

# Estudo sobre as Relações entre Despejos Domésticos e Industriais da Região da Grande São Paulo e a Eutrofização do Reservatório Billings

HIDEO KAWAI

Setor de Estudos e Pesquisas do Centro Tecnológico de Saneamento Básico de São Paulo (CETESB)

SAMUEL MURGEL BRANCO

Professor de Hidrobiologia da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da U. S. P.

## INTRODUÇÃO

### a) Generalidades — Objetivos.

À semelhança do que ocorre nas grandes cidades de outras nações, os problemas relativos à disposição dos esgotos e ao fornecimento de água à capital de São Paulo e municípios satélites assumem graves proporções exigindo soluções urgentes e adequadas. O município de São Paulo conta, atualmente com uma população de 5,6 milhões de habitantes, dos quais somente cerca de 2 milhões dispõem de rede de esgotos. Os despejos correspondentes a essa parcela da população são lançados a um sistema fluvial constituído principalmente pelos rios Tamanduateí, Tietê, e Pinheiros, e através desse sistema, conduzidos ao reservatório Billings, onde sofrem estabilização, tornando-se praticamente inócuos, salvo nas quadras de secas muito prolongadas.

É óbvio que as águas desse sistema fluvial, as quais se acham, já severamente poluídas, terão seu índice de poluição aumentado com a expansão da rede de esgotos e com o desenvolvimento industrial e populacional futuros. O volume estimado de despejos a serem descarregados na Billings, no ano 2.000, será aproximadamente, 7,5 vezes maior que o atual, supondo-se que, pelo menos 15 milhões de habitantes disporão, então, de rede de esgoto. A

realização de tratamento completo de todo esse volume de despejos importaria em investimentos da ordem de 300 a 400 milhões de cruzeiros novos, havendo, porém, uma outra alternativa que seria baseada no aproveitamento efetivo do grande potencial de autodepuração representado pela represa Billings, o que, evidentemente, proporcionaria sensível diminuição nas despesas previstas.

Por outro lado, a situação atual do fornecimento de água potável ao município é precária, dispendo-se apenas de 50% do volume necessário, que seria de 21,7 m<sup>3</sup>/s. Até o ano 2.000 essa demanda será elevada a cerca de 50 m<sup>3</sup>/s, e está sendo estudada a possibilidade da utilização de novos cursos (além do sistema Juqueri, já em construção) provenientes dos rios Tapanhaú e do Alto Tietê, embora essa solução não seja total, pois esses rios possuem pequena capacidade de descarga, face ao aumento previsto da população e das atividades industriais na região. Assim sendo, voltam-se as vistas, mais uma vez, à represa Billings, reservatório receptor de 70 m<sup>3</sup>/s, como futura fonte de abastecimento de água, desde que obtida satisfatória estabilização dos resíduos que a poluem ou, ainda, mediante isolamento de alguns de seus ramos mais protegidos.

Os objetivos do presente trabalho se prendem, pois, à avaliação do potencial estabilizador da represa Billings, tendo em vista a eventualidade de

sua dupla utilização: como depuradora dos esgotos e como fonte de água potável. Como se sabe, os elementos purificadores das águas poluídas por compostos orgânicos são: as bactérias e outros microrganismos heterotróficos que decompõem a matéria orgânica e as algas que absorvem o excesso de sais minerais e eliminam oxigênio no meio, através do processo de fotossíntese. Entretanto, a abundante proliferação de algas, além de interferir no tratamento da água, pode se constituir em fator poluidor secundário.

Em todo processo aeróbio de estabilização de esgotos, o principal fator a ser levado em consideração é a disponibilidade de oxigênio para a respiração das bactérias e outros microrganismos responsáveis diretamente por essa estabilização. Em águas sujeitas aos fenômenos de turbulência, provocada por ventos ou pela velocidade das águas em rios de grande declividade, o oxigênio necessário é fornecido pelo próprio ar atmosférico. Fala-se, então, em *aeração* e esse princípio é empregado em alguns sistemas artificiais de tratamento, como os lodos ativados, por exemplo. