

---

# Análise de alguns aspectos e soluções prováveis para o lago Paranoá \*

PROF. SAMUEL MURGEL BRANCO (\*\*)

---

(\*) Trabalho apresentado pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília — Caesb, no VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Rio de Janeiro. Dezembro de 1975.

Duas possibilidades básicas se oferecem ao controle das algas no lago Paranoá: o afastamento dos nutrientes que atualmente têm acesso ao mesmo e que, sem dúvida, são os primeiros responsáveis pela atual situação; ou o controle ecológico do lago, de modo a assimilar e eliminar de alguma forma os nutrientes introduzidos, através de cadeias biológicas. Em cada uma dessas possibilidades básicas se pode reconhecer as várias alternativas diferentes de solução.

## I. O FENÔMENO DA EUTROFIZAÇÃO — PAPEL DOS NUTRIENTES

De acordo com os dados disponíveis sobre o lago Paranoá, os principais nutrientes que se poderiam computar como fatores limitantes ao processo de eutrofização seriam o nitrogênio e o fósforo. Em função de bibliografia recente poderíamos acrescentar a essa relação o gás carbônico.

Tendo em vista o conceito clássico de fatores limitantes relativos, pode parecer estranho que mencionemos três fatores, quando na verdade o fator em mínimo só pode ser um, em cada caso (do contrário não seria relativo). O fator limitante não é o fator nocivo, mas sim o que limita por escassez em relação aos outros que estão presentes. Mas essa escassez não causa a morte de uma população: ela apenas limita um potencial de crescimento. Assim, o oxigênio que falta em um aquário,

causando a morte dos peixes que ali estavam, não deve ser interpretado como um fator limitante. O oxigênio, pelo contrário, poderia vir a ser fator limitante quando verificado que, uma vez aumentado o seu fornecimento, há um aumento correspondente da população de seres aeróbicos no ambiente, como por exemplo em um sistema de lodos ativados. E, nesse caso, o seu valor será sempre relativo, pois a população não há de crescer, indefinidamente, à medida que for aumentada a concentração de oxigênio: há de chegar um momento em que a disponibilidade de alimento orgânico no meio passa a ser pequena, em relação à população presente. Nessa situação, o fator limitante passou a ser o alimento orgânico. Dentro desse conceito, dificilmente poderíamos compreender uma situação em que o oxigênio e o alimento orgânico constituíssem fatores limitantes **ao mesmo tempo**.

No caso em apreço, entretanto, não nos parece relevante discutir qual dos três nutrientes apontados (nitrogênio, fósforo e carbono) constitui o verdadeiro fator limitante relativo. E isso porque, para fins práticos, a remoção de qualquer dos três causará queda da produção de algas, independentemente de ser ou não o fator limitante em um dado momento. Da mesma forma, a supressão da luz (que entretanto não pode ser considerada para fins práticos) produziria efeito idêntico.

Por outro lado, não apresenta maior interesse o conhecimento de todos os fatores ou nutrientes essenciais ao desenvolvimento das algas (é o caso da luz, assim como de inúmeros elementos e compostos minerais ou orgâ-

---

(\*\*) Professor da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo — USP.

nicos), uma vez que muitos deles não podem ser removidos, por se encontrarem presentes em quantidades grandes demais ou, pelo contrário, por serem exigidos pelas algas em quantidades ou concentrações infinitesimais.

Classicamente, o nitrogênio, o fósforo e às vezes o potássio ou até mesmo o silício (no caso de algas diatomáceas) têm sido considerados os principais elementos cujo acréscimo leva ao aumento do número de algas. Vários componentes orgânicos dos valos adjacentes aos lagos (vitaminas, por exemplo) e que são arrastados periodicamente pelas chuvas têm sido relacionados com a proliferação de certas espécies de algas.

O nitrogênio, além de componente normal dos esgotos domésticos, de alguns resíduos industriais e também de águas de drenagem de terrenos cultivados e adubados, pode ser diretamente fixado do ar atmosférico (ou dissolvido na água) por atividade de certas espécies de algas cianofíceas e também por bactérias. Nessas condições, ele pode deixar de constituir fator limitante, uma vez que a fonte é praticamente inesgotável, estando sempre presente. Entretanto, o gênero que atualmente predomina no lago Paranoá (**Mycrocystis**, segundo informações da Caesb) não se inclui, que se saiba, entre as algas fixadoras de nitrogênio, ao contrário do **Aphanizomenon**, que antes predominava. Por outro lado, como o nitrogênio é consumido pelas algas em quantidades relativamente grandes (vinte a trinta vezes mais que o fósforo), não é necessário reduzir a concentração a valores extremamente baixos, na água, para se obter um relativo controle da proliferação das cianofíceas. Concentrações inferiores a 0,3 mg/l não são muito favoráveis a grandes proliferações, limitando, assim, o fenômeno da floração.

