

Influência do represamento na qualidade das águas *

Dr. IVANILDO HESPANHOL (**)

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios podem ser formados visando usos singulares ou múltiplos, tais como: navegação, controle de enchentes, geração de energia elétrica, agricultura e pecuária, abastecimento de água, abatimento da poluição, recreação etc...

O Registro Geral das Grandes Barragens Brasileiras relacionava, em 1975, 430 reservatórios em operação, e 29, em construção, sem contar Itaipu, pois essa se constitui em projeto binacional (1).

A qualidade das águas nos reservatórios depende de uma grande gama de condições, algumas das quais associadas a processos naturais e outras associadas a práticas construtivas e de operação.

A composição e características das águas mantidas nos reservatórios de acumulação são funções da interação de diversos fenômenos associados a clima, geologia, topografia, biota e tempo de detenção (2). Em função desses parâmetros e condições naturais, os seguintes efeitos podem ser exercidos sobre a qualidade das águas acumuladas (3):

Efeitos benéficos: redução de sílica, de turbidez, de cor, em alguns casos e de bactérias; amortecimento nos picos de variação de compostos minerais dissolvidos, dureza, pH e alcalinidade; redução de temperatura e retenção de grande parte do material sólido transportado.

Efeitos desfavoráveis: aumento das taxas de crescimento de algas, o que pode vir a provocar sabores e odores indesejáveis, redução da concentração de oxigênio dissolvido nas partes mais profundas, aumento nas concentrações de gás carbônico e freqüentemente de ferro, manganês e alcalinidade especialmente próximo no fundo dos reservatórios, aumento da concentração de sólidos dissolvidos e dureza como resultado da evaporação superficial e dissolução de rochas subjacentes.

O estudo das causas e dos fenômenos que dão origem a essa grande variedade de efeitos torna-se bastante complicado, devido à interdependência de variáveis físicas, físico-químicas, químicas e biológicas que ocorrem simultaneamente. Por exemplo, um acréscimo de temperatura provoca um aumento na evaporação, o que influi sobre a salinidade, altera a velocidade de sedimentação de partículas suspensas e a precipitação de substâncias em solução, modifica a distribuição e a concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido, influenciando no fito e no zooplâncton e assim sucessivamente.

Além disso, as próprias características morfológicas dos reservatórios influem sobre a estratificação térmica e surpreendentemente, até mesmo sobre as transformações químicas que ocorrem na massa líquida. Love e Slack (4), citando estudos de Hutchinson no lago de Linsley, mostram que a quantidade do íon bicarbonato (HCO_3) por unidade de volume em solução, oriundo dos carbonatos existentes no sedimento é tanto maior quanto menor a declividade do fundo do reservatório e vice-versa. Isso, porque uma

(*) Palestra proferida no seminário sobre "Efeitos de grandes represas no meio ambiente e no desenvolvimento regional", CETESB, 24 a 28/4/78.

(**) M.Sc., Ph.D., Superintendente de Pesquisa da CETESB, Professor da Escola Politécnica e Escola de Engenharia de São Carlos, ambas da USP.

menor declividade proporciona maior área de sedimento por unidade de volume, permitindo uma maior superfície para solubilização de qualquer ion passível de ser solubilizado.

Nessas condições, torna-se difícil agrupar as variáveis e os fenômenos que ocorrem, sob qualquer tipo de classificação, seja do ponto de vista de suas influências físicas, químicas ou biológicas, seja do ponto de vista dos efeitos favoráveis ou detrimen-tais à massa líquida mantida no re-servatório.

Procuraremos então, nesse traba-lho, discorrer sobre as causas mais importantes e seus efeitos sobre a qualidade das águas acumuladas, enumerando-as separada e indepen-dentemente de efeitos colaterais se-cundários. Caberá à imaginação do leitor, a visualização da simultanei-dade das causas e a conseqüente superposição e inter-relacionamento dos efeitos.

2. ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA

A estratificação térmica assume aspectos dependendo da localização geográfica, condições climatológicas, profundidade, área superficial e ou-tras características físicas dos reser-vatórios de acumulação⁽⁵⁾.

De uma maneira geral, a estratifi-cação térmica gera uma resistência à circulação e à mistura das cama-das de água reduzindo ou mesmo impedindo o transporte do oxigênio assimilado na superfície às camadas mais profundas⁽⁶⁾.

O que gera a estratificação térmica é uma das mais interessantes características físicas da água, ou seja, sua alteração de densidade em função da temperatura. Embora in-crivelmente pequena, (4,3 miligramas por centímetro cúbico ou menos do que 0,5% entre a máxima densidade de 1 g/cm³ a 4°C e 0,995673 g/cm³ a 30°C), essa variação provoca efei-tos de extrema importância nas gran-des massas de água submetidas ao aquecimento solar.

As camadas superiores absorvem a maior parte da energia luminosa e apenas uma pequena porção atinge as partes mais profundas pois, en-quanto a profundidade aumenta arit-meticamente a absorção de energia decresce geometricamente.

Dependendo das características morfológicas, posicionamento rela-tivo na bacia de drenagem e dimen-sões do reservatório, dois tipos de estratificação podem ocorrer.

2.1 — Reservatórios em rios prin-cipais

Esses reservatórios são formados por barragens relativamente baixas e a sua superfície não se estende muito além dos limites do canal do rio. A variação do nível de água é relativamente pequena e o tempo de detenção pode atingir um mês no máximo. As velocidades de escoa-mento são sempre no sentido da barragem e podem atingir valores significativos embora devam ser con-sideradas muito baixas em relação ao escoamento natural do rio.

A estratificação de verão típica desses reservatórios é mostrada na FIGURA n.º 1. O espaçamento loga-ritimo das linhas de temperatura in-dica a relação entre profundidade e absorção de energia luminosa.

O efeito detrimental causado por esse tipo de estratificação é a re-dução de aeração das camadas sub-jacentes que resulta da eliminação da circulação vertical da água. Nes-

sas camadas a concentração de oxi-gênio dissolvido pode estar muito abaixo de 5 mg/l.

