, mas sem se misturar com ela.

Em um clima temperado, como na Europa, onde foi feita a maior parte dessas observações, o fenômeno parece simples: a diferença de temperatura entre a superfície e o *metalimnio* é muito grande. Mas acontecerá o mesmo num clima tropical ou subtropical? Sim. E a explicação é a seguinte: já vimos que a variação de densidade é muito maior às altas temperaturas que às baixas. Assim, a variação entre 24 e 25° C é 30 vezes maior que entre 4 e 5° C. "A consequência deste fenômeno físico para a hidrografia é evidente: Uma diferença apenas de 1 a 2 graus entre 2 camadas de um lago quente, tropical ou sub-tropical, já causa uma diferença de densidade suficientemente grande para que a estratificação seja bastante estável. Para conseguir este mesmo valor de estabilidade num lago temperado ou frio, é preciso uma diferença muito maior" (Kleerekoper "Estudo limnológico da represa de Sto. Amaro em São Paulo" (14).

No verão, à medida que se aquecem as camadas superiores, vai-se aquecendo, também a camada correspondente ao *metalimnio* e este, caracterizado pela queda brusca de temperatura vai se aprofundando, invadindo o *hipolimnio* que acaba por desaparecer.

Todos êstes fenômenos, como é fácil perceber, têm grande importância na distribuição dos organismos em um lago, como também, com relação à sua produtividade nas várias estações do ano.

#### b) Propriedades químicas da água.

A composição iônica dos organismos é muito semelhante à da água. McCallum observou, mesmo, que, com relação à água do mar, inclusive as proporções entre os vários íons são idênticas às encontradas no sangue de animais terrestres e partiu desse fator para uma interessante hipótese filogenética sobre os organismos terrestres. É evidente, com relação aos organismos de água doce, que todos os seus átomos, obrigatoriamente, existam, de alguma forma, na água, pois somente dela os organismos podem retirá-los. Êsses átomos são retirados sob forma combinada, constituindo moléculas de gases, sais ou, ainda sob a forma de matéria orgânica. Podemos, pois, dividir as substâncias dissolvidas na água, do ponto de vista hidrobiológico, em 3 grupos: gases, sais minerais e matéria orgânica.

#### 1) Gases:

Oxigênio — O teor de oxigênio dissolvido n'água é de particular importância para a vida de organismos animais. Êsse oxigênio pode ser fornecido pelos vegetais sub-aquáticos, através da fotossíntese, ou pelo ar atmosférico. Muitos fatores, entretanto, regulam o teor de oxigênio dissolvido. Dêstes, sem dúvida, mais uma vez ocupa lugar de destaque, a temperatura. Existem estreitas relações entre a temperatura e o grau de saturação em oxigênio, de uma água: quanto maior a temperatura, menor a quantidade de oxigênio necessária para sua saturação, ou ainda, menor a sua capacidade de reter oxigênio. Por essa razão, ao aquecermos a água notamos o *desprendimento de inúmeras* bolhas de oxigênio (bem como de outros gases di-

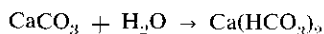
solvidos). Isto traz importantes conseqüências ecológicas.

Parece ser essa a principal razão por que os Salmonídeos (grupo de peixes ao qual pertencem os Salmões e as Trutas) ávidos de oxigênio, preferem as águas frias. A presença constante de oxigênio em quantidade suficiente, mesmo nas grandes profundidades, torna possível, nos lagos alpinos, a vida dos Salmonídeos em tôdas as profundidades. Mas, no verão, em conseqüência da formação do epilânio aquecido, o lago separa 2 zonas: uma superior, onde os Ciprinídeos (família de peixes à qual pertencem as carpas) podem viver e, na sua maior parte, se reproduzir facilmente; outra, inferior, muito mais importante, domínio exclusivo dos Salmonídeos. ("La vie dans les eaux douces" (30) Paul Vivier).

A quantidade de oxigênio disponível em um lago sofre grandes reduções com a introdução de matéria orgânica. Esta, para sua oxidação até à mineralização, demanda certa quantidade de oxigênio (BOD) e chega a retirar todo o oxigênio dissolvido em um rio ou lago em trechos bastante grandes, produzindo a morte de todos os organismos aeróbios que viviam nessa região. É o que acontece, por ex. com relação ao R. Tietê, em São Paulo, em virtude de despejo de esgotos, que determinou a inexistência de peixes por uma extensão de centenas de quilômetros a partir de S. Paulo, ou, ainda, com grande área da represa Billings, desde 1953, com o recalque desse mesmo rio através do rio Pinheiros, também com alta demanda de oxigênio, em virtude dos despejos que nele se efetuam.