O fósforo, pelo contrário, é exigido pelas algas em concentrações vinte ou trinta vezes menores que o nitrogênio. Além disso, em águas que recebem esgotos efluentes de estações de tratamento, a proporção de fósforo é da ordem de apenas oito vezes menor que a de nitrogênio (proporção esta que tende a ser aumentada com o uso crescente de detergentes sintéticos). Assim sendo, sempre que as águas são eutrofizadas por elementos dessa origem, no momento em que o nitrogênio atinge as concentrações mínimas necessárias à floração, o fósforo já existe em excesso. Em face desses fatos, torna-se necessária uma eficiência muito grande na remoção de fósforo nas ETEs para que obtenha um controle satisfatório do crescimento das algas.

O carbono — em forma de gás carbônico

— vem sendo estudado ultimamente como elemento importante da eutrofização. Embora conhecida a sua importância primordial na fotossíntese (pois o carbono é o componente fundamental de todo composto orgânico), não era considerado como fator limitante, dada a sua abundância no meio aquático (em face, sobretudo, da alta solubilidade do CO<sub>2</sub> em água). Se isso é verdadeiro para as águas em condições naturais, pode não sê-lo, entretanto, em águas altamente eutróficas, sobretudo quando essa eutrofização é causada por nitrogênio e fósforo na forma mineral (isto é, sem o aporte de compostos orgânicos e, portanto, de carbono). Havendo superabundância de algas, proporcionada por concentrações irrestritas de nitrogênio e fósforo, o consumo fotossintético de gás carbônico pode tornar-se superior ao acesso desse composto à água e ele se transforma, então, em fator limitante relativo (tenha-se em mente, sempre, a grande quantidade em que ele é exigido, em comparação com os outros nutrientes). Mesmo quando existe acesso de compostos orgânicos biodegradáveis, há uma tendência à sedimentação desse material, originando depósitos bentônicos que, quando localizados a grande distância da superfície, podem não constituir fonte suficiente de CO<sub>2</sub> para as algas. Estas não se localizam no fundo, onde a luz é escassa se não houver perfeita e constante circulação vertical no lago, a fonte de CO<sub>2</sub> pode permanecer distante da zona de fotossíntese.

Algumas experiências recentes têm demonstrado que as algas cianofíceas (como **Mycrocystis**) exigem concentrações de CO<sub>2</sub> relativamente menores, no meio em que estão os outros grupos de algas. Assim sendo, quando esse composto se torna deficiente, elas passam a predominar em relação aos outros grupos. Segundo vários trabalhos citados por King ("The role of carbon in eutrophication" — "Journal WPCF", dezembro de 1970), o crescimento de cianofíceas passa a ser limitado quando as concentrações de CO<sub>2</sub> no meio são inferiores a 2,5 micromoles por litro, enquanto outros grupos de algas têm o seu crescimento limitado em concentrações de 7,5 e até 30 micromoles por litro. Trabalhos mais recentes têm confirmado essa diferença de comportamento dos diversos grupos de algas com relação às concentrações de CO<sub>2</sub> (V. Branco, Revista DAE, n.º 90, 1972). Acredito que esta constitua uma explicação plausível para o fato de as cianofíceas — que são geralmente predominantes em lagos eutróficos — inexisterem, praticamente, em lagoas de estabilização, a não ser quando estas são novas e ainda não contêm lodo bentônico. Dada a sua pequena profundi-

dade, a proximidade entre o lodo e a zona de fotossíntese favoreceria, nas lagoas de estabilização já "maduras", o acesso de  $\text{CO}_2$  às algas. Existem também dados bibliográficos demonstrando que em épocas de "turn-over" em lagos eutróficos, ou quando se procura romper a estratificação por meio de bombeamento de águas do fundo para a superfície, as algas cianofíceas desaparecem, dando lugar a outros grupos menos nocivos. Possivelmente, a pobreza em vaza orgânica bentônica, recém-observada por Björk no lago de Brasília, seja demonstrativo da existência de uma limitação com respeito ao gás carbônico que justificaria a prevalência de cianofíceas.

A turbulência, além de permitir maior acesso vertical de gás carbônico à zona fótica, desempenha também outro papel, considerado importante em relação às disponibilidades de gás carbônico, segundo D. L. King ("The role of carbon in eutrophication" — "Journal WPCF", dezembro de 1970). As células (ou colônias) de algas em processo de intensa fotossíntese e rápido consumo de  $\text{CO}_2$  determinam a formação de um gradiente de concentrações desse gás nos seus arredores imediatos, de tal forma que as concentrações próximas à superfície das células são muito mais baixas que a maiores distâncias. A turbulência destrói esse gradiente, aumentando a concentração de  $\text{CO}_2$  junto à membrana celular e determinando maior taxa de fotossíntese, sobretudo em populações concentradas de algas.