2.2 — Reservatórios em tributários

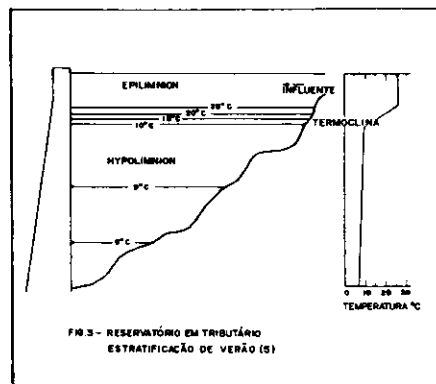
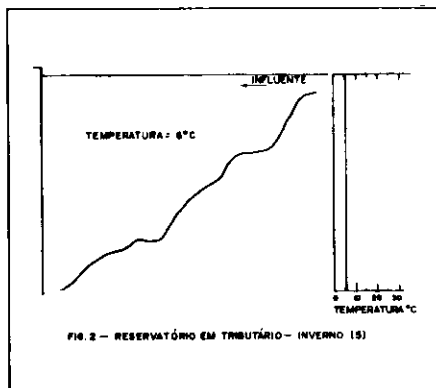
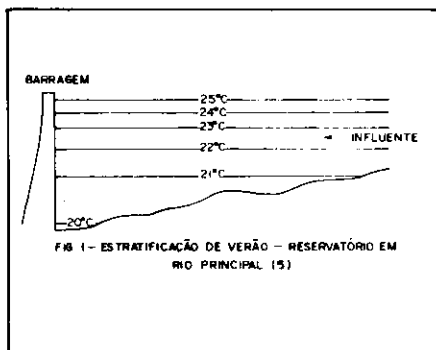
Esses reservatórios são freqüente-mente localizados em trechos de rios secundários com grande declivi-dade de fundo. São normalmente constituídos por barragens altas (acima de 30 m de altura) e se ex-pandem muito além do leito natural do rio que o forma, atingindo gran-des áreas superficiais. As veloci-dades de escoamento são muito pe-quenas e os períodos de detenção são de muitos meses. Pode existir grandes zonas mortas onde a água permanece retida por períodos até superiores a um ano.

Como a função desses reservató-rios é mais comumente para regula-rização de vazão, as cotas variam muito, podendo a oscilação chegar em torno de 20 metros entre os pe-ríodos de estiagem e seca.

Durante o inverno, o reservatório permanece com temperatura baixa, de 6 a 10°C e, devido à pequena resistência à mistura, a ação do ven-to faz com que ocorra uma tempera-tura uniforme em toda a massa lí-quida, como mostra a FIGURA n.º 2. Nessas condições, a água apresenta-rá uma concentração uniforme de oxigênio dissolvido. Como a tempe-ratura é baixa, a decomposição or-gânica é mais lenta e, devido à tam-bém reduzida atividade planctônica, ocorre menor morte de células fa-zendo com que a depleção de O₂ seja bastante reduzida.

À medida que a temperatura do ar aumenta, tanto a água do reser-vatório como dos rios tributários se aquecem e, devido às diferenças de densidade provocada pela absorção diferencial de energia luminosa, a resistência à mistura aumenta muito, atingindo valores capazes de vencer os esforços do vento em fazer cir-cular as partes mais profundas do reservatório. Ocorre, então, a cha-mada estratificação de verão, mos-trada na FIGURA n.º3, onde são defi-nidas três camadas distintas.

A superior, denominada "epilim-nion", possui, nos grandes reser-voatórios, uma espessura entre 8 a 15 metros e pode atingir uma tempera-tura de 30°C. Normalmente, a quali-dade da água do "epilimnion" é bas-tante boa e uniforme, devido à re-aeração e purificação natural que ocorrem. Os resíduos orgânicos são estabilizados e a concentração de oxigênio dissolvido é próxima a con-



centração de saturação. Devido à ação desinfetante da luz solar, depredação por outros organismos e falta de alimentação apropriada, a concentração bacteriana é reduzida a um mínimo. Grande parte do material particulado presente é removido por sedimentação e, na maior parte das vezes, a cor é também reduzida a um mínimo.

O único efeito adverso que pode ocorrer no "epilimnion" é o crescimento excessivo de algas e protozoários que causam gostos e odores.

Na camada subjacente ao "epilimnion", denominada "metalimnion" ou termoclina, ocorre uma diminuição brusca da temperatura. A termoclina é definida como a camada de água na qual ocorre a redução de temperatura de 1°C por metro de profundidade. A temperatura, nessa camada, pode decrescer de até 10°C. Esse gradiente provoca um aumento correspondente de densidade o que proporciona à termoclina uma grande resistência à mistura e uma grande estabilidade.

A FIGURA n.º 4, mostra a grande estabilidade da termoclina mesmo quando o reservatório é submetido a uma ação preferencial do vento. Assim que o vento amaina a termoclina volta à sua posição normal continuando a atuar como um verdadeiro diafragma na separação das camadas superiores e inferiores do reservatório.

Abaixo da termoclina, forma-se uma camada cuja variação de temperatura é muito reduzida, geralmente 2 ou 3°C, no máximo.

Essa camada, denominada "hypolimnion", não tem condições de se reaarar e a decomposição da matéria orgânica suspensa e de fundo, o plancton morto e o material particulado que sedimentam as camadas superiores consomem todo o oxigênio disponível. Na decomposição anaeróbica que se segue, podem ocorrer metano, gás sulfídrico, cor elevada e altas concentrações de ferro e manganês.

No caso em que haja deficiência de nutrientes é possível que a vida bacteriana não se desenvolva a ponto de exaurir todo o oxigênio dissolvido.

Os estudos desenvolvidos por Gordon e Skelton⁽⁷⁾ nos reservatórios Tims Ford e Souti Holston, nos Estados Unidos, demonstram os efeitos conjugados da variação de temperatura e conseqüente variação de densidade das várias camadas e seus efeitos sobre a qualidade das águas.

A velocidade terminal de sedimentação de partículas discretas quando o escoamento é laminar (número de Reynolds menor ou igual a 1) é dada pela equação de Stokes:

$$v = \frac{g}{18} \frac{\rho - \rho_0}{\nu} d^2$$

onde v = velocidade terminal de sedimentação

g = aceleração da gravidade

ρ = densidade da partícula

ρ_0 = densidade da água

ν = viscosidade cinemática da massa líquida

d = diâmetro da partícula

Acima de 4°C, qualquer decréscimo de temperatura provoca aumento da densidade da água e aumento da viscosidade cinemática da água fazendo com que a velocidade de sedimentação diminua consideravelmente, como mostra a equação de Stokes.

Essa redução de velocidade ocorre, portanto, mais abruptamente na termoclina onde o gradiente de temperatura é mais acentuado. Conseqüentemente, haverá um acúmulo de partículas e de bactérias nessa camada, gerando uma maior demanda de oxigênio.

As FIGURAS n.º 5, 6, 7 e 8 mostram respectivamente:

- a brusca redução da velocidade de sedimentação na termoclina e a conseqüente redução de oxigênio dissolvido;

- o considerável aumento de bactérias na termoclina devido à redução da taxa de sedimentação;

- o aumento de DBO₂₈ na termoclina, também em função do acúmulo de matéria orgânica nessa camada, provocada pela redução da velocidade de sedimentação.

Conforme a temperatura atmosférica começa a cair no outono, os tributários começam a contribuir com água cada vez mais fria que vai reduzindo a temperatura da parte superior da termoclina e do "epilimnion", através de convecção e ação do vento.