Gás carbônico — O gás carbônico dissolvido tem grande importância para a fotossíntese dos vegetais clorofilados. É introduzido n'água através da superfície e, em maior profundidade, pela chuva que, já ao atravessar o ar atmosférico recebe-o em pequena quantidade, adquirindo-o em maior proporção quando em contacto com o humus ou substâncias orgânicas em decomposição no sólo. Podem também enriquecer a água em CO<sub>2</sub> a respiração de organismos aquáticos bem como a decomposição de matéria orgânica, proveniente de esgotos etc..

Succede, com êsse gás em solução, fenômeno semelhante ao que já estudámos em relação ao oxigênio, isto é, as águas com baixa temperatura têm maior capacidade de retê-lo que as águas quentes. Ao lado disso, porém, um outro fenômeno assume grande importância: sua relação com o teor em carbonatos (especialmente CaCO<sub>3</sub>) da água. Sabemos que o gás carbônico, em solução, combina-se com o CaCO<sub>3</sub>, que é praticamente insolúvel, transformando-o em bicarbonato, perfeitamente solúvel, através desta reação:



Por esta razão, sempre que houver maior quantidade de gás carbônico dissolvido, os carbonatos, transformando-se em bicarbonatos, tornam-se solúveis, e isso acontece no inverno, ou seja, quando a água é mais fria e tem maior capacidade de dissolver e reter CO<sub>2</sub>. No verão, com o aquecimento da água, o CO<sub>2</sub> torna-se menos solúvel, desprende-se sob a forma de bolhas e essa água não será capaz de dissolver os carbonatos, os quais se precipitam no fundo. Certas formações geológicas calcárias, denominadas *varvitos*, têm sua estrutura em camadas, cada qual correspondendo a um período de verão, podendo-se facilmente contar a idade da rocha pelo número de camadas existentes.

Algumas algas e plantas superiores de água doce são capazes de retirar o CO<sub>2</sub> necessário à fotossíntese, dos próprios bicarbonatos em solução, depositando-se então, sobre seu talo, anéis de CaCO<sub>3</sub> precipitado.

O CO<sub>2</sub> necessário para manter todo o cálcio de uma água sob a forma de bicarbonatos em solução, é chamado *gás carbônico de equilíbrio*. Para que essa água seja capaz de dissolver mais carbonato que se coloque, é necessário que haja um excesso de CO<sub>2</sub>, o denominado *gás carbônico agressivo*.

Outros gases importantes, do ponto de vista limnológico são: metana, formada a partir de fermentação da celulose por ação bacteriana; gás sulfídrico, formado também por ação de bactérias fotossintetizantes, a partir de sulfatos em ambiente anaeróbio. Êsses gases são tóxicos para animais aquáticos quando em quantidades apreciáveis, e, então, tornam-se facilmente perceptíveis pelo seu intenso cheiro característico.

## 2) Sais minerais: necessidade de uma modificação no conceito geral de poluição

O teor de sais minerais dissolvidos é um fator limitante ao desenvolvimento de inúmeras espécies, em virtude do fenômeno osmótico. Em geral, organismos de água doce são adaptados ao ambiente de baixa pressão osmótica. Um aumento dessa pressão produzirá perda de água por parte dos organismos. Assim, Thienmann, em lagos da Wepthalia, determinou que em águas com concentração salina de 3% existiam 64 espécies vivas; de 3% a 10%, 38 espécies; de 10% a 16%, 12 espécies; de 16% a 20% apenas 1 espécie.

De todos os sais dissolvidos na água doce, os mais importantes à Hidrobiologia pela sua relação com o desenvolvimento de algas, são os nitratos e fosfatos. De todos os sais minerais necessários ao desenvolvimento de vegetais aquáticos, os que normalmente se encontram nas águas, em menores quantidades, são êstes últimos. Assim, se num reservatório, pudermos limitar seu aparecimento, estaremos limitando o desenvolvimento de algas. Os nitratos, entretanto, são dificilmente controláveis, uma vez que se formam, no sólo, por ação de grupos de bactérias quimiossintetizantes, tais como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, a partir do Nitrogênio do ar.