De qualquer forma, é importante salientar que a relação C:N:P exigida por cianofíceas é da ordem de 160:20:1, segundo bibliografia citada por King, enquanto para outras algas (de acordo com autores citados anteriormente por King) é de 370:20:1. Isso nos leva a importantes conclusões, como a de que, se for possível reduzir, de alguma forma, o acesso de carbono, estaremos limitando o desenvolvimento de algas, uma vez que, ao contrário do que se supunha, o carbono constitui realmente fator limitante em ambientes de alta produtividade; se elevarmos as concentrações de gás carbônico, podemos obter resultado até certo ponto benéfico, porque estaremos favorecendo o desenvolvimento competitivo de outros grupos de algas, os quais, sob muitos aspectos, são menos nocivos que as cianofíceas.

## **2. SOLUÇÕES BASEADAS NO AFASTAMENTO DOS NUTRIENTES**

As soluções propostas, que se baseiam no afastamento de nutrientes do lago, são de três tipos diferentes:

a) afastamento dos efluentes das estações de tratamento de esgotos (e, eventualmente, das águas de drenagem da cidade) para outra bacia;

b) tratamento terciário dos efluentes;

c) modificações no tratamento secundário, de modo a remover nutrientes nas próprias estações de tratamento.

Não pretendemos, nestas breves observações, discorrer em profundidade sobre as várias modalidades de tratamento ou alternativas de "exportação" dos efluentes, assuntos estes que já têm sido tratados pormenorizadamente nos trabalhos da Planidro. Apenas faremos algumas considerações genéricas a respeito do problema.

Quando se fala em remoção de nutrientes nos ocorrem, sempre, algumas preocupações baseadas nos dados disponíveis sobre as condições ecológicas do lago. As principais dessas preocupações dizem respeito à existência (ou não?) de uma reserva de nutrientes sob a forma de sedimentos bentônicos e a contribuição de nutrientes que é proporcionada pelas águas de origem pluvial drenadas da cidade.

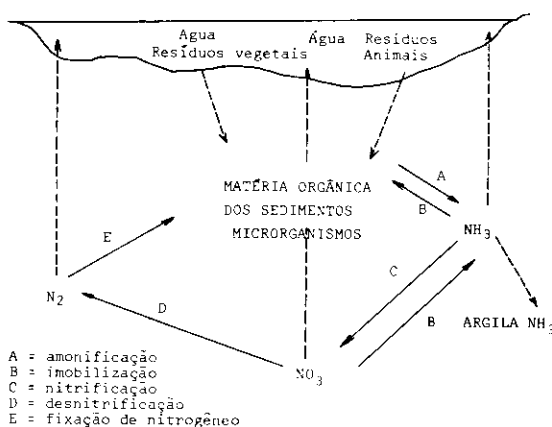
As opiniões dos vários pesquisadores não são muito concordantes no que diz respeito ao papel desempenhado pelos sedimentos, em relação à fixação e liberação dos nutrientes para algas. Faltam, na realidade, dados básicos de pesquisa que permitam o perfeito conhecimento e interpretação desses fenômenos. De acordo com o editorial publicado na revista "Science", de 2 de novembro de 1973, de autoria de W. S. Broecker, embora sejam gastos bilhões de dólares na construção de equipamentos destinados à retenção e desativação de poluentes, nos EUA, quase nada se gasta na pesquisa voltada à compreensão dos ecossistemas que se pretende proteger. Segundo esse articulista, a razão principal dessa omissão resulta de uma espécie de preconceito dos organismos financiadores quanto a apoiar "qualquer coisa que tenha cheiro de pesquisa básica". Broecker afirma nesse mesmo artigo que, embora seja bem conhecido o fato de que qualquer redução do acesso de fósforo a um lago eutrofizado produz correspondente redução na produção de algas, "isto não significa, entretanto, que com a eliminação do afluxo de fósforo ao lago se possa garantir a solução do seu problema de algas", e acrescenta: "A razão disso é que quase todo o fósforo previamente adicionado ao lago permanece enterrado no sedimento. O grau em que esse fósforo será reciclado não é previsível, porque não dispomos de conhecimento suficiente da geoquímica e da bioquímica do fósforo sedimentar".

