

# INFLUÊNCIA DO LODO NA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO — ASPECTOS BIOLÓGICOS(\*)

ANTONIO CARLOS ROSSIN (\*\*)  
JOSÉ CARLOS DERISIO (\*\*)  
IVANILDO L. ALCEDO (\*\*)

## RESUMO

O presente trabalho, baseado em pesquisa bibliográfica visou obter informações a respeito da influência que o lodo acumulado em reservatórios, tem sobre a qualidade da água. Inicialmente estudou-se os fundos dos reservatórios quanto a sua forma, material e organismos aí existentes sempre tendo em vista os objetivos do trabalho. O fenômeno de estratificação foi apresentado e as suas implicações, tanto na qualidade da água como na flora e fauna existente. Finalizando concluiu com a apresentação de processos para correção da inconveniências e recomendou estudos mais detalhados a respeito, além da implantação de medidas de correção para o problema existente entre nós.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso e o desenvolvimento de represas artificiais e reservatórios naturais para a estocagem de água «in natura» requer estudos cuidadosos tendo em vista as mudanças que ocorrem na qualidade da água, resultado de fenômenos naturais

que são geralmente frutos de alterações sazonais quer da temperatura quer das flutuações do escoamento superficial.

As mudanças físicas e químicas associadas com fatores sazonais podem criar no ambiente condições que favorecem o desenvolvimento de organismos prejudiciais à qualidade da água para abastecimento.

Em muitos reservatórios, particularmente naqueles que recebem águas drenadas de solos ricos em matéria orgânica, a atividade bacteriológica seguida de estratificação produz um rápido abaixamento na concentração de oxigênio dissolvido na camada mais profunda são reduzidos a sulfetos. Com a mudança no potencial de oxi-redução o ferro e o manganês modificam suas valências desses elementos na água<sup>(9)</sup>. Outros sais minerais resultantes da degradação do material do fundo concentram-se na região mais profunda do reservatório. Mudanças de temperatura promovem uma circulação de toda massa líquida ou destratificação. Como conseqüência ocorre maior disponibilidade de nutrientes junto à superfície tornando possível uma proliferação mais intensa de algas, podendo ocorrer o fenômeno da floração. Tal fenômeno provoca modificações desfavoráveis à qualidade da água destinada ao abastecimento.

(\*) Trabalho apresentado ao Departamento de Saúde Ambiental — disciplina de Fundamentos Biológicos II — FSP/USP.

(\*\*) Engenheiros da CETESB.

## 2. EFEITOS BENÉFICOS E MALÉFICOS DE RESERVATÓRIOS NA QUALIDADE DA ÁGUA <sup>(4)</sup>

Os efeitos benéficos importantes na qualidade da água de reservatórios, incluem:

- redução de turbidez, sílica, cor (em certos reservatórios) e coliformes;
- evita variações bruscas de dureza, pH e alcalinidade;
- redução da temperatura com alguns benefícios para a vida dos peixes;
- retenção de sedimentos e
- estocagem de água para durante os períodos secos servir como diluente para águas poluídas.

Em adição aos benefícios, o represamento tem certos efeitos indesejáveis, incluindo:

- proliferação intensa de algas, as quais podem produzir gosto e odor;
- redução de oxigênio dissolvido nas partes mais profundas dos reservatórios;
- aumento no teor de dióxido de carbono e frequentemente aumento de ferro, manganês e alcalinidade, especialmente próximo do fundo;
- aumento nos sólidos dissolvidos e dureza como resultado da evaporação e dissolução de materiais rochosos e
- redução da temperatura a qual algumas vezes benéfica, pode também ser maléfica à vida dos peixes.

## 3. CAUSAS DA MUDANÇA DA QUALIDADE DA ÁGUA

Entre os fatores de maior significância que alteram a qualidade da água encontra-se a diferença de densidade. Diferença esta causada por variação de temperatura, salinidade e material em suspensão. Outros fatores poderiam ser citados como a evaporação, movimento dos ventos, dissolução ou precipitação de minerais e atividade biológica. Esses fatores contribuem para que porções de água

do fundo atinjam a superfície, levando consigo materiais resultantes da decomposição anaeróbia, os quais negativamente a qualidade da água.

