

# O Nitrogênio e Fósforo como fatores limitantes ao desenvolvimento de algas cianofíceas na Represa Billings

Aristides Almeida Rocha (1)  
Samuel Murgel Branco (2)

## INTRODUÇÃO

O fenômeno da eutrofização das águas em reservatórios oferece aspectos vantajosos e desvantajosos, dependendo sobretudo da utilização que se pretende fazer da represa considerada.

Pensando na função paisagística, na recreação ou no uso para água potável, o acúmulo de nutrientes é geralmente nocivo, por propiciar o desenvolvimento de altas concentrações de algas, prejudicando, de um modo ou de outro, quaisquer dos propósitos mencionados. Em se tratando do desenvolvimento de uma piscicultura racional e, também, da estabilização do material orgânico, um certo grau de eutrofização é altamente benéfico, por levar a uma maior produção de oxigênio, indispensável em ambos os casos e por produzir matéria orgânica primária para a alimentação dos peixes.

A elevação das concentrações de fósforo e nitrogênio nos processos de eutrofização é um dos principais fatores para o aumento de organismos fotossintetizantes e tem sido exaustivamente estudada.

O desenvolvimento preferencial de algas azuis, as cianofíceas (nostocales), em águas altamente eutróficas, constitui, entretanto, um aspecto particular do problema de eutrofização e a predominância desses organismos é francamente prejudicial a quaisquer dos usos da água, antes enunciados.

As algas cianofíceas manifestam, em geral, a tendência de flutuarem, acumulando-se na superfície das águas, aí formando agregados de dimensões visíveis à vista desarmada, fenômeno esse denominado "floração das águas".

A nocividade dessas florações manifesta-se pelo aparecimento de coloração verde (um "caldo esverdeado"), atingindo espessura variável que prejudica a aparência da represa; pela decomposição anaeróbia das algas que morrem, provocando odor de esgoto séptico ou em decomposição aeróbia, matando os peixes; impedindo ou limitando a penetração da luz, dificultando ou inibindo o crescimento da flora subjacente; às vezes, liberando, na água, subprodutos tóxicos e, em geral, não sendo aceitas como alimento nem por peixes (talvez devido ao sabor), nem por microcrustáceos (talvez pelo tamanho dos aglomerados formados), praticamente provocando o bloqueio da cadeia alimentar.

Por esses fatos, nos últimos anos, têm-se constituído preocupação de alguns pesquisadores, o conhecimento pormenorizado dos fatores intervenientes na produção e predominância das algas azuis.

Têm sido muito investigadas as razões que levam um lago eutrofizado à predominância de cianofíceas ou, mesmo, a essa exclusividade, em relação a outros grupos de algas. A hipótese que parece ser a merecedora das preferências atuais é a de que se trate de um fenômeno de limitação do dióxido de carbono como nutriente essencial. Quando o fósforo e o nitrogênio deixarem de constituir fatores limitantes, a exuberante massa de seres fotossintetizantes que se desenvolve, levará a um consumo excessivo de  $\text{CO}_2$  do meio. Nestas condições, as formas menos exigentes em carbono passam a predominar. Ora, partindo-se da proporção de carbono existente nas células das cianofíceas em relação a outros componentes protoplasmáticos, verifica-se serem, essas algas, as menos exigentes com relação às concentrações de gás carbônico. Essa hipótese tem sido comprovada através de experimentos realizados em lagos em

que, nas regiões compartimentadas, se procura fazer variar os teores de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PO}_4$  na água (Schindler, 1974).

## INFLUÊNCIA DOS SEDIMENTOS

Outras considerações referem-se às concentrações de nutrientes, tanto em represas de regiões tropicais quanto nas de regiões temperadas. Nestas últimas, os nutrientes são acumulados nos sedimentos e na própria água, durante o outono e o inverno, para serem utilizados na primavera. Nesse período, há uma alta produtividade, com a ocorrência de picos de biomassa algaica. Já em climas tropicais, a disponibilidade contínua de energia da luz solar e as temperaturas elevadas propiciam a utilização de maiores cargas de nitrogênio e fósforo, durante períodos de tempo de maior abrangência. (Branco, S. M., Branco W., 1981).