D. W. Schindler ("Science", 24 de maio de 1974), baseado, entretanto, na "alta afinidade dos sedimentos pelo fósforo", admite que o controle do afluxo de fósforo proporciona rápida redução da eutrofização. Pesquisa de sua autoria demonstrou que, durante a fertilização experimental, praticada por um ano em um lago do Canadá, pouco ou nenhum fósforo retornou dos sedimentos do lago, mesmo com períodos anóxicos de vários meses, e que "o retorno de fósforo dos sedimentos não retarda significativamente a recuperação de um lago eutrofizado, uma vez que as principais fontes de fósforo tenham sido erradicadas". Suas experiências demonstraram, ainda, que "os fosfatos no hipolimnio são rapidamente absorvidos pelo microplâncton (provavelmente bactérias) e em seguida sedimentados no fundo do lago, onde permanecem, independentemente da concentração de oxigênio".

W. H. Patrick Jr. e R. A. Khalid ("Science", 4 de outubro de 1974) afirma que os sedimentos e solos tendem a exercer um "efeito tampão" sobre as soluções de fósforo, retendo fósforo de uma solução mais concentrada ou cedendo fósforo às soluções mais pobres desse elemento. Tem sido observado que, em condições anaeróbicas, o solo ou os sedimentos de lagoas cedem o fósforo para a água com maior facilidade que quando o meio é rico em oxigênio. Admitem os autores citados que esse fenômeno esteja relacionado com a existência de maior ou menor quantidade de ferro em forma coloidal nesses sedimentos. Ao que parece, a passagem de fósforo para os sedimentos é devida mais a um processo de adsorção do que a simples precipitação (como fosfato ferroso) e o elemento adsorvente seria o ferro, sobretudo na forma férrica, que ocorre nos ambientes oxigenados. Assim demonstraram suas pesquisas que há muito maior liberação de fósforo do solo para a água em condições anaeróbicas do que em condições aeróbicas.

Com relação ao nitrogênio nos sedimentos, Kem e Mudrochova apresentam um trabalho bastante completo na revista "Limnology and Oceanography", novembro de 1972, realizado no lago Ontário, Canadá. Afirmam eles que vários tipos de reação química e bioquímica ocorrem continuamente em proporções variáveis, envolvendo o nitrogênio dos sedimentos, algumas delas exigindo, entretanto, condições especiais. São descritas: a **amonificação**, que se realiza em meio aeróbico ou anaeróbico, em uma larga faixa de variação de pH e temperatura, podendo ser produzida por uma grande variedade de bactérias heterótrofas, a partir da decomposição de compostos orgânicos nitro-

genados; a **nitrificação**, que somente se realiza em ambiente aeróbico, por dois gêneros de bactérias que são, além disso, sensíveis às variações de pH; a **desnitrificação**, realizada por poucas espécies de bactérias, que utilizam nitratos em lugar de oxigênio, como aceptores de hidrogênio, o que, por conseguinte, só pode ser realizado em ambientes anaeróbicos; a **fixação de nitrogênio** por bactérias que vivem na superfície dos sedimentos. O seguinte esquema é apresentado por esses autores como representativo das reações:



Existem condições para a nitrificação somente nos primeiros 3 m da camada de lodo e para a desnitrificação somente abaixo dessa profundidade, segundo as determinações de potencial redox efetuadas pelos autores citados, no lago Ontário. A 3 cm da superfície do lodo ocorre a mudança de potencial redox positivo para negativo, presumindo-se que essa profundidade em diante não exista oxigênio. Admite-se que no lago Ontário, em camada de 3 cm, seja a zona de mistura, o que permite a penetração de oxigênio.

As transformações que ocorrem com o nitrogênio nos sedimentos do lago são, portanto, assim descritas: "A amônia, primeiro produto da decomposição microbiana da matéria orgânica recém-depositada, pode ser nitrificada ou imobilizada por processos microbianos ou pode migrar para a água acima ou ser fixada pelos minerais do sedimento argiloso. Embora a desnitrificação seja favorecida no sedimento reduzido, abaixo de 3 cm, é improvável que ela se realize na ausência do íon nitrado; assim, ela só se realizaria nos níveis superiores a 3 cm, onde as concentrações de oxigênio sejam baixas, no interior de microambientes, e onde as concentrações de nitratos sejam significativas. A elevada concentração de carbono orgânico na camada superior, de 3 cm, do sedimento indica que muito do nitrogênio regenerado por decomposição de matéria orgânica pode retornar à

água do lago na forma de nitrogênio gasoso, nitratos, nitritos e amônia. A amonificação, migração de amônia nas águas intersticiais e fixação de amônia são os principais processos que se realizam nos sedimentos anóxicos abaixo do nível de 3 cm".