Como já é de conhecimento, as águas dos reservatórios de clima temperado sofrem uma estratificação térmica que varia com as estações do ano. Essa estratificação decorre de que o calor específico da água é muito alto. Em consequência disto o clima aquático é muito mais estável que o terrestre. Entretanto, com respeito à distribuição do calor, encontramos fenômenos curiosos: durante as estações quentes a temperatura de um reservatório está distribuída mais ou menos uniformemente, mas no inverno observamos que nos primeiros 10 metros abaixo da superfície não há diferenças apreciáveis de temperatura, verificando-se nessa camada a absorção de 99% da radiação total. A temperatura entretanto descreve rapidamente a partir dos 10 ou 12 metros até atingir uns 20 metros aproximadamente. Abaixo desta profundidade não há grandes variações. A figura 1 permite uma visualização do fenômeno da estratificação com as respectivas camadas.

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 flora e fauna típicas bem como teor de oxigênio, gás carbônico.

A água de um reservatório todavia está em constante movimento de circulação provocado, principalmente, pelos ventos. A não mistura das camadas de água de diferentes temperaturas se deve à grande diferença de densidade entre as camadas profundas. Por essa razão as camadas termoclina e do hipolimnio, permanecem sem sofrer movimentos pronunciados de correntes eólicas. Em climas temperados onde foi feita a maior parte das observações parece simples tal fenômeno. Em clima tropical ou sub-tropical, como o nosso, existem muito poucas observações a respeito. Entretanto, sabendo-se que variações de densidade da água são muito maiores a altas temperaturas que as baixas temperaturas, justifica-se a existência de fenômenos de estratificação em reservatórios de clima tropical e sub-tropical.