A propósito, na Represa Billings, os sedimentos existentes podem ser decorrentes dos seguintes principais fatores:

a) Entrada de esgotos diluídos, através do sistema Tietê-Pinheiros. Crê-se que, a maior parte da matéria sedimentável existente nos esgotos brutos da área metropolitana deposita-se nos próprios rios Tietê e Pinheiros, dada a pequena velocidade de escoamento destes. Entretanto, uma parcela do material mais fino, não sedimentável e de natureza coloidal, sofre aglutinação posterior devido a vários tipos de ações bioquímicas e físico-químicas, formando "flocos" que se sedimentam na represa, de modo mais acentuado junto à Barragem da Pedreira. Ressalte-se que qualquer "balanço de componentes que entram e saem do sistema é praticamente irrealizável, face às variadíssimas condições que todas as vazões envolvidas (descargas, operações etc.) têm sofrido no tempo.

(1) Professor Livre Docente da Faculdade de Saúde Pública da USP, Biólogo da Cetesb.  
(2) Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos USP, Diretor de Pesquisas da Cetesb.

b) Transporte de matérias sólidas e coloidais pelas águas de escoamento superficial, cada vez mais acentuado, pela devastação contínua da vegetação ciliar e das práticas agrícolas. Admite-se que cerca de 10% do material sedimentável, assim transportado, seja de natureza orgânica biodegradável.

c) Sedimentação das algas que se desenvolvem na própria represa (material autóctone). Essa precipitação contínua origina lodo putrescível no leito da represa.

Os depósitos orgânicos, assim formados, sofrem um processo de decomposição predominantemente anaeróbico e alguns subprodutos orgânicos solúveis, catabólitos dessas reações, podem difundir-se nas águas, decompondo-se aerobiamente, aumentando a demanda bioquímica de oxigênio.

Entretanto, um outro inconveniente é que o lodo sedimentado constitui reserva de nutrientes minerais que, através da decomposição, são lenta e continuamente restituídos à água, mantendo-a em condições eutróficas, propiciando alta produtividade de algas.

Quase todo o fósforo, previamente adicionado aos reservatórios, é incorporado aos sedimentos. Na Billings, é ainda difícil determinar qual parcela será reciclada, pela falta de conhecimento da geoquímica e da bioquímica do fósforo elementar. Todavia, como se verá adiante, mantendo a aerobiose, o fósforo deve ficar mais tempo retido.

Schindler (1974) verificou, em um lago canadense, que quase nenhum fósforo retornou dos sedimentos, mesmo em anaerobiose prolongada,

Patrick Jr. et alii (1974) acreditam que os sedimentos exerçam um "efeito tampão" sobre as soluções de fósforo, retendo esse mineral de soluções mais concentradas e cedendo-o às soluções menos ricas desse elemento mineral. Os sedimentos anaeróbios cedem fósforo com maior facilidade do que quando o meio é rico em oxigênio, pois, nestas condições, o ferro presente passa à forma coloidal, absorvendo o fósforo, provocando a precipitação deste.

Talvez seja possível, portanto, manter o fósforo fixo nos sedimentos bentônicos da Billings, favorecendo as condições aeróbias pela redução das cargas orgânicas introduzidas

através da Barragem da Pedreira. Isso parece ter sido comprovado durante o período de realização da "operação saneamento", efetuada pela Cetesb, em 1983, a qual é referida por Rocha (1984), em que as concentrações de DBO diminuíram a partir de junho e o oxigênio dissolvido manteve-se sempre acima de 1,0 mg/l, mesmo na zona próxima à barragem da Pedreira.

## INFLUÊNCIA DA DECOMPOSIÇÃO DE ALGAS MORTAS

Outro fator interveniente na dinâmica da disponibilidade do fósforo e nitrogênio é a decomposição das algas que morrem.

Branco (1975 a) afirma que, segundo pesquisas realizadas três anos antes por Dugan, nos sedimentos, essa decomposição resulta na liberação de 50% do N e do P contidos nas células do fitoplâncton, em apenas seis a 12 meses, quando em condições aeróbias, e 40% de N e 60% de P quando em anaerobiose. A porção remanescente tem decomposição mais lenta, por encontrar-se na forma de compostos insolúveis, como fosfatos de cálcio, de ferro ou alumínio, que são dependentes do pH para a difusão na massa d'água.