Embora exista regeneração de nitrogênio pelas camadas mais profundas, a maior parte dos fenômenos de liberação de nitrogênio para a água se realiza na interface lodo—água, sendo a camada superficial de 6 cm dos sedimentos responsável por um mínimo de 20% desse "input". A fixação de nitrogênio amoniacal pelos sedimentos argilosos depende das características de composição desses sedimentos. Assim, a illita fixa mais nitrogênio amoniacal que a montmorilonita e a caolinita.

Sven Björk, em seu trabalho "Programa sueco de recuperação de lagos obtém resultados" — tradução da Cetesb —, menciona que a transferência de nutrientes da camada de lodos para a água, no lago Trummen, "causava alta produtividade na primavera e verão" e a solução para o problema de eutrofização daquele lago se baseou na dragagem-sucção do lodo sedimentado, o qual foi utilizado como fertilizante de solos.

De acordo com os dados acima, observa-se que os sedimentos orgânicos em decomposição podem constituir fontes importantes de nutrientes, tais como carbono, nitrogênio e fósforo, quando a concentração desses nutrientes nas águas em contato com os lodos for reduzida. Essa transferência de nutrientes depende, entretanto, de inúmeros fatores, tais como concentração de oxigênio, pH, natureza dos sedimentos minerais (argilas), circulação vertical, etc.

A experiência de Schindler em lagos do Canadá, acima citada, introduz uma perspectiva nova e otimista com relação à possibilidade de recuperação de lagos eutróficos sem necessidade de remoção dos sedimentos. Entretanto, é preciso que se considerem — à luz dos demais dados aqui reunidos — dois fatores sobre os quais não temos informações detalhadas quanto ao lago de Brasília: a natureza química dos sedimentos minerais (que, segundo Schindler, têm alta capacidade de fixar os nutrientes) e o regime de circulação vertical do lago (que possivelmente é diferente do dos lagos canadenses).

Observações preliminares realizadas por Björk em Brasília, embora muito superficiais em face do pouco tempo de que dispõe esse especialista, são até certo ponto contraditórias com dados anteriores da Caesb—Cetesb, pois afirma ele a inexistência de uma camada significa-

tiva de nutrientes sedimentada no lago, enquanto estimativas da Cetesb referiam-se a 2 mil toneladas por ano de nitrogênio e a 200 toneladas de fósforo sedimentados por ano. Baseado nessas observações, Björk admite como a mais importante de suas conclusões preliminares a de que "o lago Paranoá não foi ainda prejudicado de maneira irreversível como resultado da sedimentação de lodos de esgotos". (Ref.: Sven Björk, 1975: "The lake Paranoa rehabilitation project".)

Outra observação auspiciosa da equipe da Cetesb que vem acompanhando os trabalhos desenvolvidos no Paranoá é a de que, se as concentrações de algas são sensivelmente maiores junto aos extremos do lago, particularmente na Asa Sul, isso é significativo de que tais proliferações se acham diretamente relacionadas com o acesso de nutrientes (ou que os depósitos de lodo estejam limitados a essas áreas), sendo pois lícita a suposição de que a remoção de nutrientes nesses efluentes (e/ou a dragagem de lodos somente nessas áreas) constitua medida suficiente para garantir a eliminação das algas.

A "exportação" dos efluentes das estações de tratamento de esgotos poderá nesse caso constituir solução definitiva (pelo menos em relação à bacia do Paranoá), desde que se encontre, igualmente, um destino adequado para as águas de drenagem da cidade. Estas, que constituíram a nossa preocupação inicial, revelaram-se portadoras de considerável proporção dos nutrientes que atingem o lago, sendo, pois, indiscutível o seu papel como agente da eutrofização.

A remoção dos nutrientes através do tratamento secundário ou terciário sofre o mesmo tipo de limitação, além do elevado custo das instalações, operação, produtos químicos, etc. Há vários anos os pesquisadores de diferentes países se vêm dedicando à investigação da possibilidade de remoção de nutrientes no próprio tratamento secundário, procurando, com isso, reduzir o custo das instalações. Já em 1963 Leven e Shapiro sugeriram a possibilidade teórica de lodos ativados apropriados à remoção de fósforo, baseados na observação de que, assim como normalmente ocorre com as algas, alguns microrganismos que crescem nos sistemas de lodos ativados são capazes de absorver quantidades de fósforo muito maiores do que as necessárias ao seu próprio desenvolvimento. Pesquisas posteriores (Marson, 1971: "Effluent water treatment journal") vieram a demonstrar que, normalmente, 25% a 35% do fósforo total que chega às células de aeração é fixado ao lodo secundário e essa fixação

pode elevar-se a 80% ou mais, desde que sejam observadas condições de: ótima mistura turbulenta; presença de oxigênio dissolvido em concentrações nunca inferiores a 0,4 a 1,9 mg/l; pH em torno de 7,0; carga de sólidos, em mistura, situada entre 4 mil e 6 mil ml/l. Experiências têm sido realizadas, também, visando a aumentar a eficiência desses processos mediante a aplicação de sulfato de alumínio ou de cálcio ou, ainda, de sais ferrosos (veja-se breve resumo a respeito da Revista DAE, n.º 82, 1971 — "Noticiário bibliográfico sanitário", págs. 9 e 10; veja-se também o trabalho de P. G. Ripley "Nutrient removal — An American experience", publicado na revista inglesa "Water Pollution Control", em 1974 — pág. 406).