Quando as temperaturas e densidades do "epilimnion" e da termoclina se aproxima às do "hypolimnion", a resistência à mistura é reduzida a ponto tal que todo o reservatório é submetido à circulação vertical fazendo com que toda a massa líquida tenha aproximadamente a mesma temperatura. Essa condição provoca uma brusca redução na qua-

lidade de água, com levantamento de lodo e material de fundo provocando aumento de cor e turbidez, queda da concentração de oxigênio dissolvido e aumento da DBO.

O reservatório do Rio Grande, onde se situa a captação da estação de tratamento de águas do ABC, apresenta esse fenômeno quase rotineiramente com a queda de temperatura no outono e inverno.

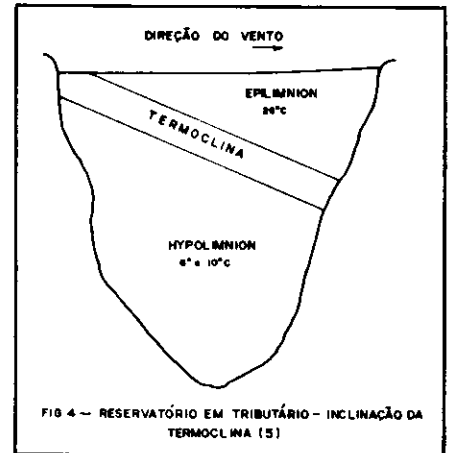


FIG 4 - RESERVATÓRIO EM TRIBUTÁRIO - INCLINAÇÃO DA TERMOCLINA (5)

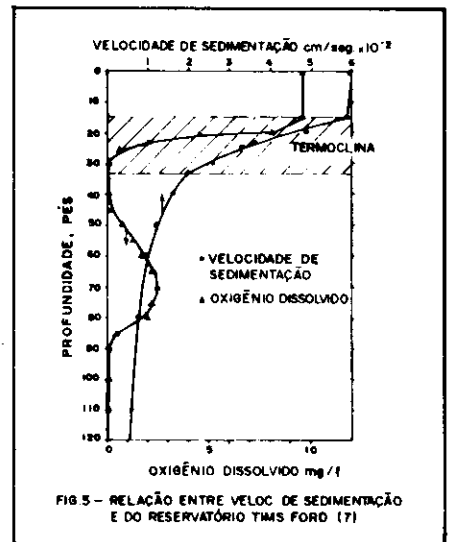


FIG 5 - RELAÇÃO ENTRE VELOC. DE SEDIMENTAÇÃO E DO RESERVATÓRIO TIMS FORD (7)

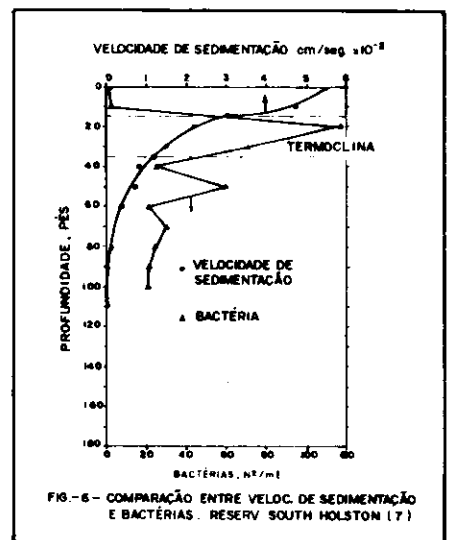


FIG-6 - COMPARAÇÃO ENTRE VELOC. DE SEDIMENTAÇÃO E BACTÉRIAS. RESERV. SOUTH HOLSTON (7)

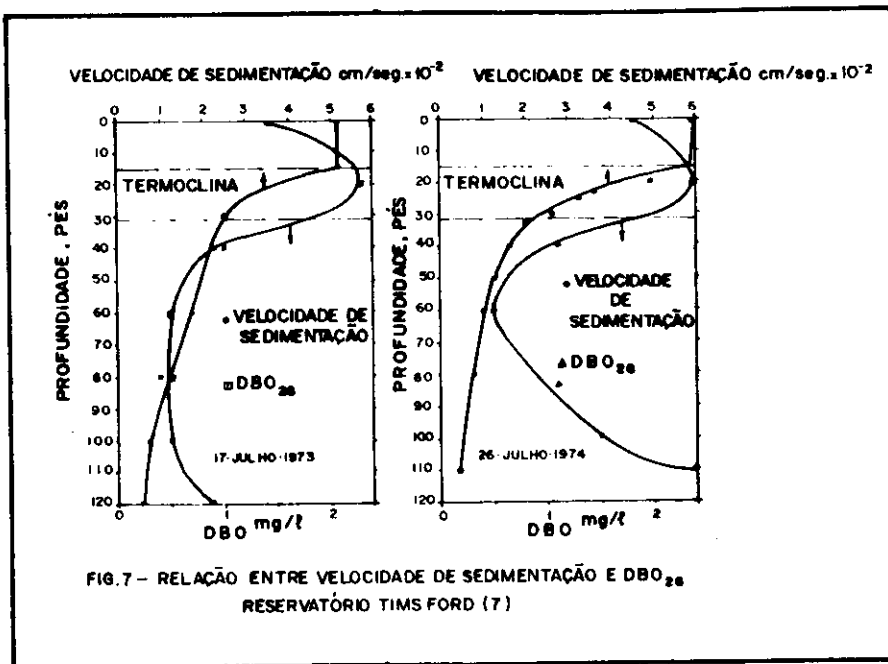


FIG. 7 - RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO E DBO₂₆ RESERVATÓRIO TIMS FORD (7)

