

Aspectos metodológicos para a implantação de medidas de recuperação de lagos e reservatórios

EDUARDO VON SPERLING

Professor Adjunto do Depto. de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais

O trabalho discute aspectos metodológicos a serem considerados para a implantação de programas de recuperação de lagos e reservatórios. Inicialmente é feita uma abordagem sobre a necessidade de adoção de medidas saneadoras e/ou recuperadoras em ecossistemas lacustres. Em seguida são descritos sucintamente os principais processos mecânicos, químicos e biológicos utilizáveis na restauração de lagos e reservatórios. No tópico seguinte são apresentados os fatores intervenientes no processo de escolha da técnica mais adequada, tais como uso do corpo d'água, sua superfície, profundidade e tempo de retenção. Ao final do trabalho é desenvolvida uma tabela, na qual o uso de cada técnica de recuperação é associado às características morfológicas do corpo d'água.

O gerenciamento de recursos hídricos adquire atualmente uma importância considerável em função da persistente poluição orgânica e mineral que atinge os corpos d'água. Dentro deste aspecto, os lagos e reservatórios formam ecossistemas especialmente sensíveis ao recebimento de cargas poluidoras. O elevado tempo de residência da água nestes ambientes, aliado a suas características morfológicas, torna-os suscetíveis a aceleradas degradações que provocam o envelhecimento prematuro destes corpos d'água. Distinguem-se aqui as influências primárias (alóctones), oriundas do lançamento de águas residuárias domésticas e industriais, componentes tóxicos, metais pesados etc. e as influências secundárias (autóctones), provenientes da formação de material prejudicial dentro do próprio corpo d'água, como conseqüência das influências primárias.

O gerenciamento de lagos e reservatórios visa estabelecer atividades para a correta administração dos valiosos recursos hídricos disponíveis. Cabe aqui, portanto, a aplicação de medidas preventivas e corretivas que objetivam a adequada preservação destes recursos. As medidas preventivas são caracterizadas pelo processo de *saneamento*, representado por atividades

externas ao corpo d'água, como por exemplo a construção de canalizações de esgoto e de anéis interceptores na bacia de contribuição e a implantação de tratamento de esgotos a nível terciário (remoção de nutrientes) antes do seu lançamento no corpo d'água. As medidas corretivas compõem o processo que é chamado de *recuperação* ou *terapia*. São técnicas usadas para a redução do ciclo interno de nutrientes, provocando conseqüentemente a diminuição do fenômeno de eutrofização.

É uma constatação óbvia que o processo de saneamento deve obrigatoriamente preceder o processo de recuperação, ou seja, a ingerência humana dentro do próprio corpo d'água só deve ser efetivada quando as medidas de saneamento mostrarem-se ineficazes em função da já avançada degradação do ecossistema.

TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE LAGOS E RESERVATÓRIOS

O desenvolvimento de técnicas para a recuperação de lagos e reservatórios tem um histórico ainda bastante recente. Excetuando-se algumas experiências esparsas realizadas na Europa Central na década de cinquenta, foi na Suécia onde, na década de sessenta, efetivamente, deu-se início a pesquisas com o objetivo primordial de recuperação de ecossistemas lacustres.

O sucesso obtido com a aplicação de técnicas diversas propiciou a sua rápida disseminação no seio dos países mais afetados pela poluição dos seus lagos e represas, como era o caso da Alemanha, Suíça e das nações escandinavas em geral. A propagação destas técnicas atingiu de imediato também o continente norte-americano (EUA e Canadá), onde extensos programas para a recuperação de lagos foram desenvolvidos. Atualmente dispõe-se de uma série de técnicas com esta finalidade, as quais podem ser divididas em processos mecânicos, químicos e biológicos. As características de cada uma dessas técnicas serão comentadas sucintamente a seguir.

Processos mecânicos

■ **Aeração do hipolímio:** Consiste na injeção de ar comprimido ou oxigênio das camadas profundas do lago, por meio de equipamentos especiais, sem que haja ruptura da estratificação térmica. A aeração promove a estabilização da matéria orgânica acumulada no fundo do lago, impedindo ainda a liberação de nutrientes provenientes do sedimento, a qual pode ocorrer em condições anaeróbias. Neste processo apenas o hipolímio, que é em geral a região mais problemática do corpo d'água, sofre os efeitos diretos da aeração. O emprego desta técnica está associado a elevados custos operacionais e de aquisição dos equipamentos. Não obstante, é a técnica de recuperação mais difundida, sendo oferecida uma grande variedade de modelos que se adaptam às diversas situações.