Os fosfatos, entretanto, são mais dificilmente originados. As fontes minerais de fósforo não são muito frequentes e geralmente ocupam áreas limitadas: as principais fontes de fosfatos para uma água estão pois, na decomposição de matéria orgânica especialmente procedente de árvores e folhas das margens que caem nos rios bem como de esgotos domésticos ou despejos industriais in-natura ou tratados. A êsse respeito, podemos nos definir por uma certa modificação no conceito geral de "poluição" dos mananciais. A poluição é, geralmente, caracterizada por um acúmulo de matéria putrescível, orgânica, que se revela através de medidas indiretas, tais como B. O. D. e índices bacterianos. Essa concepção é, entretanto, falsa, do ponto de vista hidrobiológico. Acreditamos que a "poluição" por sais minerais pode trazer, a um manancial, prejuízos igualmente consideráveis, por criar, nêle, condições propícias ao aparecimento de algas, muitas vêzes indesejáveis e que, se nem sempre causam males diretos, condicionam o encarecimento do tratamento desta água para fins de abastecimento público, pela necessidade da aplicação de corretivos, tais como algicidas, carvão ativado ou super cloração, a fim e eliminar gosto e cheiro produzidos por tais organismos. Em outras palavras, uma água que se enriquece em sais de fósforo e nitrogênio torna-se imprópria ao consumo público, requerendo processos especiais de tratamento. Nêsse sentido, o lançamento de um efluente de esgoto tratado (pelos processos convencionais, de simples remoção do BOD) deve ser considerado um fator de poluição dos mananciais de água potável. O mesmo com relação a resíduos

inorgânicos de fábricas, ricos em fósforo ou nitrogênio, bem como a fertilizantes minerais ou orgânicos, aplicados a terras de cultura próximos ao manancial.

Carbonatos têm papel indireto no desenvolvimento de organismos. Entretanto, como sua importância está relacionada à manutenção do pH, seu estudo será feito, com maiores detalhes, ao tratarmos daquele assunto.

### 3) *Substâncias orgânicas.*

São importantes, para a nutrição dos organismos animais. Constituem fonte orgânica, por excelência, os próprios organismos vegetais, e também despejos, esgotos etc. A matéria orgânica, em excesso, pode se tornar prejudicial aos organismos, em virtude da elevação da demanda de oxigênio, o que acontece quando, por ex. introduzimos, em um rio, volume relativamente grande de esgoto ou de qualquer despejo orgânico.

As matérias orgânicas têm importância para a nutrição dos vegetais apenas como fonte de sais minerais e gás carbônico, após sofrerem oxidação.

### 4) *Concentração de Hidrogênio (pH).*

Muitos organismos manifestam grande exigência com relação ao pH do ambiente. Assim, com relação às Algas, afirma L. H. Tiffany ("Fresh Water Ecology") (29) que embora muitos desses organismos possam viver com grande variação de pH, as melhores condições para cada espécie reside entre limites muito estreitos.

A principal causa da acidez das águas é o gás carbônico. A própria água da chuva, em virtude das pequenas quantidades de  $\text{CO}_2$  que absorve através da atmosfera, pode possuir um pH de 4 a 5. Se a fervermos, seu pH eleva-se a 7, por evolução do gás.

Nas águas que contêm carbonato de cálcio, entretanto, a situação é diversa: seu pH é determinado, então, pela relação entre  $\text{CO}_2$  e carbonato, da maneira já vista, ou, mais precisamente, pelos ions H retirados da dissociação de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  e os ions OH retirados da hidrólise do bicarbonato. Nessas condições produz-se o efeito tampão da mistura carbonato-ácido carbônico, a qual previne as flutuações de pH além dos limites de 7 a 9.

O efeito tampão é muito importante do ponto de vista ecológico. Todos os líquidos existentes nos organismos são tamponados: assim, por exemplo, no sangue existe tampão de carbonato e na urina, tampão fosfático. Isto porque os organismos são, em geral, prejudicados pelas grandes alterações de pH, quer no seu meio interno quer no externo. Águas pobremente tamponadas podem-se tornar ácidas, por enriquecimento em  $\text{CO}_2$  ou alcalinas quando é intensa a proliferação de vegetais.

