

RECUPERAÇÃO DE LAGOS TROPICAIS

Biotecnologia no controle da eutrofização em lagos tropicais - A experiência do lago Paranoá

Marcelo Antônio Teixeira Pinto
Engenheiro Químico, M.Sc, Superintendente
de Operação e Tratamento de Esgotos da
Companhia de Água e Esgotos de Brasília
marcelo.teixeira@persocom.com.br

Cristine Gobbato B.Cavalcanti
Bióloga da Superintendência de Recursos
Hídricos da Companhia de Água e Esgotos
de Brasília - CAESB

Fotos cedidas pelos autores

Eutrofização é um processo natural e gradativo de fertilização das águas superficiais, com conseqüente aumento da produtividade biológica, que, entretanto, pode ser fortemente acelerado pelas atividades humanas. Esse processo pode acarretar problemas que vão desde a estética até o comprometimento da possível utilização dessa água para recreação e/ou abastecimento, devido a grande concentração de algas e plantas aquáticas

O fósforo tem sido apontado como fator limitante para o controle desse processo em lagos e rios, enquanto o nitrogênio limitaria o fenômeno em estuários e águas costeiras. As principais fontes de fósforo estão relacionadas com produtos oriundos do desenvolvimento da sociedade moderna, como os detergentes sintéticos, os fertilizantes e os conservantes e alimentos consumidos, o que vem acelerando a ocorrência desse problema em todos os países do mundo.

Para o controle do processo de eutrofização, diversos países têm promulgado recomendações e políticas que visam à redução do aporte de nutrientes nos corpos hídricos. Uma das mais importantes medidas de controle é a remoção desses nutrientes durante o tratamento dos esgotos. Essa operação era realizada, até a década de 70, com a aplicação de produtos químicos, o que tornava o processo bastante caro. Entretanto, o desenvolvimento de processos mais baratos, que possibilitassem a remoção de nutrientes dos esgotos pela rota biológica era uma necessidade para enfrentar o crescimento do problema de eutrofização. Essa tecnologia vem sendo utilizada na recuperação do lago Paranoá em Brasília, em caráter pioneiro na América Latina.

O processo de eutrofização no lago Paranoá

O lago Paranoá foi formado em 1959, junto com a construção de Brasília, para servir como moldura paisagística para a nova cidade e propiciar alternativas de lazer e recreação para seus habitantes.

A cidade, planejada para abrigar cerca de 500 mil habitantes, superou todas suas



Figura 1: ETE Brasília Sul

expectativas de crescimento. Milhares de pessoas, atraídas pela possibilidade de melhores condições de vida, vieram para a região nas décadas de 60 e 70, fazendo com que a cidade alcançasse hoje quase 2 milhões de habitantes.

Como geralmente acontece, as estruturas de esgotamento sanitário, concebidas na época de sua construção, não acompanharam esse crescimento, e fizeram com que o lago Paranoá se tornasse receptor de esgotos sem tratamento. Esse fato, aliado a incapacidade das duas antigas estações de

tratamento de esgotos, erguidas nas margens do lago, em remover nutrientes como o fósforo e o nitrogênio e a falta de cuidado com o uso do solo na bacia, levaram o lago Paranoá a um acelerado processo de eutrofização, contaminação de suas águas e assoreamento (Altafin et al., 1995).

Desde 1993, duas novas estações de tratamento de esgotos, utilizando processo biológico para remoção de nitrogênio e fósforo chamado Phoredox, estão em funcionamento, trazendo significativa melhoria na qualidade de suas águas (Figura 1).

O processo Phoredox para remoção biológica de nutrientes

A remoção biológica de nitrogênio no tratamento de esgotos é obtida por meio de duas rotas. A primeira está relacionada com a assimilação para o crescimento da biomassa e corresponde a não mais de 30%. A segunda é obtida por uma série de reações bioquímicas que transformam o nitrogênio amoniacal em nitrogênio gasoso, que é liberado para a atmosfera.

Essas reações são processadas por microorganismos específicos, que colocados em determinadas condições ambientais, são capazes de executar essas transformações, conforme descrito abaixo.

- **Nitrificação** – Conversão de NH_4^+ para NO_2^- efetuado pelas bactérias *Nitrosomonas sp.*, e deste para NO_3^- , pelas bactérias *Nitrobacter sp.*

- **Denitrificação** – Na ausência de oxigênio, as bactérias facultativas utilizam o NO_3^- comoceptor de elétrons, convertendo-o em N_2 gasoso.