■ **Desestratificação:** Aqui ocorre também a injeção de ar comprimido ou oxigênio nas camadas profundas do lago, com a diferença de que a energia introduzida favorece a circulação de todo o corpo d'água. A camada aerada não se restringe apenas ao hipolímnio, como na técnica anterior, mas envolve o perfil completo do lago. Os equipamentos utilizados são mais simples, tratando-se em geral de tubulações perfuradas assentadas sobre o fundo do lago, provocando a formação intensa de bolhas de ar que irão promover a circulação do corpo d'água. O processo apresenta como inconveniente o transporte de compostos redutores, eventualmente presentes no hipolímnio, até a camada superficial onde poderão provocar uma queda na concentração de oxigênio e uma indesejável fertilização do epilímnio.

■ **Retiradas das águas profundas:** esta técnica objetiva a retirada das águas profundas, geralmente pobres em oxigênio e contendo compostos redutores, sendo seguida da sua substituição por águas de camadas superiores, mais ricas em oxigênio. A aplicação desta técnica reduz ainda o acúmulo de nutrientes no hipolímnio, o qual ocorre principalmente em períodos de estratificação. A retirada das águas profundas é feita através da pressão hidrostática ou com o auxílio de bombeamento. O volume líquido retirado pode ser utilizado em atividades de irrigação ou então ser conduzido até alguma estação de tratamento de esgotos localizada nas proximidades.

■ **Adução de água de melhor qualidade:** esta é basicamente uma técnica de diluição, utilizada com o objetivo de reduzir a concentração de nutrientes no corpo d'água. Além disso, a aplicação deste método combate a formação de gás sulfídrico no hipolímnio, transformando-se assim em uma efetiva medida de urgência para evitar mortandade de peixes. A água de melhor qualidade pode ser introduzida tanto na superfície do lago como na sua região profunda, sendo esta segunda opção a mais empregada.

■ **Remoção do sedimento:** aqui são removidas as camadas superficiais do sedimento, ricas em nutrientes, favorecendo a exposição das camadas mais antigas, de menor potencial poluidor. O método mais utilizado para a remoção é a dragagem por sucção, devendo o lodo ser transportado até uma bacia de sedimentação vizinha ao lago para posterior tratamento (floculação e decantação). O resíduo final pode ser comercializado como condicionador do solo.

■ **Cobertura do sedimento:** é uma medida corretiva para impedir a liberação de nutrientes das camadas profundas. O sedimento é isolado do restante do corpo d'água por meio de cobertura com material plástico ou substâncias finamente particuladas (argila p. ex.). Além de ser um método relativamente caro, ele apresenta consideráveis dificuldades de instalação.

■ **Remoção de macrófitas aquáticas:** a presença excessiva de macrófitas aquáticas interfere de forma prejudicial nos diversos usos aos quais está destinado um corpo d'água. Sua remoção pode ser feita manualmente ou mediante a utilização de veículos anfíbios com máquina cortadora. Por se tratar da retirada de um componente da cadeia trófica, podem ser provocados determinados desequilíbrios ecológicos, como a repentina proliferação do fitoplâncton.

■ **Remoção de biomassa plânctônica:** considerando-se o fato de o plâncton apresentar uma grande capacidade de armazenamento de poluentes, torna-se conveniente a sua retirada parcial do corpo d'água. A remoção pode ser feita através de centrifugação ou, mais comumente, por meio de micropeneiras instaladas na superfície do lago ou reservatório. A limpeza das micropeneiras é feita por jateamento, devendo a água de limpeza ser transportada através de canalização até as margens do corpo d'água.

■ **Sombreamento:** uma das possibilidades de combate ao crescimento

excessivo da vegetação é por meio da limitação do recebimento da radiação solar. Isto pode ser feito ou mediante arborização das margens de pequenos corpos d'água ou por meio da instalação de anteparos de plástico ou fibra de vidro convenientemente postados nas margens ou ainda através da aplicação de material sobrenadante de plástico ou até mesmo corantes leves na superfície da água.

Processos químicos

■ **Precipitação química do fósforo:** utilização recomendada no caso de fontes difusas de fósforo, tornando impraticável o tratamento a nível terciário (remoção de nutrientes) dos afluentes a um lago ou reservatório. Os compostos químicos precipitantes mais usualmente empregados são os sais de alumínio e de ferro.