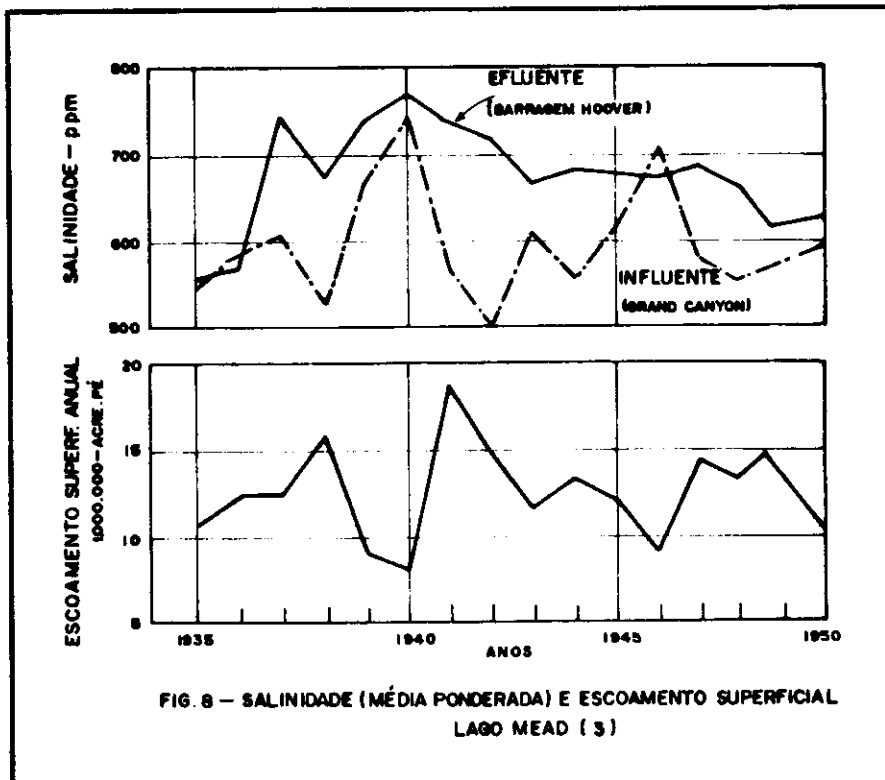


FIG. 8 - SALINIDADE (MÉDIA PONDERADA) E ESCOAMENTO SUPERFICIAL LAGO MEAD (3)

TABELA 1
QUANTIDADES ESTIMADAS DE N e P CONFORME VÁRIAS FONTES DE CONTRIBUIÇÃO⁽¹¹⁾

Fontes	N Total	P Total
Precipitações pluviométricas (mg/l)	0,14 a 1,71	0,081 a 0,09
Água subterrânea (mg/l)	—	0,3
Áreas de florestas (kg/ha . ano)	1,3 a 5,0	0,18 a 0,86
Áreas agrícolas (kg/ha . ano)	6 a 40	2 a 11
Áreas urbanas (kg/ha . ano)	8,8	1,1
Esgotos (mg/l)	15 a 35	2 a 12

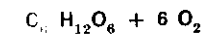
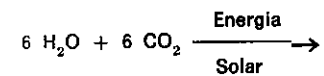
3. FOTOSÍNTESE

Um fator de grande importância nas concentrações de oxigênio dissolvido em um lago natural ou reservatório é a fotossíntese das plantas aquáticas, incluindo as algas microscópicas que constituem o fitoplâncton.

Oswald e Gotaas⁽⁸⁾ mencionam que as algas azuis, utilizando energia solar produzem carboidratos através de CO₂ e H₂O, assimilando em seguida esses carboidratos com a amônia liberada e outros elementos essenciais para produzir mais algas. Quantitativamente, um quilo de algas sintetizadas é acompanhado da produção de 1,6 quilos de oxigênio molecular.

Estudos realizados durante um ano no Lago Erie mostraram máximos de 12 kg de O₂ por dia por hectare de área superficial no inverno e 95 no verão.

Entretanto, como demonstra a própria reação de fotossíntese:



para "cada grama de oxigênio liberado por fotossíntese, uma grama de demanda bioquímica de oxigênio é produzida pela síntese de matéria orgânica, de maneira que não ocorre ganho final de oxigênio"⁽¹⁰⁾. Essa demanda, entretanto, não se exercerá a curto prazo porque o carbono poderá permanecer fixado por períodos relativamente grandes.

Nos reservatórios de acumulação, a matéria orgânica fixada fotossinteticamente, após sua morte irá para as partes mais profundas do "hypolimnion" onde poderá ser oxidada anaerobicamente ou permanecer até que ocorra circulação vertical do reservatório, quando os períodos críticos com relação às concentrações de oxigênio já tenham sido superados.

Nessas condições, a produção de oxigênio por fotossíntese pode influir beneficemente na manutenção dos níveis desejáveis de oxigênio dissolvido pelo menos nas camadas superiores dos reservatórios.

4. EUTROFIZAÇÃO

Se, sob o ponto de vista de produção de oxigênio a fotossíntese pode ser considerada como benéfica aos reservatórios, ela é detrimental

quando enfocada sob o aspecto de produtividade primária, uma vez que, quanto maior a taxa de produtividade primária maior o nível de eutrofização do meio aquático.

A produtividade primária, entretanto, depende de outros fatores além de luz solar. A formação da biomassa nos reservatórios só pode se desenvolver a níveis de promover eutrofização se forem disponíveis concentrações consideráveis de N e P em forma de sais e de outros micronutrientes essenciais para as plantas tais como: ferro, manganês, cobre, zinco, boro, sódio molibdênio, cloro, vanádio e cobalto⁽⁴⁾.

Kawai⁽¹¹⁾ apresenta estimativas de contribuição de nitrogênio e fósforo a reservatórios de acumulação, oriunda de fontes diversas. Note-se que uma grande contribuição é oriunda de esgotos domésticos e que dependendo das características de retenção no solo, irrigação e tipo de fertilizantes utilizados nas bacias hidrográficas, a contribuição de áreas agrícolas pode ser bastante grande.

Como consequência da eutrofização, os seguintes efeitos desfavoráveis são notados nos reservatórios de acumulação⁽¹¹⁾:

- A excessiva proliferação de algas transfere gostos e odores indesejáveis à água utilizada para abastecimento, além de causar problemas nos sistemas de tratamento, tais como dificuldades na floculação, demanda excessiva de cloro, e colmatagem dos filtros;

- Impedem a utilização dos reservatórios como recreação devido ao excesso de turbidez, cor e odor;

- Dificulta a sobrevivência de peixes nobres, permitindo que outros peixes com pouco valor comercial se desenvolvam nos reservatórios;

- Propicia o desenvolvimento de vegetais aquáticos superiores e larvas de insetos prejudicando o reservatório do ponto de vista estético e criando condições ambientais desfavoráveis às populações situadas nas regiões circunvizinhas.

O aspecto de eutrofização dos reservatórios no Brasil deveria ser abordado com maior interesse por parte das autoridades e administradores pois, pelo fato de não se remover nutrientes dos resíduos domésticos e industriais lançados aos corpos hídricos e por não se exercer convenientemente o controle de algas, existe uma grande tendência para o surgimento de condições bastante críticas que, a prazo bastante