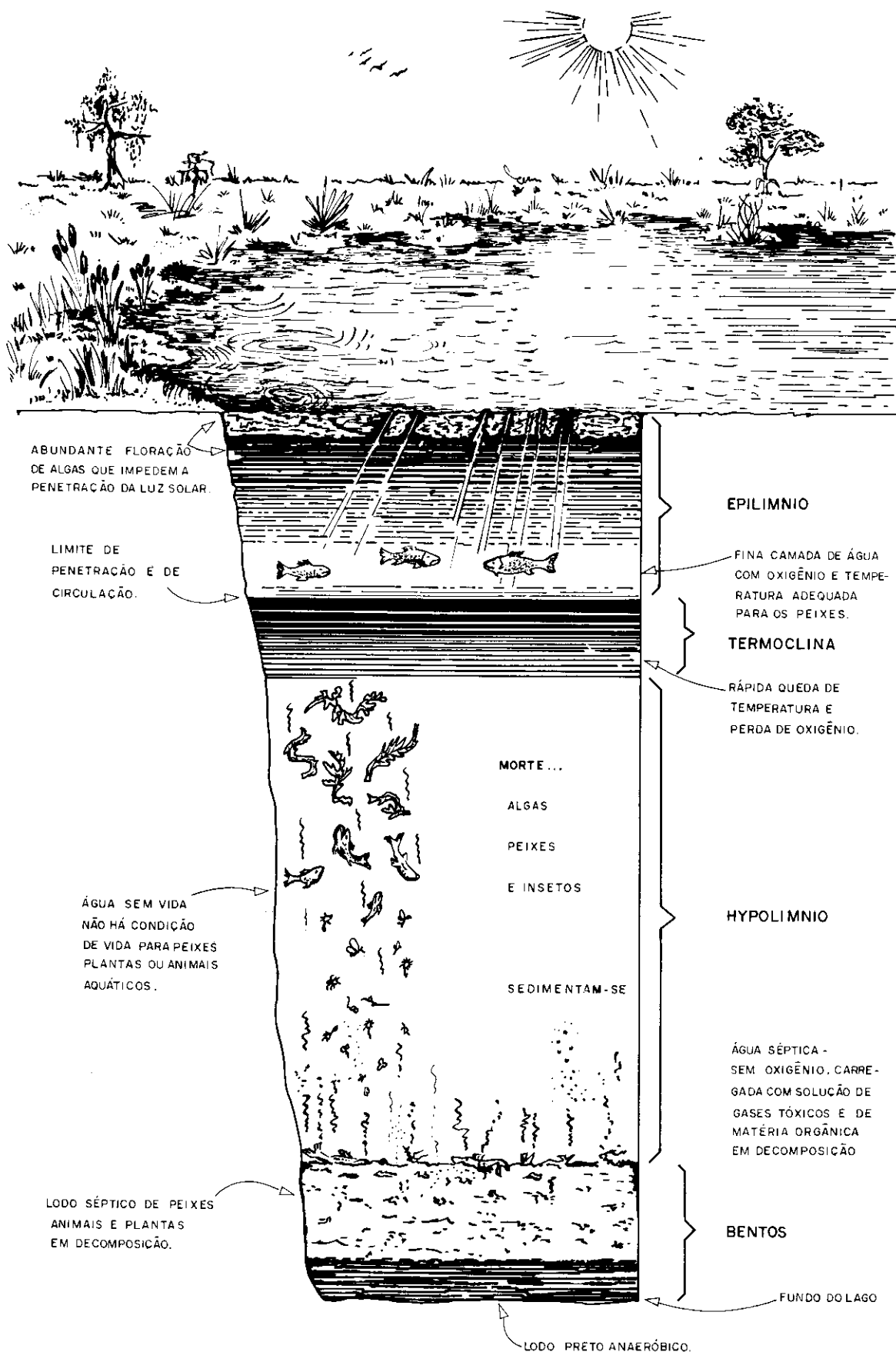


FIG. I - LAGO OU RESERVATÓRIO EUTRÓFICO

## 4. FUNDOS DE RESERVATÓRIOS

### 4.1 — Diversidade:

Os reservatórios, mesmo aqueles com características similares (condições climáticas, região, formação e etc.), não possuem material de fundo semelhantes.

A natureza dos depósitos de fundo é um aspecto proeminentemente importante na determinação da produtividade biológica. Diferentes espécies de depósitos de fundo mantem diferentes espécies de organismos e diferentes quantidades de depósito de fundo, dentro de limites, colaboram de um modo importante na diferenciação quantitativa da produtividade biológica.

### 4.2 — Origem do material de fundo:

As principais origens são:

- a) Corpos de organismos do plancton que morrem e se depositam.
- b) Materiais carregados pelo vento, sejam orgânicos e inorgânicos.
- c) Silte, argila, e materiais similares introduzidos por tributários ou pela lavagem das margens pelas enxurradas.
- d) Calcáreo argiloso, carbonato de cálcio, produzidos por plantas e animais ou precipitados da água por processos inorgânicos.
- e) Resíduos de algas flutuantes.
- f) Materiais erodidos das margens.

Todos esses materiais podem contribuir para a formação do material de fundo do reservatório ou em determinados casos apenas alguns. O material orgânico que se deposita sofre decomposição e desde que novas quantidades de material são adicionados continuamente, vão se formando camadas onde a estabilidade química cresce da superfície para o fundo.

Os animais que normalmente vivem no depósito de fundo habitam apenas alguns centímetros na parte superior da camada de material depositado.

### 4.3 — Classificação dos depósitos de fundo:

A classificação do material no fundo

dos reservatórios é ainda um tanto insatisfatória e grosseira.

Veatch (1931) e Roelofs (1944) apresentaram uma tentativa de classificação que citaremos a seguir:

I) Homogêneo: tendo composição uniforme

#### A. Inorgânico

1. lages de rochas
2. pedras de diâmetro maior que 30 cm
3. pedras de 7,5 a 30 cm de diâmetro
4. pedregulho de 0,3 a 7,5 cm de diâmetro
5. areia: grossa e fina
6. argila: material mineral finamente dividido; não apresentando aspereza e usualmente de cor cinza
7. calcáreo argiloso: carbonato de cálcio; usualmente de cor cinza.

#### B. Orgânico

1. Detritos: materiais de plantas inferiores, fragmentados mas pouco degradados.
2. Turfa fibrosa: resíduos de plantas parcialmente decompostas; partes reconhecíveis.
3. Turfa em polpa: resíduos de plantas finamente divididas; particulas irreconhecíveis; de verde a marron; consistência variável, frequentemente semi-fluida.
4. Húmus: negro, matéria orgânica finamente dividida, decomposição bastante avançada.

II) Heterogêneo: compostos de duas ou mais espécies de materiais:

1. Aluvião: material mesclado sedimentado, proveniente de correntes afluentes.
2. Várias combinações dos dois ou mais tipos homogêneos reconhecíveis.

### 4.4 — Formas de fundo:

A forma do fundo de um reservatório desempenha um papel importante na ma-

nutrição das populações de organismos de fundos. Assim um reservatório com formas suaves terá condições de manter organismos em quase toda a superfície molhada do reservatório, além do que suas águas estarão mais expostas às trocas de substâncias existentes no fundo. Por outro lado reservatórios profundos com paredes íngremes apresentaram as características relacionadas em menor proporção. Alsterberg (1929) acredita que essa diferença é um fator importante na caracterização dos reservatórios em eutróficos (ricos em nutrientes) e oligotróficos (pobres em nutrientes). Ele sustenta a hipótese de que reservatórios profundos e de paredes íngremes caracterizam reservatórios oligotróficos, enquanto que reservatórios de formas mais suaves são eutróficos.

#### 4.5 — Organismos de depósito de fundo:

##### 4.5.1 — Bactérias

As bactérias ocorrem abundantemente e em considerável variedade no lodo do fundo. Sem dúvida, a população bacteriana varia quantitativa e qualitativamente em diferentes reservatórios e em diferentes depósitos de fundo. O aumento do número de bactérias no lodo se deve à reprodutividade das bactérias já existentes e aquelas provenientes da sedimentação.

A flora bacteriana aí existente consiste de cromogênicas, produtoras de amônia, desnitrificantes, destruidoras de celulose e outras.

Carpenter (1941) encontrou em lagos de Wisconsin os seguintes números:

- bactérias aeróbias e facultativas — 4.700 a 250.000 por grama de lodo úmido na superfície do depósito de fundo e 40 a 1.600 em níveis mais profundos examinados.
- bactérias anaeróbias — 600 a 1.900 por grama de lodo úmido nas partes mais superiores e de 0 a 45 nos níveis mais inferiores.

##### 4.5.2. — Fungos

No lodo encontram-se fungos saprófitos e parasitos. Os saprófitos realizam a importante função de redução e trans-

formação de animais e plantas mortas. Neste processo trabalham lado a lado com as bactérias. Os parasitos produzem doenças em animais e plantas.

##### 4.5.3 — Algas

Algas da família das Characeae em determinadas condições podem se desenvolver cobrindo o fundo do reservatório (algas macroscópicas). Essas algas tem importância por fornecer nutrientes a diversos organismos aquáticos. Quando morrem e se desintegram elas fornecem certas substâncias para a água na forma dissolvida e outras para o depósito de fundo em forma não dissolvida pelo menos temporariamente.

##### 4.5.4 — Outros organismos presentes nos depósitos de fundo:

As classes que ocorrem em depósitos de fundo são geralmente:

- protozoa
- oligochaeta
- nematoda
- gastrotrichia
- rotatória
- crustácea
- insecta
- molusca

## 5. ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DEVIDO A INVERSÃO DE CAMADAS

Os fenômenos anteriormente descritos, ou sejam da estratificação térmica, não se verificam do mesmo modo durante todo o ano. Nas estações em que a temperatura é elevada o calor pode ir aos poucos atingindo as camadas mais profundas do reservatório e deste modo podem ser reduzidas ou anuladas as diferenças de densidade. Dessa maneira a camada que constitui o termoclina deixará aos poucos de oferecer resistência física à mistura, forçando o aquecimento das regiões profundas.

Nestas condições a massa líquida superficial, impulsionada pelo vento, ao atingir a margem, aprofunda-se indo ter ao fundo do reservatório, promovendo, em consequência, a circulação da massa de fundo. Em climas temperados essa cir-

culação é uma característica sazonal, havendo uma circulação na primavera e outra no outono. Nos reservatórios de regiões equatoriais e sub-tropicais observam-se também fenômenos de circulação, somente que com intensidade e periodicidade diferentes. Nesses reservatórios há somente um período de circulação total nas épocas mais frias do ano.

A inversão das camadas de água do reservatório é responsável pela alteração abrupta da qualidade da água já que gases ( $H_2S$ ,  $CH_4$  e etc.), ferro e manganês em quantidades elevadas atingem rapidamente a superfície.

### 5.1. — Gases:

Tanto o metano como o gás sulfídrico são produtos da decomposição anaeróbica da matéria orgânica depositada no fundo do reservatório. O metano apesar de não produzir odor desagradável, em quantidades apreciáveis é tóxico aos organismos aquáticos. A produção desses gases em épocas de verão é notória pela formação de bolhas na superfície da água. Certos estudos mostraram que o metano é o principal componente do gás do lodo, representando cerca de 65% a 85%.

Em certos reservatórios, onde o gás sulfídrico é produzido em grandes quantidades, pode-se observar o enegrecimento de instrumentos de bronze usados na coleta de amostras do fundo. Esse gás de odor desagradável, impõe o uso de maiores quantidades de cloro no tratamento da água.

### 5.2 — Ferro e Manganês:

Estes elementos, em uma água de abastecimento, podem causar problemas de cor e turbidez além de incrustações e manchas em determinados materiais. O manganês poderá incrustar areia de filtros em estações de tratamento de água. A fonte de ferro e manganês poderá ser rochas, solos e vegetações da bacia hidrográfica, que são transportados para o reservatório em solução ou em suspensão<sup>(8)</sup>. Tanto para o ferro, como para o manganês haverá uma movimentação devido a recirculação da água, sendo que nos primeiros estágios de recirculação ocorre um aumento de suas concentrações próximo à superfície do reservatório. O

aumento e posterior decréscimo nas concentrações desses metais está relacionada inversamente com a concentração de oxigênio dissolvido. Mortimer<sup>(9)</sup> em estudos detalhados realizados em reservatórios naturais e artificiais concluiu que o íon férrico precipitado na superfície do lodo era reduzido quando o oxigênio dissolvido e o potencial redox estavam dentro de certos limites. Outros estudos concluíram que o ferro e manganês são provenientes de sedimentos e são solubilizados quando se estabelece condições de redução. Em vista disso observa-se uma ação não direta de microorganismos na solubilização do ferro e manganês.

## 6. INFLUÊNCIA NA VIDA DOS ORGANISMOS AQUÁTICOS

### 6.1 — Estratificação:

Durante a estratificação, formada a camada de hipolimnio, a concentração de oxigênio dissolvido diminui a ponto de permitir a sobrevivência de apenas algumas espécies, limitando o habitat dos peixes e reduzindo sua população.

### 6.2 — Destratificação:

Na destratificação ocorre uma brusca liberação de gases tóxicos, e subida de material ainda não oxidado que provocará redução na concentração de oxigênio, com conseqüente prejuízo aos peixes.

Durante a destratificação ocorre também a liberação de sais nutrientes, nitratos e fosfatos que permaneciam no fundo, originários de um processo biológico ou do carreamento de fertilizantes agrícolas. Esses sais atingem a superfície líquida, resultando um aumento na concentração de nutrientes nessa região e provocando, como conseqüência, uma intensa proliferação de algas. Ressalte-se que nessas condições há uma proliferação mais acentuada de algas azuis dentre as quais algumas que além de tóxicas, promovem odor desagradável.