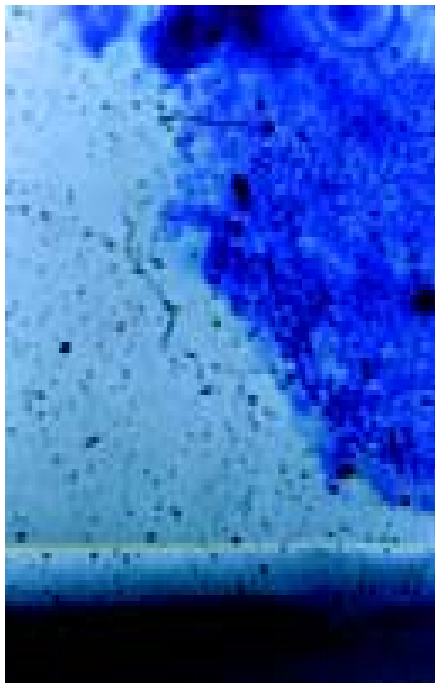


Figura 2: Grânulos de polifosfato estocado dentro dos microorganismos no final da fase aeróbia - Aumento de 1000 X

Diferentemente do nitrogênio, não existe forma gasosa de fósforo. Consequentemente, o fósforo precisa ser convertido à forma sólida para, então, ser removido do sistema.

A assimilação biológica de fósforo para o crescimento bacteriano e aumento da biomassa não necessita absorver mais que

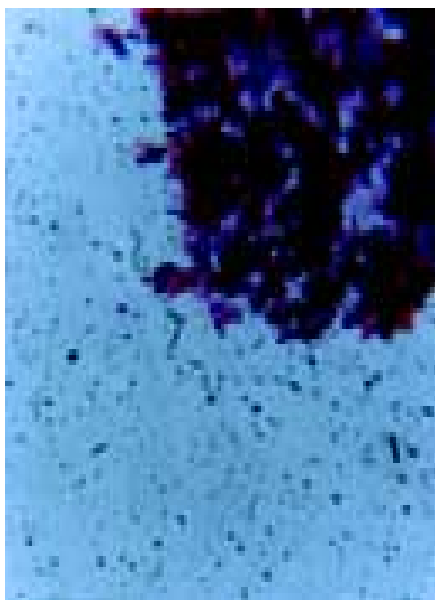


Figura3: Grânulos de substrato (Polihidroxibutirato) armazenado nos microorganismos no final da fase anaeróbia - Aumento de 1000 X

2% desse elemento. Entretanto, sob determinadas circunstâncias, certas bactérias, como a *Acinetobacter sp.*, podem acumular fósforo no interior de sua célula, através do fenômeno chamado “luxury uptake”, chegando a cerca de quatro vezes mais que suas necessidades nutricionais. Para tanto, é necessário que esses microorganismos passem por alternância de condições ambientais com respeito a presença e ausência de oxigenação.

Em condições anaeróbias, esses microorganismos são capazes de transportar substratos simples (ácidos orgânicos voláteis) para dentro de sua célula e estocá-los, usando como fonte de energia as reações bioquímicas ATP-ADP, liberando fosfato para o meio. Essa capacidade lhes permite uma competitiva vantagem para seu crescimento, necessária para sua sobrevivência, em virtude de sua baixa taxa de reprodução nas condições normais do processo. A fase anaeróbia serve ainda para gerar os substratos simples que, junto com os existentes no esgoto afluente, permitirão o desencadeamento do processo.

Em condições aeróbias, os substratos estocados no interior do microorganismo são então consumidos e, o fósforo, assimilado e estocado na forma de grânulos de polifosfato em seu interior (Figuras 2 e 3).

Assim, o processo Phoredox prevê três distintos ambientes operacionais, conforme mostrado na Figura 4.

O primeiro estágio é anaeróbio, onde entra o esgoto afluente (pré decantado) e a recirculação do lodo dos decantadores secundários. Nessa fase, as P-bactérias transportam e estocam o substrato sem a presença de oxigênio. No segundo estágio, em ambiente anóxico (sem oxigênio livre, mas com oxigênio combinado na forma de nitrato), ocorre a desnitrificação, recebendo a recirculação da zona aerada, rica em nitratos, para que seja convertido em nitrogênio gasoso. O último estágio, aeróbio, ocorre a nitrificação, cujo nitrato formado será recirculado para a zona anóxica, além da assimilação e estocagem do fósforo pelos microorganismos.

Esse processo consegue atingir remoções acima de 90% de nutrientes e vem conseguindo modificar o estado trófico do lago Paranoá.

Os modelos de estado trófico

Bernhardt (1982) propôs uma conexão entre o uso desejado pela comunidade de um determinado reservatório e o nível de trofia máximo que ele poderia atingir. O lago Paranoá é principalmente usado para lazer e esportes aquáticos, o que requer um estado mesotrófico.