Com relação às possibilidades de remoção do nitrogênio por desnitrificação biológica, também as pesquisas se vêm desenvolvendo de longa data. As experiências originais de Bringmann, realizadas há quinze anos, demonstraram a possibilidade prática de remover 80% do nitrogênio, em apenas seis minutos, em efluentes de filtros biológicos, utilizando o esgoto bruto como doador de hidrogênio, em condições de baixo potencial redox e arejando em seguida o efluente desse tratamento, a fim de remover a matéria orgânica remanescente (S. M. Branco, 1969 — "Hidrobiologia aplicada a la ingeniería sanitaria" págs. 218—220; S. M. Branco, 1971 — "Hidrobiologia aplicada a engenharia sanitária", Vol. III — págs. 890 a 895). A desnitrificação ocorre naturalmente em lagos, como já vimos, nos sedimentos orgânicos pobres em oxigênio e é resultado da atividade de bactérias que, na falta de oxigênio, são capazes de utilizar os nitratos como aceptores de hidrogênio na respiração. O íon nitrato é primeiramente reduzido a nitrito e este a nitrogênio gasoso, que se desprende na atmosfera. Embora seja processo essencialmente anaeróbico (uma vez que em presença de oxigênio livre as bactérias dão preferência a este, como aceptor de hidrogênio, ele, uma vez iniciado, pode prosseguir mesmo em presença de baixas concentrações de oxigênio).

Tratando-se de bactérias heterótrofas, necessitam elas de um alimento orgânico, como fonte de carbono, outros elementos e energia. O aproveitamento da energia pelas bactérias (como pelos seres vivos em geral) é feito mediante a oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e conseqüente transferência de átomos de hidrogênio destes para um aceptor de hidrogênio, que, no caso, seriam os nitratos e nitritos, dessa forma reduzidos terciário, em que a desnitrificação se processa em efluentes já com baixo teor de compostos orgânicos,

tem sido empregado o material, como alimento orgânico das bactérias desnitrificantes (ou como fonte de H). A desnitrificação, quando processada na própria ETE secundária, pode empregar os compostos orgânicos do lodo sedimentado durante o processo, o resultado mais econômico. Em estações de lodos ativados, porém, em geral o rendimento deve ser baixo, uma vez que o nitrogênio resultante desse processo se acha principalmente na forma amoniacal e não de nitratos. Maior eficiência poderia ser esperada, teoricamente, em sistemas de filtros biológicos onde a mais baixa concentração de matérias orgânicas permite melhor nitrificação nos últimos estágios.

A desnitrificação é um processo natural de reciclagem do nitrogênio, ocorrendo em larga escala nas zonas de concentração mínima de oxigênio do oceano. Cline e Richards ("Limnology and Oceanography", novembro de 1972) calculam em 300 milhões de toneladas a quantidade de nitrogênio que é transferida por ano para o ar atmosférico, somente na região oriental do Pacífico Norte. Trabalhos de pesquisa em andamento na Freshwater Biological Association (Inglaterra) vêm revelando que, embora as altas concentrações de nitrato na água tenham efeito inibidor sobre as bactérias desnitrificantes, isso não ocorre em concentrações inferiores a 500 mg/l, sendo a concentração ideal de desnitrificação a de 100 mg/l ("Forty-Second Annual Report", 1974).

### 3. CONTROLE ECOLÓGICO DO LAGO

É curioso que a pesquisa tecnológica não tenha fornecido, ainda, solução para o problema da eutrofização baseada na assimilação do excesso de nutrientes pelo próprio sistema ecológico que ele alimenta. A eutrofização — ou seja, a fertilização — dos solos é praticada deliberadamente, há milênios, com o objetivo de aumentar a produção agrícola e coisa semelhante deveria ser praticável nas águas com a finalidade de produzir vegetais — algas — ou produtos secundários destinados à alimentação humana.