## 7. EXPERIÊNCIAS VISANDO A SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Cada vez mais tem-se observado que a qualidade da água de reservatórios apre-

senta os problemas mencionados no presente trabalho. Uma pesquisa feita nos Estados Unidos <sup>(1)</sup> demonstrou que os problemas importantes para o tratamento de água de reservatórios eram: gosto e odor, manganês, ferro, gás sulfídrico, algas, demanda de cloro, cor, turbidez e nutrientes. Além destes problemas relacionados com o abastecimento outros inconvenientes foram apontados, tais como baixa população de peixes e aspectos estéticos desagradáveis, prejudicando dessa forma outras utilizações do reservatório. Todos esses problemas decorrem em maior ou menor grau do fenômeno de estratificação e destratificação.

Dentre as experiências que vem sendo desenvolvidas visando solucionar o problema, abordaremos a seguir as principais:

### 7.1 – Aeração do Hipolimnio <sup>(2)</sup>

Consiste na injeção de ar ou oxigênio comercial na camada do hipolimnio, sem tentar destratificar o reservatório (figuras 2 e 3).

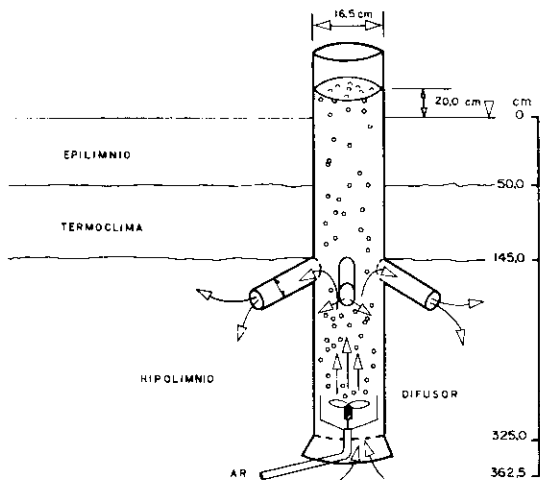


FIG. 2 - AERADOR DO HIPOLIMNIO TIPO BERNHARDT

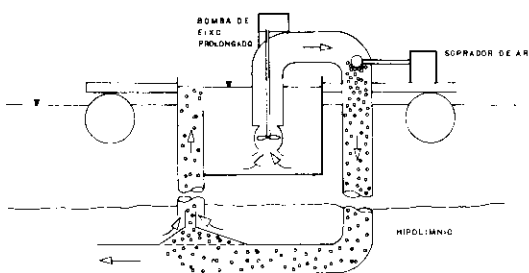


FIG. 3 - AERADOR DO HIPOLIMNIO - TUBO EM U

Dentre as vantagens da aeração do hipolimnio podem ser citadas:

- A temperatura da água não é aumentada, o que é benéfico para os seguintes fins: água utilizada em resfriamento; suprimento de água para abastecimento público; manutenção de ambiente favorável à vida de peixes de água fria.
- A produtividade das algas é restringida devido aos nutrientes presentes no hipolimnio ai ficarem retidos, e desta maneira não se tornarem disponíveis para o crescimento de algas.
- Menor volume de água participa do processo, já que a camada do epilimnio não é envolvida.

### 7.2 – Destratificação Artificial

#### 7.2.1 – Aeração <sup>(3)</sup>

Consiste na introdução de ar comprimido na superfície do lodo ou pouco acima, provocando uma destratificação térmica. A camada termoclina é eliminada, produzindo-se então uma condição homogênea (a superfície e o fundo do reservatório apresentam essencialmente a mesma temperatura). (figura 4)

#### 7.2.2 – Circulação forçada de água <sup>(4)</sup>

Baseia-se na circulação forçada de água fria do fundo do reservatório para a superfície, através de bombas centrífugas de fluxo misto. Essas bombas são montadas sobre flutuadores e dispostas em vários pontos do reservatório. (figuras 5 e 6).