Existem diversos parâmetros que po-

dem ser utilizados para classificar um lago no nível trófico. Um dos mais usados é o fósforo, pela sua facilidade de modelagem através de um balanço de massa.

Alguns estudos da Organização Europeia para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento – OECD apontaram que, para águas de lagos temperados, concentrações de fósforo na ordem de 27 mg/m³ teriam 65% de probabilidade de ser um lago mesotrófico (Bernhardt, 1982). Por outro lado, o Centro Pan-americano para Engenharia Sanitária e Ciências do Meio Ambiente – CEPIS tem proposto para lagos tropicais, que concentrações de fósforo de 40 mg/m³ teriam 70% de chance de atingir esse estado (Sallas, 1991). Isso é devido ao fato de que a maior temperatura da água e a radiação solar permitem uma maior absorção de nutrientes, um mais rápido metabolismo dos microorganismos e uma maior velocidade de sedimentação, o que acarreta aumento na capacidade de retenção do fósforo no reservatório.

Conhecendo-se os usos que foram propostos para o lago e a concentração de fósforo que manteria o estado trófico adequado àqueles usos, podemos estimar a carga máxima tolerável que poderia ser lançada em suas águas. É importante salientar que devem ser consideradas todas as fontes pontuais e difusas, como as descargas de esgotos, as galerias de águas pluviais, os tributários, o escoamento superficial e outros que cheguem de alguma maneira àque- las águas.

Assim, Sallas e Martino (1991) propuseram uma ferramenta de controle e planejamento da qualidade de água de um lago tropical, baseada no balanço de massa mostrado pela seguinte equação:

$$[P] = \frac{P_{in} + T_w^{-1}}{3Z}$$

$[P]$ = concentração de fósforo (mg/m³)

P_{in} = carga de fósforo (g/m².ano)

T_w = tempo de retenção (anos)

Z = profundidade média (m)

Aplicando-se o modelo aos dados físicos do lago Paranoá, podemos estimar que a carga máxima tolerável de fósforo que pode ser lançada em suas águas é de, aproximadamente 175 kg/d.

A evolução da qualidade das águas do lago Paranoá

O monitoramento limnológico do lago Paranoá é feito em 11 pontos, distribuídos nas cinco áreas (braços) do lago. As amostras são coletadas quinzenalmente, a um metro de profundidade, e mensalmente com perfis verticais em 5 pontos. Os dados dos tributários são medidos mensalmente e usados para o cálculo das cargas aflu-

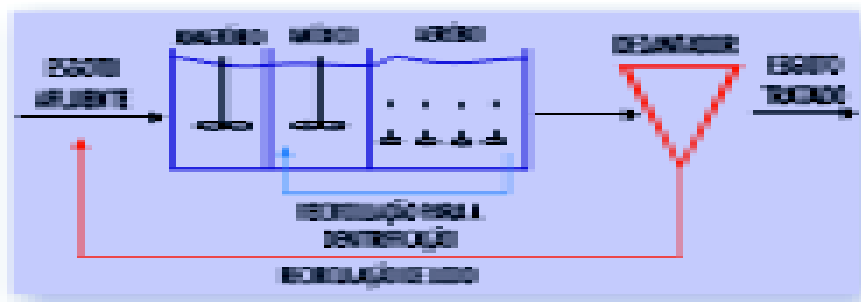


Figura 4: Processo Phoredox.

tes. O efluente das estações de tratamento são analisados diariamente. As fontes difusas, ligações clandestinas e descargas de águas pluviais são estimadas, de acordo com Anjos (1991).

Por intermédio de um amplo programa de esgotamento sanitário da bacia do lago Paranoá e da construção das novas estações de tratamento de esgotos com remoção biológica de nutrientes, foi possível reduzir o aporte de fósforo ao lago de 519 kg/d, em 1989, para 128 kg/d, em 1998. Conseqüentemente, as concentrações de fósforo e clorofila mostraram significantes reduções, conforme mostrado nas figuras 5 e 6 seguintes. Pereira e Cavalcanti (1996) mostraram também significativas melhorias em outros parâmetros como oxigênio dissolvido, nitrogênio e transparência da água.

As condições de balneabilidade do lago

são avaliadas semanalmente, através de 40 pontos distribuídos por todo o lago, preferencialmente nas margens de maior acesso de público. A análise é baseada na determinação das concentrações de coliformes fecais e os pontos são classificados de acordo com a Resolução CONAMA 020/86.

Em termos de balneabilidade, apenas 65% do lago era considerado próprio para contato primário, em 1990. Atualmente, 95 % está apropriado para lazer e recreação, restando hoje as áreas próximas às estações de tratamento, que são interditadas por razões de segurança.