"A fotossíntese, como o processo oposto, da respiração de vegetais e animais, são indispensáveis para a compreensão das mudanças em conteúdo de bicarbonato,  $\text{CO}_2$  e pH da água.

Os seguintes fenômenos resultam disso:

- 1) redução do  $\text{CO}_2$  livre (pela fotossíntese).
- 2) redução do bicarbonato de cálcio, com conseqüente precipitação de carbonato (em virtude da perda de  $\text{CO}_2$ ).
- 3) aumento de pH.
- 4) em casos especiais, como em tanques iluminados de sol, com luxuriante vegetação submersa, a decomposição do bicarbonato pode levar à formação de hidróxido e o pH pode subir a 11. Em grandes massas de água, entretanto, isto não acontece. Como

esses processos dependem da luz, poderia esperar que nas regiões superiores, mais iluminadas, o fenômeno fosse mais intenso, dando origem, assim, a uma nítida estratificação. Isto não se verifica entretanto, por causa da intensa mistura que ocorre no epilimnio. Há, pois, uniformidade na distribuição do  $\text{CO}_2$ , bicarbonatos e pH das camadas acima da termoclina" (Ruttner, trab. cit.).

## IV — CONSEQUÊNCIAS, DO PONTO DE VISTA SANITÁRIO, DO DESENVOLVIMENTO DE ORGANISMOS NA ÁGUA

A água destinada ao consumo público deve obedecer a certos padrões de pureza e de composição química caracterizadas por:

- 1) Assepsia; 2) Ausência de substâncias tóxicas; 3) Ausência de cor e turbidez; 4) Ausência de cheiro e gosto; 5) pH abaixo de 6, para a floculação, e em torno de 8 para a distribuição; 6) Determinados limites de dureza e alcalinidade; 7) Ausência de Nitrogênio Amônia, Albuminóide, Nitroso e Nítrico; 8) Ausência de Matéria Orgânica; 9) Ausência de ferro; 10) Ausência de corpos em suspensão.

Cada um desses fatores pode ser influenciado, em maior ou menor grau pelo desenvolvimento de organismos na água. Essa influência pode ser benéfica, quando os organismos são fornecedores de elementos úteis ou eliminadores de elementos nocivos; maléficis, quando são fornecedores de elementos nocivos ou eliminadores de substâncias úteis.

1 — *Assepsia:* Não é necessário discutir sobre a existência de organismos nefastos. As bactérias, vírus, protozoários e outros organismos causadores de moléstias são, em muitos casos, transportados pela água. Em outras épocas, e mesmo hoje em regiões onde não há tratamento de água para o consumo, esta tem sido veículo de moléstias epidêmicas, como tifo, cólera etc. (não só para o homem, como também para animais de criação, especialmente aves), ou ainda de amebas e vermes. Embora existam muitos vírus, bactérias, protozoários e vermes perfeitamente inofensivos à saúde do homem e dos animais, muitas são as espécies reconhecidamente nefastas. Não nos deteremos nesse estudo, uma vez que não cabe nesse limitado estudo. Apenas desejamos ressaltar que a água pode constituir um veículo direto de transmissão de parasitas (como certas bactérias, vermes, vírus etc.) ou indireto (como no caso da malária e outras moléstias em que o parasita responsável é transmitido por outro organismo que se localiza na água doce).

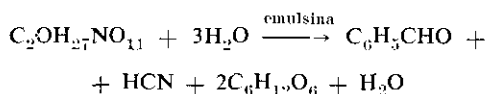
Por outro lado, existem organismos úteis ao saneamento da água. Muitos peixes, especialmente da família Ciprinodontidae (Guarús ou Barrigudos) são devoradores de larvas de insetos, constituindo-se em grandes destruidores, indiretos, de microorganismos de malária, por destruírem os Anofeles. Muitos protozoários devoram bactérias em grande quantidade. Enfim, a própria fotossíntese, produzindo oxigênio é um grande destruidor de organismos anaeróbicos, especialmente bactérias, contribuindo, de maneira poderosa à auto-depuração das águas.

2 — *Ausência de substâncias tóxicas:* Georges G. Schaut (Fish catastrophes during the winter) (26) menciona o fato de grandes mortandades de peixes em rios, serem devidas à presença, nestes, de princípios vegetais tóxicos, procedentes de folhas, frutos e sementes de várias plantas terrestres.