#### 7.2.3 – Vantagens <sup>(2, 3, 4)</sup>

As experiências tem demonstrado que a destratificação artificial apesar de não ser uma prática comumente empregada apresenta uma série de vantagens dentre as quais citaremos:

- retarda a eutrofização e envelhecimento de reservatórios;
- Auxilia na remoção de gosto e odor pela oxidação de sulfeto de hidrogênio

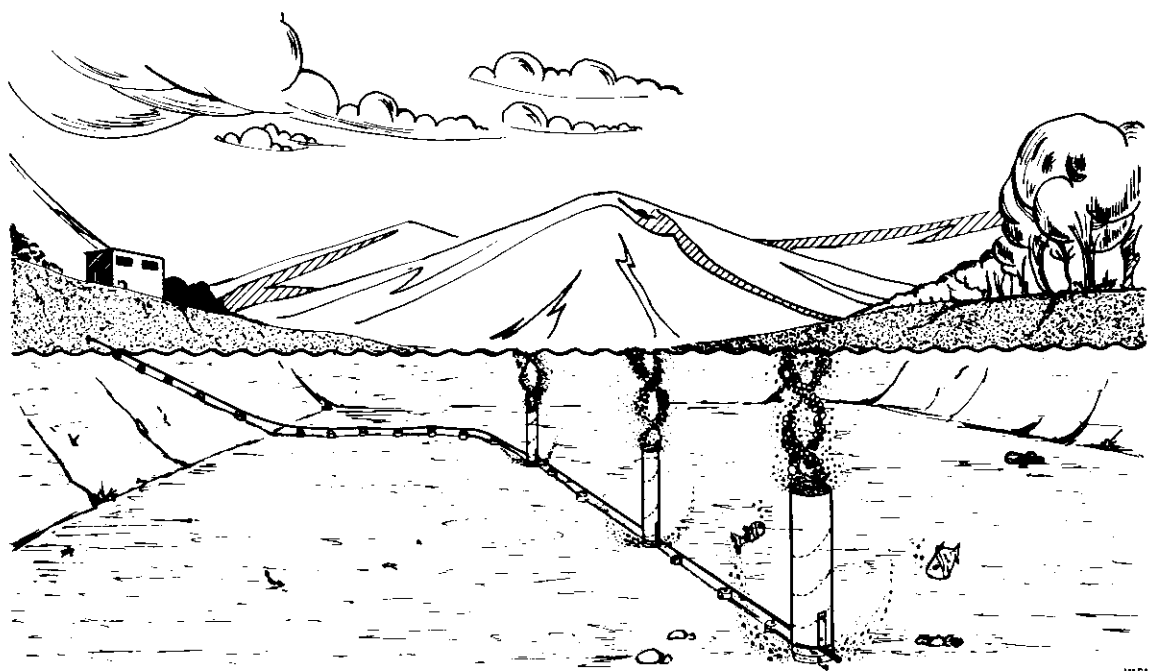


FIG. 4 - INSTALAÇÃO USADA PARA AERAÇÃO - "HELIXOR"

e matéria orgânica, em reservatórios destinados ao abastecimento;

- previne a estratificação;
- oxida e remove toneladas de lodo orgânico;
- retarda o crescimento de algas indesejáveis (azuis) e posteriormente promove a proliferação de algas verdes;
- reduz a quantidade de ferro solúvel, manganês e fosfato na água;
- reduz a temperatura da água de superfície retardando a evaporação, evitando a perda de água;
- eleva a produtividade de peixes, devido ao aumento da quantidade de alimento (plancton) e de um maior volume onde passa a ser disponível esse alimento, face a homogeneidade;
- elimina as condições de anerbiose no fundo do reservatório;
- aumenta o teor de oxigênio dissolvido em todos reservatório, não havendo diferença significativa entre as regiões de superfície e de fundo;
- não eleva a turbidez;