As dificuldades encontradas para essa prática residem em três fatores principais, a saber:

a) a fertilização do solo é praticada com a intenção de promover o desenvolvimento de **determinadas espécies** vegetais aí sementeadas; os vegetais "concorrentes" que se desenvolvem competindo com essas espécies (as ervas daninhas) são eliminados sistematicamente por meios mecânicos ou químicos (herbicidas) muito eficientes. Nas culturas de algas em lagos eutrofizados não é possível desenvolver uma

determinada espécie desejada; cresce aí a alga que melhor se adaptar às condições ambientais, ou seja, as "ervas daninhas aquáticas", não existindo, até o momento, controle físico ou químico adequado.

b) Os organismos aquáticos que se desenvolvem em maior quantidade, como resultado da eutrofização, são microscópicos; assim sendo, a sua manipulação é difícil. A remoção mecânica do excesso de grama em um jardim ou do capim que cresce em uma pastagem é processo corrente, mas fazer o mesmo com algas microscópicas constitui problema de difícil solução ou, pelo menos, que não foi objeto de sérias pesquisas tecnológicas.

c) Se pensarmos na utilização das algas como alimento de peixes, estaríamos fazendo uma analogia com a fertilização de pastagens para maior produção de capim destinado à alimentação do gado. Ocorre, porém, que as condições ecológicas vigentes no lago eutrófico levam, na maioria das vezes, à proliferação de algas que não são consumidas por peixes ou por crustáceos ("ervas daninhas aquáticas").

Tendo em vista essas três dificuldades, verifica-se a necessidade de serem pesquisadas basicamente: a natureza dos fatores ecológicos determinantes da proliferação de algas daninhas em lugar de outros, desejáveis; métodos físicos de remoção do excesso de algas.

Shapiro, visando a testar a hipótese lançada por King, já referida, de que a limitação pelo gás carbônico constituía o principal fator responsável pela predominância de cianofíceas (algas daninhas, no caso), realizou uma série de interessantes experiências em lagos americanos ("Science", n.º 4.071, janeiro de 1973). Verificou ele, realmente, que o acréscimo de gás carbônico no meio produz radical transformação na flora do lago, tornando a predominar espécies que seriam mais facilmente consumidas como alimento pelo zooplâncton e por peixes.

O uso de algicidas seletivos é geralmente impraticável, seja pelo alto custo dos mesmos (são compostos orgânicos, em geral), seja por serem nocivos à fauna aquática (inclusive peixes) ou a vegetais superiores eventualmente irrigados com essas águas.

O sulfato de cobre poderia, em certos casos, ser empregado com essa finalidade, pois o grupo das cianofíceas é dos mais sensíveis à sua ação tóxica. Uma referência que pode apresentar algum interesse, no presente caso, é a de que a fixação do nitrogênio do ar, por cianofíceas, pode ser suprimida pelo emprego do cobre em concentrações duzentas vezes menores que as necessárias para causar a morte

das algas ("Science" n.º 4.123, fevereiro de 1974).

A remoção do excesso de algas cianofíceas por meios mecânicos já tem sido experimentada inclusive entre nós, em São Paulo.

O Dr. Felix Charlier, antigo biólogo da Companhia Light (já falecido), referiu-nos experiências pessoais realizadas há mais de vinte anos na Represa Billings, empregando um tambor de metal instalado ao lado de uma embarcação, o qual girava em torno do eixo, de modo que sua superfície tangenciasse a superfície da água, recolhendo assim uma película de algas que era raspada pelo bordo do bote, acumulando-se dentro deste.

De acordo com essa informação, centenas de quilos de algas podem ser retiradas em poucas horas. A intenção do Dr. Felix Charlier era utilizar essas algas cianofíceas (*Anabaena* era o gênero predominante na época) como fonte de proteínas, em face do alto teor desses compostos que foi revelado por meio de análises efetuadas no Instituto Biológico.

Infelizmente o Dr. Charlier nada publicou a respeito do seu método, pois em 1966 G. W. Harvey, em trabalho publicado na revista "Limnology and Oceanography" (vol. II, pág. 608), descreveu exatamente o mesmo processo para recuperação de microcamadas oceânicas. Apenas, o seu aparelho era de construção mais sofisticada, sendo o tambor recoberto por um revestimento cerâmico. De acordo com Harvey, a espessura da película removida pelo cilindro varia com as condições físicas, mas a 20°C ela é de aproximadamente 60 micra. Recentemente, a National Aeronautics and Space Administration (NASA) construiu, na sua Wallops Island Station, um aparelho semelhante, porém mais aperfeiçoado que o de Harvey, em que a lâmina raspadora da superfície cerâmica é feita de teflon, em lugar de neopreno.