A ação desses vegetais, afirma o autor, é devida à presença, nêles, de glicosídeos cianogênicos (tais como a Amigdalina) substância que, quando hidrolisadas, dão origem à glicose e ácido cianídrico. Essa



hidrólise se verifica por ação de uma enzima, a emulsina:



Kenyon realizou várias experiências em peixes, demonstrando que certas enzimas digestivas destes são capazes de hidrolizar a amígdalina, não sendo necessário que o glicosídeo seja acompanhado da respectiva enzima para que o cianeto seja produzido. Conclui Schaut: "Se isto é verdade, então as catástrofes em rios durante as grandes secas podem ser um fenômeno natural e não causados por despejos industriais, como muitos sanitaristas imaginam".

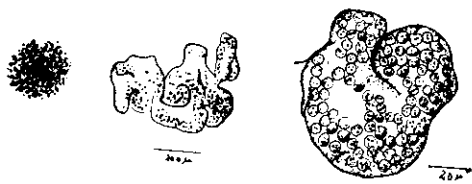


Fig. 1 — Algas tóxicas do genero MICROCYSTIS

Muitas espécies de algas cianofíceas são, também, tóxicas a peixes, animais domésticos e ao homem. São citadas algumas das espécies dos seguintes gêneros: *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Coelosphaerium* e *Gloeotrichia*. Muitas têm sido as tentativas no sentido de isolar e identificar o princípio tóxico desses vegetais. Foram negativos os testes específicos para os seguintes tóxicos: cianetos, nitratos, nitritos, pilocarpina, saponina, glicosídeos, alcalóides, estricnina. William Marcus Ingran e G. W. Prescott (Toxic Fresh Water Algae) (13) resumiram da seguinte maneira, o que se conhece em relação à ação tóxica desses organismos: "A água em que certas algas azuis viveram em grande quantidade, pode produzir a morte de mamíferos e peixes, mesmo quando as próprias algas foram retiradas. As substâncias tóxicas produzidas por certas algas podem resistir aos processos de laboratório equivalentes ao tratamento de água, usando-se coagulação com alumínio, filtração e cloração. Elas podem ainda, resistir ao tratamento com carvão ativado em quantidades correspondentes às usadas em estações de tratamento de água".

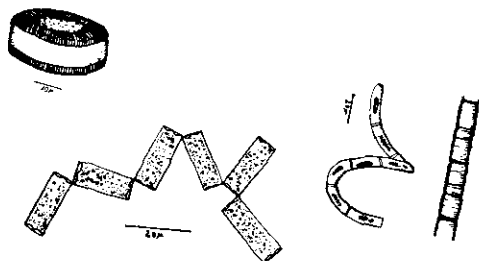


Fig. 2 — Algas que entopem filtros (Diatomáceas): Da esq. para direita: CYCLOTELLA, TABELLARIA e MELOSIRA

Não se pode, entretanto, avaliar com certeza a extensão desse perigo, pois não se sabe em que medida o tratamento atenua o efeito tóxico, dada a impossibilidade de se avaliar quantitativamente a presença do elemento nocivo na água, uma vez que

não é conhecida, ainda, sua natureza química. A opinião geral dos especialistas norte americanos parece ser, atualmente, mais otimista, a esse respeito, que a dos autores citados. Trabalhos recentes parecem demonstrar que o tratamento pelo carvão ativado, em doses superiores às normalmente empregadas, pode remover parcialmente as toxinas.

3 — *Ausência de cor e turbidez*: Já vimos como o teor de microorganismos, especialmente algas, pode influir na cor e turbidez da água. As águas de um lago, quando enriquecidas em material nutritivo para algas, torna-se esverdeada ou mesmo avermelhada conforme o tipo de organismo que nela se desenvolve. Quanto à turbidez, o caso extremo se verifica quando ocorre o fenômeno da "floração", já mencionado, em que a transparência não ultrapassa poucos centímetros abaixo da superfície. Além disso, muitos organismos podem dificultar os processos de tratamento físico da água, que visam, entre outras coisas, reduzir a turbidez. Tais são as algas que, pela fotossíntese, causam distúrbios à floculação, como ainda aqueles organismos que entopem os filtros.