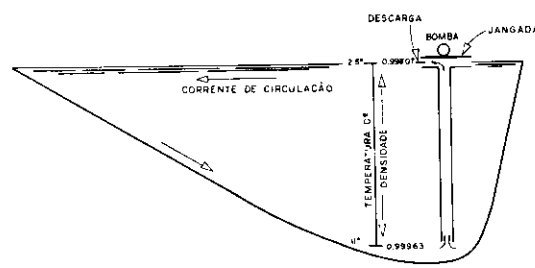


FIG. 5 - ESQUEMA GERAL DE ESTRATIFICAÇÃO

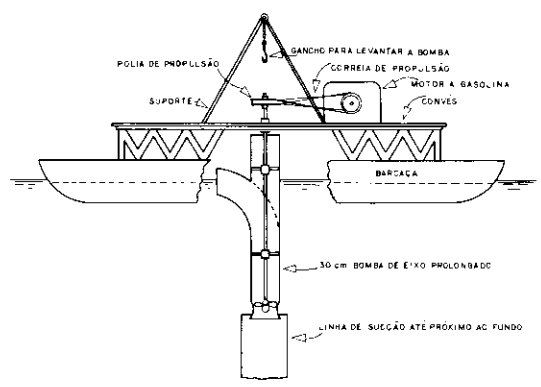


FIG. 6 - BOMBA, BARCAÇA E MOTOR PARA DESTRATIFICAÇÃO



— reduz o consumo de substâncias químicas no tratamento.

## 8. CONCLUSÕES

A necessidade crescente de reservação de águas para múltiplos fins, dentre os quais o abastecimento, vem se fazendo sentir nas últimas décadas. Nesses reservatórios, inicialmente, essas águas apresentam-se de boa qualidade, entretanto é de se esperar uma deterioração da qualidade devido ao material de fundo.

Essa deterioração é provocada por fenômenos de estratificação e destratificação, implicando na transferência do material de fundo para a superfície, alterando a qualidade da água.

Experiências em outros países têm mostrado a viabilidade técnica e econômica da solução do problema.

Em nosso país poucas experiências tem sido relatadas, merecendo o assunto maiores pesquisas.

Nos reservatórios que atualmente vem apresentando tais problemas, recomendar-se-ia a experimentação dos processos corretivos já referidos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARTIFICIAL DESTRATIFICATION IN RESERVOIRS — Committee Report — *Jour. AWWA* **63**(9):597-604, 1971.

2. HINDE, J. N. — Revitalizing Water The Nature Way — 89<sup>th</sup> Annual Conference AWWA, San Diego California — May 1969.
3. LAVERTY, G. L. & NIELSEN, H. L. — Quality Improvements by Reservoir Aeration — *Jour. AWWA* **62**:711-14, 1971.
4. LOVE, K. S. — Relationship of Impoundment to Water Quality — *Jour. AWWA* **53**:559-68, 1961.
5. MORTIMERS, C. H. — The Exchange of Dissolved Substances Bewteem Mud and Water in Laker — *Jour. Ecol.* **29**:280, **30**:147, 1941 e 1942.
6. SYMONS, J. M.; CARSWELL, K. K. & ROBECK, G. G. — Mixing of Water Supply reservoir for quality control. *Jour. AWWA* **62**(5):322-34, 1971.
7. SPEECE, R. E. — Hypolimnion Aeration — *Jour. AWWA* **63**:6-9, 1971.
8. WALESH, S. G. — Natural Processes on Their Influence on Reservoir Water Quality. *Jour. AWWA* **59**(1):63-79, 1967.
9. WEISS, M. C. — Biological Control by Water-Intake Location. *Jour. AWWA* **63**:185-8, 1971.

### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. BRANCO, S. M. — Ecologia e Poluição. Curso Ministrado no CETESB em Maio 1972 — mimeografado.
2. BRANCO, S. M. et al. — Identificação e Importância dos Principais Gêneros de Algas de Interesse para o Tratamento de Água e Esgotos — *Revista DAE* n.º **48-49-50** (sep. 1963).
3. WELCH, P. S. — *Limnology*, 2.<sup>a</sup> ed. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc. 1952.