## INFLUÊNCIA DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS

Além desses fatos, reservatórios que são receptores de esgotos domésticos, como a Billings, ricos em material orgânico biodegradável, acabam, por outro lado, por ter também uma maior disponibilidade de nutrientes pois, nos esgotos, a relação N:P está ao redor de 8:1, 6:1 ou 4,5:1.

Como as algas são ávidas de nitrogênio, exigindo entre 15 e 30 partes de nitrogênio para uma de fósforo e, nas águas naturais, esses nutrientes, geralmente, estão em quantidades muito pequenas para satisfazer tão elevada demanda, percebe-se que, com a introdução de esgotos domésticos, as algas têm seu consumo atendido e dispoem proporcionalmente de maior quantidade de fósforo.

Prescott (1960) assinala que as cianofíceas são das mais exigentes algas quanto ao nitrogênio. Assim, *Microcystis aeruginosa* tem 55,58%

de seu peso seco constituído de proteínas; *Anabaena flos-aquae*, 60,56% e *Aphanizomenon flos-aquae*, 62,80%.

A medida que o esgoto doméstico vai sendo introduzido nessas represas, o nitrogênio vai se tornando relativamente o fator mais limitante que o fósforo, para o crescimento de algas.

## SUCESSÃO DE ALGAS

Em uma palestra proferida por Branco, em 1981, em simpósio sobre eutrofização, na cidade de Luxemburgo (Lusa), Áustria, esses fatos foram relatados, utilizando como exemplo o lago Paranoá, em Brasília, onde foi ressaltado que, como regra geral, um reservatório, ao receber esgotos domésticos e entrar em processo de eutrofização, apresenta altos índices de algas, especialmente cianofíceas, obedecendo a uma característica sucessão de gêneros.

No lago Paranoá, em Brasília (Branco, 1975 b), a situação observada, desde o início de seu enchimento foi: a) predominância de algas verdes do grupo das desmidiáceas, antes que o lago recebesse quantidades significativas de esgotos ou efluentes de estações de tratamento (Oliveira et alii, 1970); b) predominância de algas cianofíceas, do gênero *Aphanizomenon*, hoje considerada forma fixadora de nitrogênio do ar, dada a presença de heterocistos; c) substituição progressiva do gênero *Aphanizomenon* por *Microcystis*, também cianofícea, porém não fixadora de nitrogênio, na medida em que este nutriente deixa de ser limitante.

Observações esporádicas, realizada entre 1951 (época em que se iniciou a eutrofização da Billings) e 1952, relatam a predominância absoluta de *Anabaena spiralis*, uma cianofícea fixadora de nitrogênio, nesta represa, quadro este que foi sendo alterado com o progressivo desenvolvimento de *Microcystis*. Segundo essas mesmas observações, em 1958 e 1959, ainda *Anabaena* aparecia, em grande número, ao lado de *Microcystis*, desaparecendo, posteriormente, principalmente no corpo central da represa, onde *Microcystis* passou ao total domínio. Depois de 1963, *Anabaena* só foi encontrada algumas vezes no bra-

[\*] Identificação das algas, na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, Laboratório de Botânica pelo Dr. Aylthon Brandão Joly.

ANO	ALGA PREDOMINANTE
1950 a 1954	<i>Anabaena spiralis</i> e <i>Microcystis</i> sp
1958	<i>Anabaena</i> sp e <i>Microcystis</i> sp (5.000 org/ml)
1959 a 1960	<i>Anabaena</i> sp e <i>Microcystis</i> sp
1963	<i>Anabaena</i> sp (3.700 org/ml)
1964	<i>Oscillatoria</i> sp (1.137 org/ml)
1964	<i>Agmenellum</i> sp (1.137 org/ml)
1964	<i>Golenkinia</i> sp (42.065 org/ml)
1964	<i>Micractinium</i> sp (20.915 org/ml)
1964	<i>Chlorella</i> sp (11.295 org/ml)
1971	<i>Oscillatoria</i> sp
1975	<i>Synechocystis</i> sp
1977	<i>Microcystis aeruginosa</i> (308 org/ml)
1977	<i>Synedra</i> sp (914 org/ml)
1977	<i>Scenedesmus</i> sp (690 org/ml)
1978	<i>Chlamydomonas</i> sp (290 org/ml)
1978	<i>Pediastrum</i> sp (50 org/ml)
1978	<i>Microcystis</i> sp (1.498 org/ml)
1978	<i>Mougeotia</i> sp (3.114 org/ml)
1979	<i>Actinastrum</i> sp (100 org/ml)
1979	<i>Cyclotella</i> sp (70 org/ml)
1979	<i>Dictyosphaerium</i> sp
1979	<i>Actinastrum</i> sp (160 org/ml)
1983	<i>Dictyosphaerium</i> sp