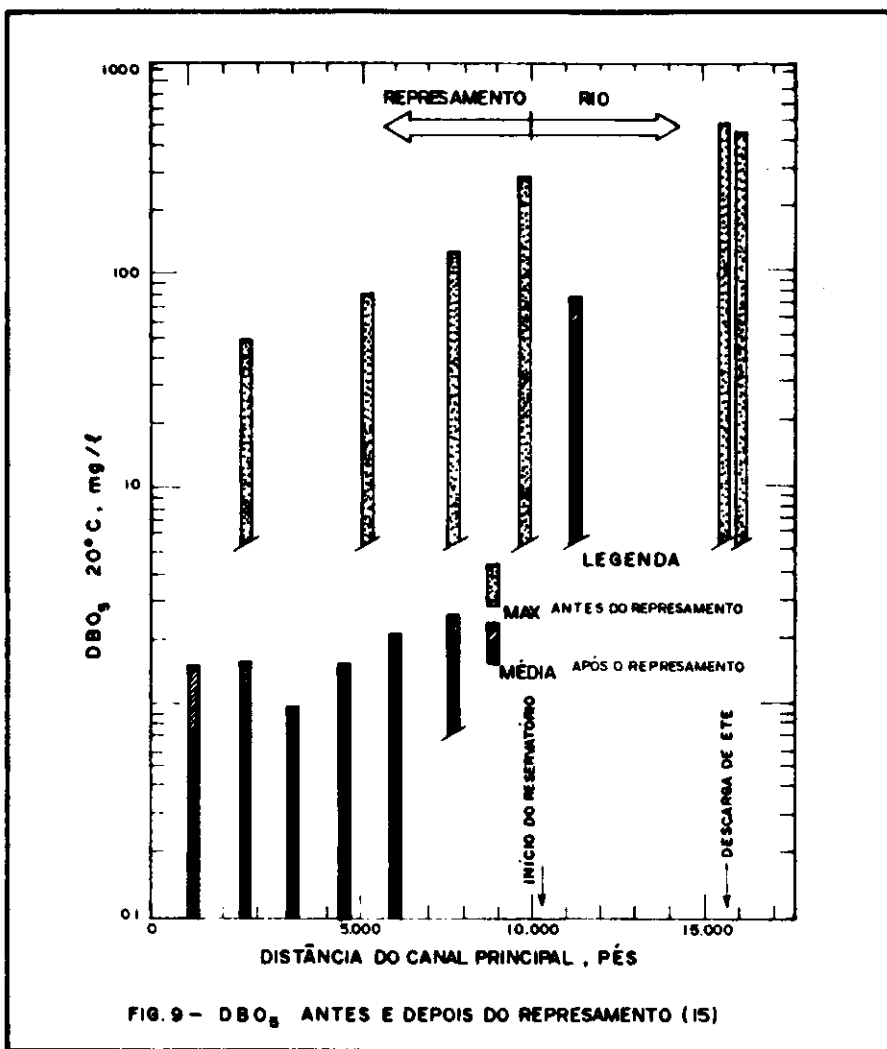


FIG. 9 - DBO₅ ANTES E DEPOIS DO REPRESAMENTO (15)

curto, tornarão as águas inúteis para os fins de abastecimento público, irrigação e recreativos.

5. EVAPORAÇÃO E SALINIDADE

Como consequência da ação do vento e da radiação solar, a evaporação provoca uma perda de água bastante significativa nos reservatórios de acumulação.

Dependendo da área superficial e do balanço hídrico do reservatório (vazão influente, precipitação pluviométrica, evaporação, percolação e infiltração) pode ocorrer um aumento de salinidade bastante significativo devido à evaporação.

O aumento excessivo de sais solúveis em solução pode tornar a água imprópria para consumo humano e para a irrigação de plantas e hortaliças.

Dependendo das características do reservatório, o aumento de salinidade devido à evaporação pode ser compensado pela precipitação química dos sais solúveis, de maneira que o acréscimo final venha a ser bastante reduzido. Em outros casos, ocorrer um grande aumento de salinidade imediatamente após o fechamento do

reservatório, devido à solubilização de rochas existentes.

O Lake Mead, por exemplo, que apresenta uma evaporação de 5% sobre a vazão média influente (perda de 0,86 a 1,1 bilhões de metros cúbicos por ano) apresentou, logo após o fechamento do reservatório, um grande aumento de salinidade causada principalmente pela dissolução de grandes quantidades de gipsita e cloreto de sódio existentes na área inundada⁽³⁾. Essa salinidade, entretanto, tende a diminuir como mostra a FIGURA n.º 8, apesar da taxa de evaporação relativamente elevada que ocorre nesse reservatório.

6. PRECIPITAÇÃO, CO-PRECIPITAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

Conforme mencionado no item anterior, a precipitação de sais inorgânicos pode influir sobre a concentração salina das águas dos reservatórios.

Dependendo do tamanho das partículas, três formas de dispersões podem estar presentes na água: soluções (moléculas ou ions com diâmetros de alguns angstroms); colóides

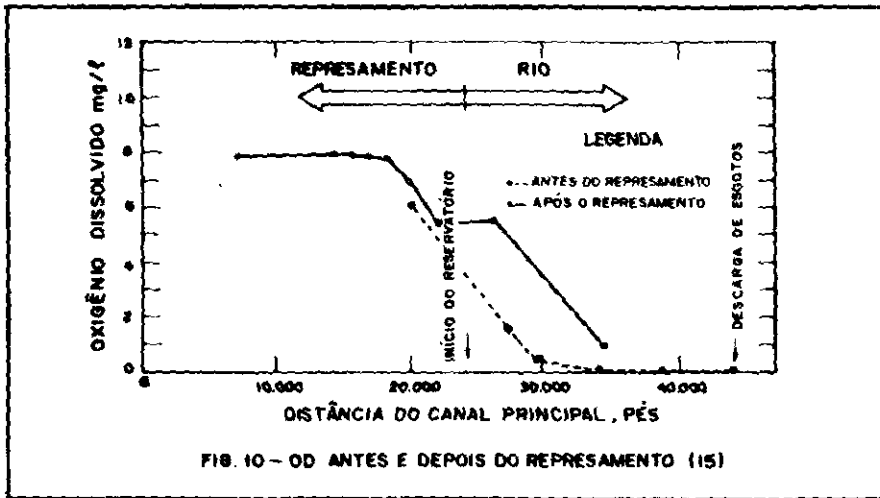


FIG. 10 - OD ANTES E DEPOIS DO REPRESAMENTO (15)

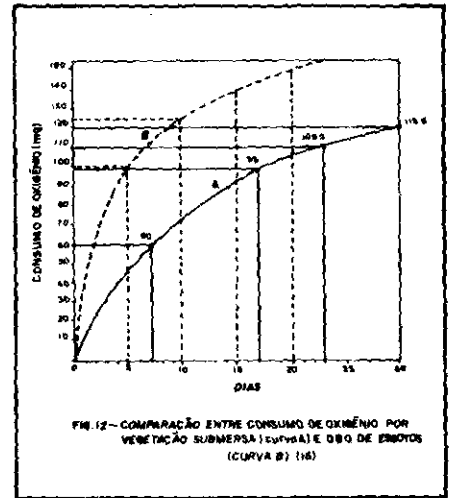


FIG. 12 - COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMO DE OXIGÊNIO POR VEGETAÇÃO SUBMERSA (CURVA A) E DE BIO DE ESGOTOS (CURVA B) (16)