Destas últimas são geralmente apontadas as seguintes Diatomáceas: *Asterionella*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Synedra*, *Navicula*, *Cyclotella*, *Diatoma*, etc. e, entre outros grupos: *Tribonema*, *Spipogyra*, *Palmella*, *Rivularia* (A. F. Bartsch). Aqui em São Paulo, podemos citar ainda os gêneros *Hormidium* e *Zygnema*, dos quais, principalmente o primeiro, vem causando

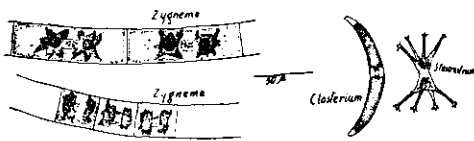


Fig. 3 — Algas que entopem filtros (Clorofíceas)

dificuldades ao tratamento de água em Casa Grande, uma das principais fontes de abastecimento de água para São Paulo.

4 — *Ausência de cheiro e gosto*: As algas, quando se desenvolvem em grande quantidade, são geralmente causa de mau cheiro e mau gosto na água. Temos observado esse fenômeno, com certa frequência, mesmo em São Paulo: Nos reservatórios da Cantareira, em certas épocas do ano, quando se desenvolvem em maior número as Diatomáceas do gênero *Synedra*, produz-se um forte gosto de terra; nas águas de Rio Grande (Billings) que constitui, atualmente, fonte de abastecimento para as cidades de Sto. André, S. Bernardo e S. Caetano, nota-se também, em virtude principalmente de cianofíceas, bem como de alguns flagelados, do gênero *Gonyaulax* (muito semelhantes ao conhecido gênero *Peridinium*), cheiro e gosto de terra, ou ainda, cheiro de peixe, principalmente depois de clorada a água.

Tais fenômenos se verificam, principalmente, após a aplicação de algicidas e se devem ao fato, de que os óleos essenciais, existentes nesses organismos, desprendendo-se, com a destruição destes, passam para a água. Especialmente quando o tratamento é realizado com cloro, como algicida, a combinação química dessas substâncias essenciais com o próprio cloro, dá origem a compostos fenólicos, tais como clorofenóis, conhecidos pelo seu intenso odor. Torna-se necessário, então, proceder-se a uma intensa aeração, à cloração ao "break point" ou, mesmo, à supercloração, a fim de oxidar completamente esses materiais. "É esta intensificação do cheiro e gosto que torna o controle de algas em reservatórios para abastecimento que são desinfetados com cloro, um dos mais interessantes problemas para por à prova a inge-

nuidade do laboratório de controle" (G. C. Whipple *Microscopy of Drinking Water*").

São citados muitos gêneros, como produtores de cheiro e gosto característicos, tais como:

cheiro de terra: *Synedra* (Diatomacea);

cheiro de peixe: *Staurastrum* (Clorofíceas) *Dinobryon*, *Mallomonas*, *Ceratium* (flagelados);

gosto de capim: *Microcystis*, *Anabaena*, *Coelosphaerium*, *Aphanizomenon* (cianofíceas) — seg. A. F. Bartsch.

O gosto e cheiro podem, ainda ser retirados da água, pela ação adsorvente do carvão ativado que geralmente é evitado por causa de seu alto preço.

5 — pH: Já foi estudada a influência dos organismos vegetais, elevando o pH das águas "in natura" o que prejudica a floculação. Há, ainda, um outro aspecto da relação entre organismos e pH da água.

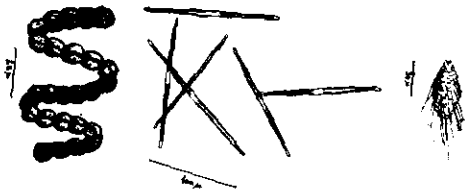


Fig. 4 — Algas que produzem gosto e cheiro nas águas. Da esq. para direita: ANABAENA, SYNEDRA, MALLOMONAS.

A água já tratada, pronta para ser distribuída, deve ter pH acima do neutro, principalmente para evitar certas bactérias filamentosas muito grandes (em relação às demais bactérias) e que realizam síntese orgânica utilizando-se de energia química que obtêm da transformação de Ferro bivalente em Fe trivalente. Tais organismos são frequentemente encontrados, formando espessa nata avermelhada na superfície de águas paradas, ricas em ferro e com pH inferior a 7. Quando, entretanto, a água em questão não contém ferro em solução, este pode ser obtido da própria tubulação. Assim, são estas bactérias o principal agente corrosivo, causando frequentemente entupimentos dos canos de água. Como dissemos, tais bactérias exigem, no seu meio, um pH favorável, abaixo de 7. Portanto, a sua elevação a 7 ou 8 evita, o desenvolvimento desses organismos, diminuindo a possibilidade de corrosão de ferro.