Fonte: Rocha, 1984

ço do rio Grande onde as condições eram, até janeiro de 1982, muito variáveis, dado o antagonismo entre a direção da corrente do rio Grande e influência do canal principal. Infelizmente, porém, a ausência de dados sistemáticos e quantitativos de algas, na época imediata ao início do bombeamento de águas poluídas para a represa (1950 e 1951), não permitiu a comprovação cabal dessa sucessão na represa Billings.

De acordo com a citada palestra de Branco, o início de um processo de eutrofização, quando causado por esgotos municipais, leva a um "excesso relativo" de fósforo no ambiente aquático, ficando as algas limitadas pela deficiência de nitrogênio, uma vez que, no esgoto, a proporção de fósforo para nitrogênio é muito maior que a exigida pelas algas em geral, como já foi mencionado. Essas

condições favoreceram o desenvolvimento de espécies que sejam capazes de fixar nitrogênio do ar, através de enzimas contidas em seus heterocistos, tais como *Anabaena* ou *Aphanizomenon*. Entretanto, com a continuidade da introdução de esgotos, há um momento a partir do qual o nitrogênio também deixa de ser limitante, permitindo o desenvolvimento de formas não fixadoras desse elemento, as quais, por algum processo de competição, acabam por predominar. Daí, portanto, afirmar-se que "esta é uma forte evidência de que o controle da eutrofização baseado na remoção de nitrogênio nos trópicos, mais do que a remoção de fósforo, poderá produzir, provavelmente, a substituição de *Microcystis* sp por gêneros de algas fixadoras de nitrogênio".

Toda informação existente sobre as florações ou predominâncias das algas na represa Billings está inserida no quadro n.º 01, ao lado, onde se denota a sucessão de cianofíceas, embora muitos dos dados sejam qualitativos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mineralização do material orgânico propicia constantes disponibilidades de nutrientes que, em certas regiões e épocas, facilitam a proliferação do fitoplâncton. As florações predominantes são de algas cianofíceas que concorrem para agravar a situação ecológico-sanitária da represa Billings.

Existe uma característica sucessão de algas, condicionada pelos fatores limitantes nitrogênio ou fósforo, em virtude dos esgotos domésticos que vão ter à represa. Na sequência de alternâncias nos processos de floração têm-se *Anabaena* sp, *Microcystis* sp, *Synechocystis* sp, isto é, fixadoras e não fixadoras de nitrogênio

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Branco, S.M. *Considerações sobre a poluição da Represa Billings e as suas possíveis soluções*. Relatório Sanesp. São Paulo, 1975a (mimeografado).
- 2 — Branco, S.M. *Análise de alguns aspectos e soluções prováveis para o Lago Paranoá*. Rev. DAE, São Paulo 26 (109): 38-45, 1975 b.
- 3 — Branco, S.M.; Branco, W., 1981. *Entroplication of brasilian reservoirs. International Workshop on the Control of Entroplication - Proceedings*: pg. 75. Luxenburg. Austria.
- 4 — Oliveira, L.P.H. & Krau, L. *Hidrobiologia geral. Hipereutrofia*. Mem. Inst. Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro 68 (1): 90-118, 1970.
- 5 — Patrick, JR., W.H. & Khalid, R.A. *Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions*. Rev. Science, New York. 186: 53-55, 1974.
- 6 — Prescott, G.W. *Biological disturbances resulting from algal populations in stranding waters. The Ecology of Algae, USA, 1960* p. 22-37.
- 7 — Rocha, A.A. *A Ecologia, os Aspectos Sanitários e de Saúde Pública da Represa Billings na Região Metropolitana de São Paulo, uma contribuição à sua recuperação*. 1984. (Tese de Livre Docência - Faculdade de Saúde Pública, USP).
- 8 — Schindler, D.W. *Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management*. Rev. Science, New York, 184: 897-988, 1974.