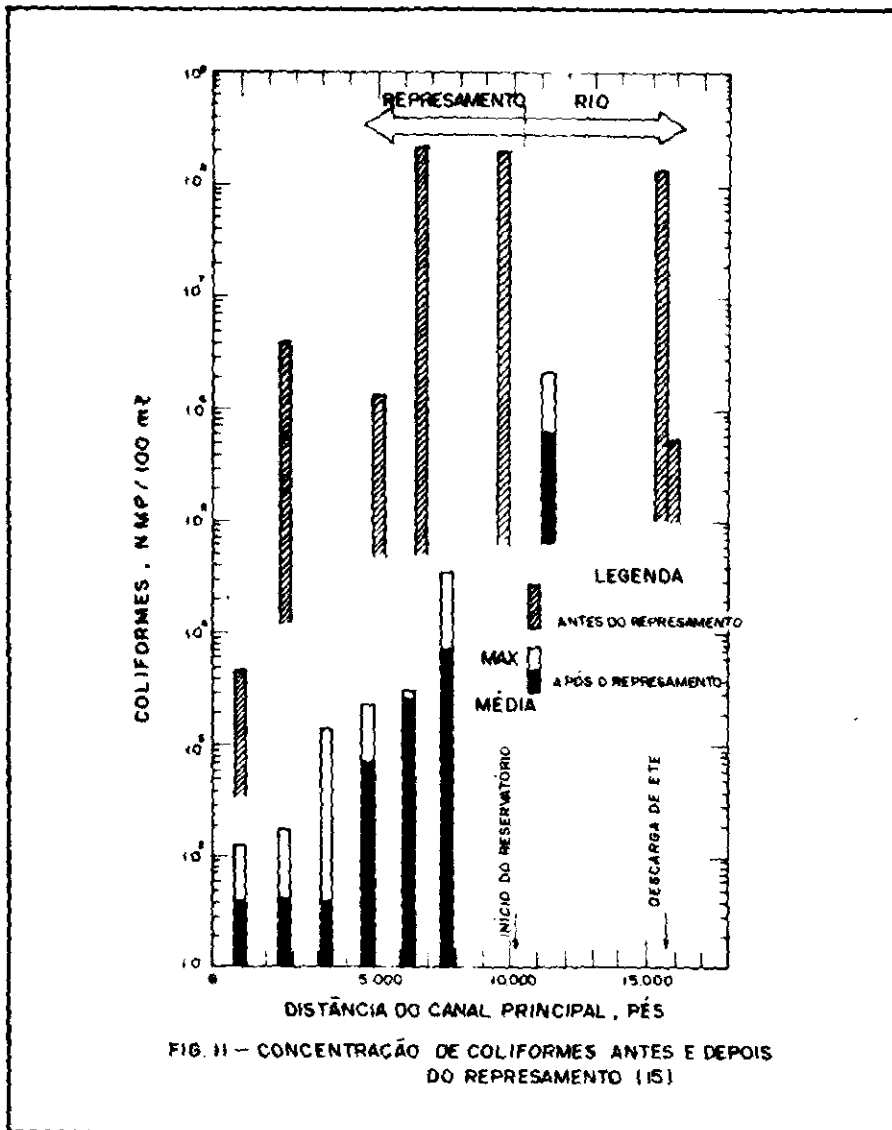


FIG. 11 - CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES ANTES E DEPOIS DO REPRESAMENTO (15)

(partículas da ordem de 10 a 2.000 angstroms) e suspensões (constituídas de partículas com diâmetros maiores que 2.000 angstroms).

A precipitação das soluções está condicionada às constantes de solubilidade. Quando a concentração de íons em solução ultrapassam o valor correspondente da constante de produto de solubilidade, pode ocorrer a formação de uma solução super saturada ou a precipitação.

Como uma solução super saturada é bastante instável, principalmente em um reservatório, é provável que ocorrerá a precipitação. Esse é, portanto, um dos fatores que contribuem para a redução da salinidade das águas represadas.

Associado à precipitação de um determinado íon pode ocorrer o carreamento de outros íons também pre-

sentes no meio aquático. Esse fenômeno que também contribui para a redução da salinidade no meio aquático é conhecido como co-precipitação.

Tem-se verificado, por exemplo, que a precipitação de hidróxido de ferro pode induzir a co-precipitação de íons de metais pesados. Nesse caso, as melhores condições para a co-precipitação são quando as partículas estão em estado coloidal e se dispõe de pH neutro ou levemente alcalino.

A precipitação das dispersões coloidais, por sua vez, é dependente da concentração e do pH que condiciona o potencial zeta das partículas. Uma pequena variação de pH pode reduzir o potencial zeta a ponto de desestabilizar a suspensão, de maneira que ocorra floculação pericínética e posterior sedimentação.

Por outro lado, a solubilização de material presente no fundo do reservatório poderá provocar um aumento de salinidade, ou ainda, aumento na concentração de gases dissolvidos, tais como CH_4 , H_2S , CO_2 , NH_3 .

7. FORMAÇÃO DE COMPLEXOS E QUELATOS

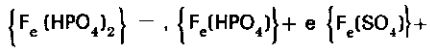
Os complexos se constituem em estruturas formadas por um íon ou átomo central circundado por átomos, íons ou moléculas, formando uma configuração estável (12).

Quelatos são tipos especiais de complexos onde parte dos constituintes são orgânicos e parte inorgânicos. Geralmente o átomo central é um metal que se vincula a segmentos orgânicos.

A importância dos complexos é que eles podem afetar a composição da água nos reservatórios, através de indução ou prevenção da precipitação.

Segundo Stumm e Morgan (13), os complexos mais importantes em re-

servatórios são os de fosfato e sulfato:



pois são responsáveis pelas concentrações elevadas de ácido húmico e derivados de lignina que estão sempre associadas a altas concentrações de ferro.

Ingois e Wilroy (14) vinculam a presença de manganês em reservatório sugerindo que a complexação orgânica de manganês trivalente impede que esse elemento seja precipitado, permitindo que sua concentração se mantenha elevada na fase líquida.

Outros aspectos importantes no equilíbrio químico das águas dos reservatórios são associados aos potenciais de oxidação e redução, principalmente no que se refere aos ciclos de ferro e enxofre. Entretanto, por ser este um assunto muito específico, não acreditamos que deva ser considerado em detalhes nesse trabalho de aspecto meramente informativo.

8. RESULTADOS GLOBAIS

De uma maneira geral, sob os aspectos de engenharia sanitária e de saúde pública, é aparente que a curto prazo o efeito da reservação é benéfico sobre a qualidade das águas reservadas.

As FIGURAS n.ºs 9, 10 e 11 mostram estudos efetuados no Lago Ranier, Estados Unidos e citados por Vanderhoof (15). As concentrações de DBO₅, OD e coliformes antes e depois do represamento atestam a melhoria da qualidade da água.