Os programas complementares

O programa de balneabilidade, além de informar ao público as condições bacteriológicas da água, serve ainda como indicação de possíveis lançamentos clandestinos de

esgotos. Esses dados são avaliados semanalmente e, em caso de apresentarem alguma alteração na qualidade da água, entram em cena as equipes de pesquisa de ligação clandestina. Por meio de métodos modernos de filmagem e televisamento, além de testes de fumaça e corante, identifica-se a origem do problema para que possam ser tomadas as medidas necessárias para sua correção.

Outras informações relevantes a respeito do ecossistema do lago Paranoá vêm sendo obtidas através dos estudos sobre biomanipulação. Esse projeto tem como objetivo o manejo da cadeia alimentar daquele ecossistema, de maneira a auxiliar na melhoria da qualidade da água. Os resultados apontaram a possibilidade de reduzir a biomassa algal pela redução do aporte interno de fósforo, com o controle do estoque pesqueiro e/ou a introdução de peixes filtradores, como a carpa prateada (Starling, 1998). Isso tem levado a considerar a possibili-

dade de liberar a pesca em grande escala (uso de tarrafas) no lago, como forma de reduzir o estoque pesqueiro, o qual encontra-se em fase de negociação com o IBAMA.

Conclusão

O uso de biotecnologia na recuperação do Lago Paranoá tem sido fator relevante para que se alcancem os objetivos de tornar o lago mais útil para a comunidade. As pesquisas efetuadas vão desde o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de esgotos, capazes de fazer com que pequenos microorganismos alterem seu padrão metabólico e passem a absorver quantidades maiores de nutrientes que suas necessidades nutricionais, até a possível introdução de técnicas de biomanipulação no reservatório.

Referências

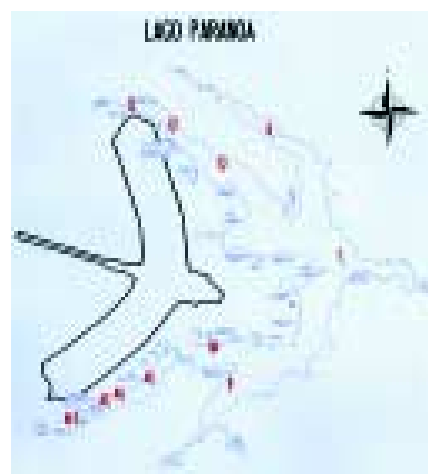


Figura 7: Lago Paranoá.

1. Altafin, I.G.; Mattos, S.P.; Cavalcanti, C.G.B.; Estuqui, V.R. (1995) Paranoa Lake - Limnology and Recovery Program in *Limnology in Brazil*.
2. Anjos, E.F.; Borges, M.N.; Ferreira, V.P. (1991). Uso do solo e cargas de nutrientes na bacia hidrográfica do lago Paranoá. *Internat. Conf. On Eutrophication and Water Supply - Brasília*.
3. Bernhardt, H. (1982). Thoughts on using the results of of the OECD examination program in lake protection. *IWSA Spec. Conf. in Eutrophication*.
4. Pereira, C.E.B. e Cavalcanti, C.G.B. (1996) Lago Paranoá a caminho da recuperação. *XXIII Encontro dos Serviços Municipais de Águas e Esgotos - ASSE-MAE*.
5. Sallas, H.J. e Martino, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm water tropical lake. *Water Research*, 25(3), 341-350
6. Starling, F.L.R. (1998) Development of biomanipulation strategies for the remediation of eutrophication problem in a urban reservoir - lago Paranoá. Thesis of doctorate in the University of Stirling.

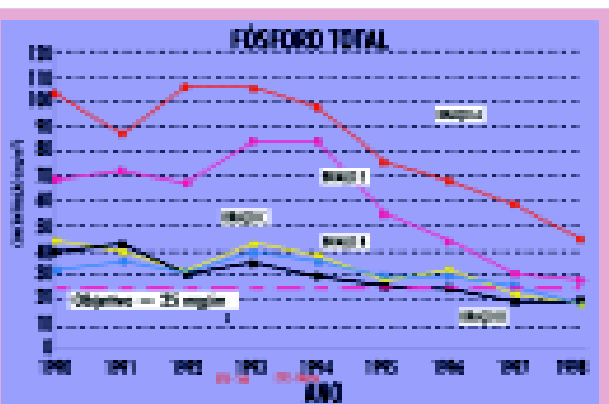


Figura 5—Concentração de fósforo no lago

Figura 6 – Concentração de clorofila no lago