Experiências foram executadas sob a direção de V. M. Roy e cols. (Hydrobiology — American Water Resources Association, 1970) com o objetivo de comparar esse método com outros usados para a obtenção de grandes quantidades de amostras para análises de laboratório. Ao fazerem a comparação entre esse método e um outro, que utiliza uma tela quadrangular que é mergulhada na água dez vezes para obter 1 litro de algas, os autores afirmam que "a principal vantagem do método do tambor é que ele permite rápida coleta de grandes volumes de camadas finas e relativamente não perturbadas da película superficial de uma grande área".

A finalidade das experiências acima mencionadas não era a de coletar grandes volumes

de algas em pouco tempo, mas sim obter amostras representativas das espécies que se localizam na película superficial — e, deste ponto de vista, outros métodos produziriam melhores resultados. Assim mesmo, os autores da pesquisa admitem que, se forem realizados alguns aperfeiçoamentos no sistema, “o método do tambor poderá demonstrar-se o mais promissor para investigações em larga escala das películas superficiais. Se isso for verdadeiro, é possível que tal equipamento seja utilizável como uma espécie de “cortador de grama” (para usar uma expressão do professor Yassuda) destinada a remover o excesso de algas flutuantes no lago Paranoá.

Pesquisas metódicas encaminhadas nessa direção poderiam, talvez, revelar a exequibilidade do isolamento dos dois extremos do lago mais afetados pela eutrofização, por meio de cortinas, de modo a formar duas lagoas onde pudessem ser controlados os desenvolvimentos de algas mediante aplicação de produtos químicos, alteração das condições ecológicas relativamente aos teores de gás carbônico ou remoção do excesso de algas pelo uso de equipamentos, como o que foi acima descrito, e, também, redução da quantidade de nutrientes na própria estação de tratamento secundário. Ainda que seja decidida a exportação dos esgotos para outra bacia, o isolamento de uma dessas áreas talvez venha a constituir solução para as águas de drenagem da cidade. Acreditamos, entretanto, no momento, que a melhor solução para o lago de Brasília consiste na exportação dos esgotos complementada pelo adequado balanceamento da quantidade de nutrientes introduzidos pelas águas de drenagem, o qual poderia ser obtido, possivelmente, por meio de uma operação adequada dos extravasores do lago, de modo a assegurar a saída, durante a estação chuvosa, da mesma quantidade de nutrientes (ou de algas) que a introduza pelo sistema de drenagem. Supõe-se que durante a época de estiagem, em que não há extravasão pela barragem, também não existam aportes de nutrientes por esse sistema. Essa solução deveria ser objeto de pesquisas prévias, sistemáticas e detalhadas, com a finalidade de verificar, entre outras coisas, a profundidade em que deverá ser praticada a saída das águas na barragem.

Todas as observações e sugestões acima expostas têm, evidentemente, caráter de hipó-

teses, baseadas em conhecimentos bibliográficos recentes mas não testados na prática ou mesmo amparados por pesquisa de caráter tecnológico adequada. A validade ou não dessas hipóteses somente poderá ser assegurada mediante um programa de pesquisas bem elaborado e bem conduzido. Em linhas gerais, essas pesquisas incluiriam:

**a)** Confinamento de uma área reduzida, de provas, junto ao efluente da ETE da Asa Sul, para experiências de controle químico das algas, introdução de gás carbônico (ou circulação vertical provocada com auxílio de bombeamento das águas do fundo para a superfície), desenvolvimento de zooplâncton e peixes, remoção do excesso de algas pelos tambores rotativos e outros métodos.

**b)** Colocação, em vários pontos do lago, de grandes sacos de plástico transparente, contendo a água do próprio lago, porém com alterações provocadas de sua composição química e biológica (segundo método utilizado por Shapiro). Outra alternativa seria a de usar tubos de grande diâmetro, indo até ao fundo do lago, conforme técnica que vem sendo empregada pelos ingleses no lago Windermere (Relatórios da Freshwater Biological Association).

**c)** Levantamento criterioso da espessura e características do lodo sedimentado no lago.

**d)** Levantamento criterioso das qualidades de nutrientes que são fornecidas pelas águas pluviais da cidade em diferentes épocas do ano.

**e)** Experiências de desnitrificação e remoção de fósforo nas estações de tratamento de esgotos.

**f)** Construção de um modelo matemático visando à otimização do balanço de nutrientes no lago. Admitindo-se que a solução a adotar seja a de exportação dos esgotos e que o acesso de nutrientes pelas águas pluviais somente ocorra durante as épocas de chuvas, pesquisar um sistema adequado de operação de comportas na barragem, nessa época de cheias, de modo a permitir uma extravasão de nutrientes igual à entrada dos mesmos.

**g)** As pesquisas mencionadas no item **a** visariam a complementar o balanceamento mencionado no item **f**, a saber: controle biológico (peixes, moluscos, etc.) ou outros tipos de controle (aparelhos para remoção de algas) já especificados.