A longo prazo, entretanto, essa situação pode se alterar devido à restituição de nutrientes, metais pesados, sais inorgânicos da camada bentônica para o meio líquido, através de solubilização, quando as concentrações no fundo atingirem valores elevados.

Com relação ao nitrogênio, por exemplo, sabe-se que não é necessário um afluxo contínuo desse nutriente para manter uma alta produtividade primária. A própria reciclagem de nutrientes dentro da bacia de acumulação pode ser suficiente para manter concentrações elevadas de algas por muitos anos.

9. MEDIDAS A SEREM TOMADAS PARA MELHORAR A QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO

A escolha dos locais ideais para a implantação dos reservatórios de

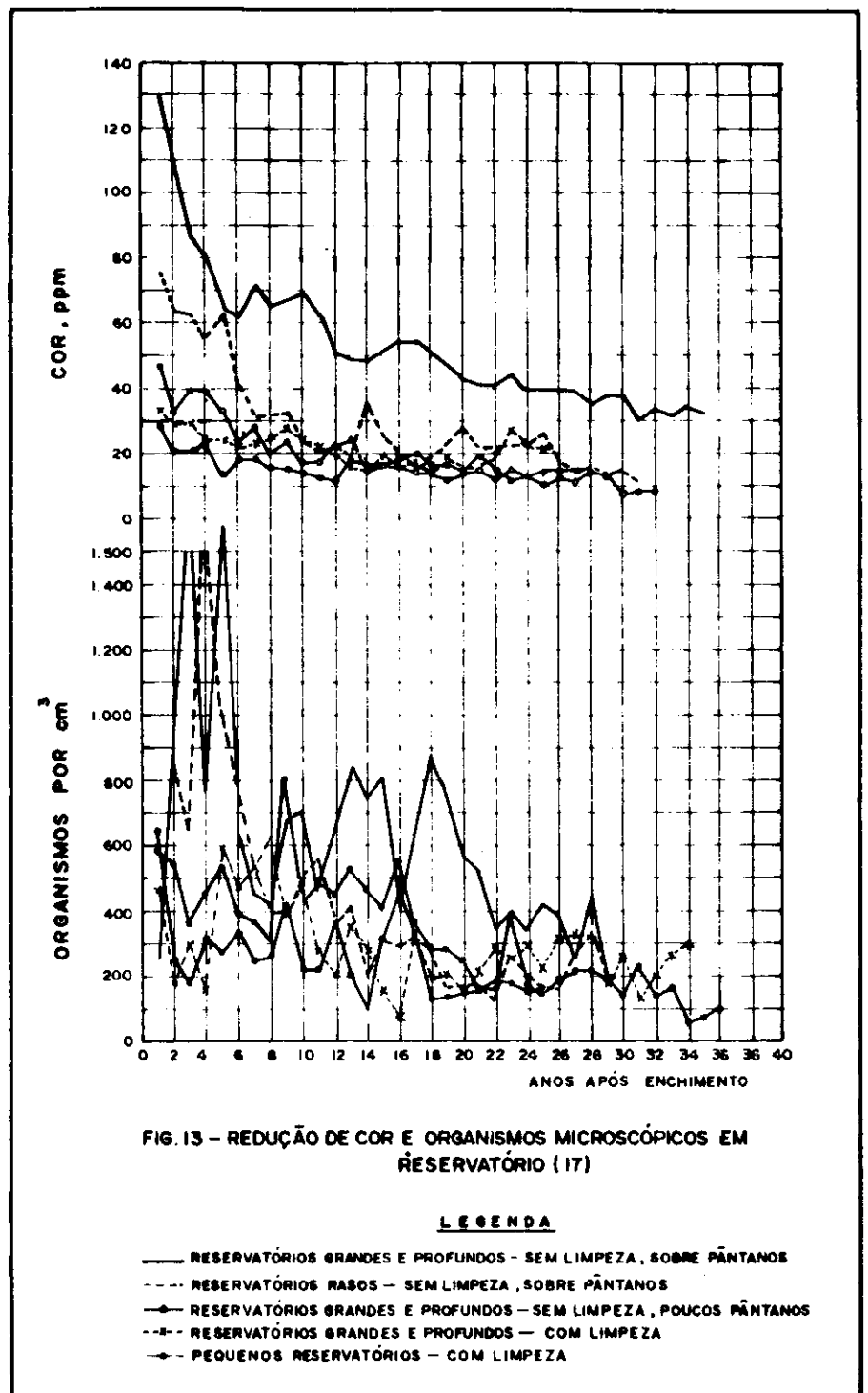


FIG. 13 - REDUÇÃO DE COR E ORGANISMOS MICROSCÓPICOS EM RESERVATÓRIO (17)

LEGENDA

- RESERVATÓRIOS GRANDES E PROFUNDOS - SEM LIMPEZA, SOBRE PÂNTANOS
- - - RESERVATÓRIOS RASOS - SEM LIMPEZA, SOBRE PÂNTANOS
- RESERVATÓRIOS GRANDES E PROFUNDOS - SEM LIMPEZA, POUCOS PÂNTANOS
- x - RESERVATÓRIOS GRANDES E PROFUNDOS - COM LIMPEZA
- △ PEQUENOS RESERVATÓRIOS - COM LIMPEZA

acumulação não é normalmente restrita àqueles pontos que permitam uma melhor qualidade da água a ser armazenada.

Outros fatores tais como, custo do empreendimento, situação geográfica, movimentos da terra, áreas de desapropriação etc..., certamente serão prioritários em relação a parâmetros de qualidade pré-especificados.

Entretanto, uma otimização dos vários objetivos pode ser alcançada se, determinadas medidas forem tomadas durante a fase de implantação e se cuidados específicos de operação e manutenção foram programa-

dos após o enchimento do reservatório.

9.1 Limpeza prévia dos reservatórios

Entre as medidas a serem consideradas antes do fechamento, uma das mais importantes é a que se refere à limpeza da bacia de acumulação.

Branco e Rocha (16) verificaram, experimentalmente, em laboratório a taxa de consumo de oxigênio de folhas recém-cortadas de gramínea. Os resultados, apresentados na FIGURA n.º 12, são característicos de uma demanda combinada (material carbonáceo e nitrificação).

A partir dessa determinação, estimaram que o consumo de oxigênio dissolvido, durante o primeiro mês após a inundação do reservatório, é de 120 kg por tonelada de relva e de 60 kg por tonelada de árvores e arbustos. Após essa demanda inicial, ocorrerá ainda uma demanda durante meses ou anos devido à celulose presente nos troncos e galhos, estimada em torno de 60 kg de O₂ por tonelada.

Os aguapés (*Eichhornia*) também deverão ser removidos porque após morrer e sedimentar consomem 17 kg de oxigênio por m² de espelho de água onde se desenvolvem⁽¹⁶⁾.

A presença de toda essa matéria orgânica pode gerar problemas de cor e proliferação excessiva de microrganismos que permanecerão no reservatório por grandes períodos.