6 — Dureza e alcalinidade: Já estudamos anteriormente, as estreitas relações que existem entre dureza, alcalinidade e  $\text{CO}_2$  dissolvido, bem como a influência exercida pela vegetação nesse conteúdo de  $\text{CO}_2$ . Sabemos, pois, que os vegetais autótrofos, realizando sua síntese orgânica, retiram  $\text{CO}_2$  dissolvido na água e mesmo  $\text{CO}_2$  dos bicarbonatos, o que traz como conseqüências:

- precipitação do carbonato;
- redução da dureza e alcalinidade;
- aumento do pH.

Assim, as águas muito ricas em vegetais, podem chegar a provocar diminuição da alcalinidade e dureza.

7 — Ausência de Nitrogênio amoniacal, Albuminóide, nitroso e nítrico.

A decomposição de organismos mortos é feita por bactérias e constitui origem de grandes quantidades de nitratos, nitritos e amônia. Assim, a pro-

porção desses compostos, em uma água, depende sempre da quantidade de organismos aí presentes e tevelam, quando em quantidade apreciável, a presença de elementos orgânicos poluidores. Os organismos, com respeito a esse fator, estão, pois, duplamente representados: Como fonte de proteínas e compostos nitrogenados que quando decompostos dão origem a nitritos, nitratos e amônia, e como agente dessa mesma decomposição (bactérias de decomposição), destruindo as matérias orgânicas complexas de vegetais e animais mortos e formando amônia, e as *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* que agem sobre essa amônia, levando à formação de nitritos e nitratos.

Assim, também, os vegetais exercem 2 tipos de influências: a primeira fornecendo à água quantidades de proteínas que, decompostas, originarão grandes quantidades de Nitrogênio; outra, benéfica, uma vez que os organismos são grandes consumidores de nitratos do meio, e além disso, as bactérias decompõem as proteínas de organismos mortos, reduzindo-os a compostos simples, assimiláveis, a fim de que sejam consumidos pelos vegetais superiores.

Existem, além disso, certas algas (Xantofíceas) capazes de reduzir nitratos a nitritos que, quando em grande número, podem dar origem a altas concentrações destes.

8 — Ausência de matéria orgânica.

O papel dos organismos, especialmente vegetais é, evidentemente nefasto: são, por definição, os construtores da matéria orgânica.

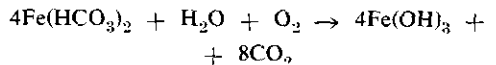
9 — Ausência de ferro — Estudamos anteriormente, a relação entre certas bactérias e o teor de ferro da água. Em certos lagos ou lagoas, verifica-se uma flutuação durante o ano, do teor de



Fig. 5 — Algas que produzem gosto e cheiro nas águas. Da esq. para direita: PERIDINIUM, GLENODINIUM, GONYAULAX, DINOBRYON

ferro e manganês. Isto porque existe (de maneira semelhante à que se verifica com respeito ao cálcio) uma relação entre seus carbonatos e o teor de  $\text{CO}_2$  da água.

Quando a água é rica em  $\text{CO}_2$  forma-se bicarbonato ferroso, que é solúvel. Isto, entretanto, somente se dá quando a água é pobre em oxigênio pois, do contrário, observa-se a reação:



formando-se hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita. O pH tem grande influência nesse processo variando de forma sensível, a velocidade dessa reação. Assim, em baixos valores de pH a formação de hidróxido só se torna apreciável quando a água se encontra saturada em  $\text{O}_2$ , ao passo que com pH = 7 o ferro se precipita em grande quantidade com concentrações de oxigênio de, apenas, 0,5 mg por litro.

Podem, pois, interferir nesse processo, organismos vivos, especialmente algas, quer através da produção de oxigênio, quer pela elevação do pH, que pode, como sabemos, chegar a valores muito altos quando a proliferação é muito intensa.

(continua no próximo número)