■ **Oxidação do sedimento com nitrato:** técnica eficiente para a redução do problema da fertilização interna (liberação de nutrientes do sedimento em condições anaeróbias). A adição de um agente oxidante, no caso o nitrato, favorece a mineralização da matéria orgânica encontrada em forma reduzida no sedimento, impedindo assim a diminuição excessiva da concentração de oxigênio nas camadas profundas do corpo d'água.

■ **Aplicação de herbicidas:** técnica corretiva largamente difundida para o combate ao crescimento excessivo da vegetação. Sua utilização está no entanto vinculada a problemas de toxidez, sabor e odor e bioacumulação.

■ **Aplicação de cal:** técnica utilizada em pequenos corpos d'água para a desinfecção do sedimento (extermínio de parasitas de peixes em função da súbita elevação do pH) e para a eliminação de algas e plantas submersas. Atualmente tem encontrado aplicação na neutralização da água de lagos acidificados, fenômeno já comum na região dos países escandinavos.

Processos biológicos

■ **Utilização de peixes que se alimentam de plantas:** técnica utilizada para a redução da comunidade vegetal em função da atividade de peixes herbívoros, como a carpa e a tilápia. Seu uso está ligado no entanto ao problema de revolvimento do sedimento, provocando muitas vezes uma indesejável liberação de nutrientes.

■ **Utilização de cianófagos:** método para redução da densidade de algas azuis (cianofíceas) em um corpo d'água pelo ataque de vírus específicos (cianófagos). É uma técnica ainda pouco difundida devido às dificuldades para uma acurada determinação das condições de virulência em função dos diversos fatores ambientais.

■ **Manipulação da cadeia trófica:** técnica utilizada primordialmente para a redução da comunidade fitoplânctônica em função do incentivo ao aumento da população zooplânctônica, originário do controle sistemático de peixes que se alimentam do zooplâncton. A diminuição da atividade predatória sobre o zooplâncton traz como consequência uma diminuição da produção primária e um aumento da transparência do corpo d'água.

FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DE SELEÇÃO DAS TÉCNICAS A SEREM UTILIZADAS

A implantação de medidas de recuperação de lagos e reservatórios constitui uma etapa final de uma série de processos que se iniciam com a percepção de um determinado problema no corpo d'água. Esta percepção inicial pode ser originária de manifestação de associações comunitárias, iniciativas locais, órgãos ambientais, companhias de saneamento etc.

Após a análise dos dados disponíveis, para a qual a utilização de modelos pode contribuir substancialmente, procede-se ao diagnóstico ou identificação do problema. A próxima etapa, sem dúvida a mais complexa, engloba o estudo das possíveis soluções. Busca-se aqui um adequação entre

a capacidade existente de atuação no corpo d'água e as necessidades do usuário, seja ele um órgão público, uma indústria ou mesmo um grupo de cidadãos. Procura-se, portanto, sob a consideração de critérios técnicos e principalmente ecológicos, atingir um equilíbrio razoável entre o que é desejado e o que é possível. Pode-se desta maneira destacar o uso do corpo d'água como sendo o primeiro fator que norteia a seleção das medidas de recuperação a serem implementadas.

Outro fator de considerável relevância é constituído pela superfície do corpo d'água. Vários dos processos de recuperação descritos anteriormente apresentam um custo que é diretamente proporcional à superfície do lago ou reservatório. Alguns exemplos: remoção do sedimento, cobertura do sedimento, sombreamento, oxidação do sedimento com nitrato, remoção de macrófitas.

Também a profundidade máxima do corpo d'água deve ser obrigatoriamente levada em consideração na escolha das técnicas mais recomendadas. Alguns processos, como oxidação ou remoção do sedimento, adição de cal e remoção de macrófitas, encontram uma aplicação prática apenas em lagos rasos, ao passo que as técnicas de aeração do hipolimnio ou retirada de águas profundas tornam-se exequíveis apenas em corpos d'água de grande profundidade (valores superiores a 15 ou 20 m).