A FIGURA n.º 13⁽¹⁷⁾ mostra a redução lenta de cor e microrganismos em reservatórios de várias características construídos em solos pantanosos, com ou sem limpeza da bacia de acumulação. Note-se as grandes concentrações de cor e microrganismos presentes, mesmo após mais de 30 anos do enchimento em reservatórios profundos sem nenhuma limpeza prévia.

A queima de todo o vegetal, embora seja benéfica do ponto de vista de remoção de matéria orgânica, não o é do ponto de vista de remoção de nutrientes, uma vez que as cinzas remanescentes mantêm concentrações de N e P suficientes para provocar taxas elevadas de crescimento do fitoplâncton a ponto de acelerar o processo de eutrofização.

Outras medidas prévias de importância para a preservação da qualidade da água reservada são as seguintes:

- drenagem da parte líquida das fossas e poços absorventes existentes na área inundável e cobertura do lodo de fundo com uma camada de cal e posterior fechamento com argila compacta. A cal, devido ao seu efeito germicida prolongado exterminará os ovos de helmintos existentes no lodo⁽¹⁸⁾;
- remoção da camada de solo fértil em áreas adubadas ou se não for possível, proceder à lavagem repetida dessas áreas com água levemente ácida para eliminar o máximo possível de nutrientes. Os depósitos de lixo, currais, pocilgas e aviários deverão também ter a camada de solo fértil convenientemente removidas⁽¹⁹⁾;
- remoção, se possível, de rochas alteradas que possam ser facilmente

solubilizadas, alterando a qualidade das águas.

Benedetti e Roller⁽¹⁸⁾ citam os problemas envolvidos com a limpeza prévia do reservatório de acumulação construído na parte alta do Green River, em Washington. Um dos problemas mais sérios foi a remoção de uma formação de rochas alteradas de onde H₂S vinha sendo lixiviado por um pequeno córrego, tributário do Green River, e que poderia causar alterações na qualidade da água.

9.2 Operação e manutenção

Do ponto de vista de manutenção da qualidade da água as medidas mais importantes são as seguintes:

- manutenção de uma profundidade mínima de um metro ao longo das margens para que não se desenvolva vegetação emergente que, morrendo, contribui para acelerar o processo de eutrofização e para o aumento da concentração de matéria orgânica;
- remoção de algas por processos físicos (redes ou micro-peneiras) e por processos químicos quando houver tendência à eutrofização. Nos processos químicos a aplicação de algicidas deve ser mantida sobre controle para não influir sobre a vida aquática superior e sobre a qualidade da água;
- circulação vertical induzida para eliminar a estratificação.

A recirculação de aproximadamente 1/5 do volume do lago em 10 dias trouxeram os seguintes benefícios: abaixamento do nível superior da termoclina de 4 para 7,6 metros abaixo da superfície do lago, aumentando a altura do "epilimnion"; no início do bombeamento a concentração de oxigênio dissolvido era de 8,0 mg/l da superfície até a profundidade de 8,2 metros. Da profundidade de 10,4 m até o fundo, num total de 12,50 m a concentração de oxigênio dissolvido era zero. Após o bombeamento, 8,0 mg/l de OD era encontrado até a profundidade de 10,7 metros, mantendo-se maior do que 2,0 mg/ até próximo do fundo do lago.

Teoricamente a energia necessária para a circulação vertical em reservatórios, de maneira a evitar a estratificação é relativamente pequena, ou seja, de 2,5 a 60 kwh por hectare de área superficial e por ano.

10. REFERÊNCIAS

1. Oliveira Filho, C.C. — Política de Proteção das Grandes Represas Brasileiras, Eletrobrás, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. — Diretoria de Coordenação — Rio de Janeiro, Outubro 1976.

2. Gorhan E. — Observations on the formation and Breakdown of the oxidized microzone at the mud surfaces in Lakes. *Limnology & Oceanography* 3 (3) páginas 291 a 2980, 1958.

3. Love, S.K. — Relationship of Impoundment to Water Quality *Journal of the AWWA* (53) pág. 55 9a 569, Maio 1961.

4. Love, S.K. Slack, K.V. — Controls on Solution and Precipitation in Reservoirs em Symposium on Streamflow Regulation fo Quality Control, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service — Publicação n.º 999-WP-30, June 1965.

5. Kittrell, F.W. — Thermal Stratification in Reservoirs em Symposium on Streamflow Regulation for Quality Control, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service — Publicação n.º 999-WP-30, June 1965.

6. Kittrell, F.W. — Stream Pollution — Effects of Impoundments on Dissolved Oxygen Resources *Journal WPCF* (31):9 — pag. 1065 a 1078, September 1959.

7. Gordon, J.A., Skelton, B.A. — Reservoir Metalimnion Oxygen Demands, *Journal ASCE — Env. Engineering Division* (103) n.º EE6, pag. 1001 a 1011, December 1977.

8. Oswald, W.J., Gotaas H.B. — Discussion Photosynthesis in the algae, *Ind. Eng. Chem.* (48) pág. 1457 e 1458, 1956.

9. Mackenthum, K.M. — The effect of Nutrients on Photosynthetic Oxygen Production in Lakes and Reservoirs, em Symposium on Streamflow Regulation for Quality Control, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Publicação n.º 999-WP-30, June 1965.

10. Hull, C.J. — Photosynthesis as a factor in the Oxygen Balance in Reservoirs, em Symposium on Streamflow Regulation for Quality Control, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Publicação n.º 999-WP-30, June 1965.

11. Kawai, H. — Eutrofização dos Cursos de Água, Capítulo 10, de Poluição das Águas, Curso por Correspondência, CETESB, novembro 1974.

12. Bard, A.J. — Chemical Equilibrium, Harper & Row Publishers, 1966.

13. Stumm, W. J.J. — Aquatic Chemistry Wiley Interscience, 1970.

14. Ingols, R.S.; Wilroy, R.D. — Observations on Manganese in Georgia Waters *Journal of the AWWA* (54) pag. 203 a 207, Fevereiro 1962.

15. Vanderhoof, R.A. — Changes in Waste Assimilation Capacity Resulting from Streamflow Regulation em Symposium on Streamflow Regulation for Quality Control, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Publicação n.º 999-WP-30, June 1965.

16. Branco, S.M., Rocha, A.A. — Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas, CETESB, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1977.

17. Whipple, G.C. — The Microscopy of Drinking Water, John Wiley & Son, Inc., New York, 1933.

18. Benedetti, A.J., Roller, J.A. — Preparation of an Impoundment area in Washington. *Journal AWWA* (54) pag. 197 a 202, Feb. 1962.

19. Kittrell, F.W. — Effects of Impoundment on Dissolved Oxygen Resources — *Journal WPCF* (31) pag. 1065 a 1078, September 1959.