Além da superfície e da profundidade máxima, existem outros indicadores morfológicos que podem ser de grande valia no estudo da recuperação de ecossistemas lacustres. Assim, por exemplo, a profundidade relativa (relação entre a profundidade máxima e o diâmetro médio) exerce grande influência sobre o padrão de estratificação do corpo d'água e sobre a sua condição de meromixia (circulação parcial). O desenvolvimento da margem (relação entre o comprimento da margem e o perímetro de um círculo de área igual à do lago) indica a maior ou menor presença no ecossistema da região litorânea, que é sabidamente um compartimento de elevada diversidade de espécies e com uma boa capacidade de retenção de nutrientes. A própria forma do corpo d'água (circular, oval, irregular, dentrificada) permite inferir o seu grau de susceptibilidade à eutrofização. Também a relação entre a área da bacia hidrográfica e a área do espelho d'água é um parâmetro indicativo de tendência à eutrofização. Se esta relação for elevada, associada ainda à existência de solos facilmente erodíveis e ricos em nutrientes, estará configurada uma tendência contínua à fertilização do corpo d'água. O componente hidrológico, representado pelo tempo de permanência da água (relação entre volume do corpo d'água e vazão total afluente), também deve ser levado em consideração. A técnica de adução de água de melhor qualidade por exemplo só é aplicável em lagos ou reservatórios que possuem elevados tempos de permanência, ao passo que a aplicação e o processo de retirada de águas profundas pressupõe a existência de tempos de residência reduzidos.

METODOLOGIA PARA A SELEÇÃO DAS TÉCNICAS A SEREM UTILIZADAS

Após a análise dos diversos fatores intervenientes no processo de seleção, procede-se finalmente à etapa final de escolha da técnica ou técnicas a serem utilizadas para a recuperação do lago ou reservatório. O Quadro I apresenta de forma sucinta as conveniências para aplicação das diversas técnicas em função de alguns dos parâmetros descritos no item anterior. A seleção final depende agora de fatores que se revestem de um certo grau de subjetividade e que devem ser analisados à luz das características peculiares a cada projeto.

Um aspecto fundamental é aquele referente aos meios financeiros à disposição. Devem ser analisados tanto os custos de implantação de determinada técnica quanto os custos operacionais. Muitas vezes escolhe-se precipitadamente a técnica mais facilmente implementável ao invés de se adotar aquela economicamente mais efetiva. Ainda dentro deste enfoque econômico cabe a consideração sobre a longevidade de cada método. Algumas técnicas, como por exemplo a retirada de macrófitas ou a aplicação de al-

gicidas, apresentam efeitos apenas a curto prazo. Já o método de remoção do sedimento é exemplo de uma técnica de elevada longevidade. Não se deve ainda esquecer o potencial de impactos negativos apresentados por determinadas técnicas. Qualquer alteração no equilíbrio entre fitoplâncton e macrófitas por exemplo irá seguramente provocar o indesejável predomínio de um desses grupos.

A escolha da técnica deve, portanto, ser embasada em um enfoque holístico, tão em voga na ecologia moderna, de forma a se obter uma percepção global das vantagens e desvantagens inerentes a cada método. Vale finalmente ressaltar que as diversas técnicas apresentam um maior ou menor grau de confiabilidade, em função da experiência acumulada ao longo dos últimos anos ou décadas. Assim sendo, a remoção de sedimentos e a aplicação de algicidas, por exemplo, são métodos relativamente bem conhecidos e, portanto, revestidos de um maior grau de confiabilidade. Já a manipulação da cadeia trófica ou a desestratificação de corpos d'água têm apresentado resultados muitas vezes contraditórios, fato este que lhes confere um menor grau de confiabilidade.

CONCLUSÃO

As considerações feitas ao longo deste trabalho objetivam fornecer subsídios para o complexo processo de seleção de métodos utilizáveis na recuperação de lagos e reservatórios. Além das apreciações de caráter técnico é fundamental dentro do aspecto metodológico que se tenha em mente que cada caso merece uma análise individual. A transposição de estudos, mesmo entre ecossistemas aparentemente semelhantes, tende a conduzir ao fracasso, já que os componentes físicos, químicos, biológicos, climatológicos, morfométricos e hidrológicos variam consideravelmente em cada situação.

Correspondência

Eduardo Von Sperling

Av. do Contorno, 842, 7º andar
30.110 — Belo Horizonte — MG

Quadro I

	Lagos grandes	pequenos	profundos	rasos
Aeração do hipolimnio	+	+	+	-
Desestratificação	+	+	+	+
Retirada das águas profundas	+	+	+	-
Adução de água de melhor qualidade	+	+	+	+
Remoção do sedimento	-	+	-	+
Cobertura do sedimento	-	+	+	+
Remoção de macrófitas	-	+	+	+
Remoção de biomassa plânctônica	-	+	+	+
Sombreamento	-	+	+	+
Precipitação química do fósforo	+	+	+	+
Oxidação do sedimento com nitrato	-	+	-	+
Aplicação de herbicidas	-	+	+	+
Aplicação de cal	+	+	-	+
Processos biológicos	-	+	+	+

+ : pode ser aplicado

- : não deve ser aplicado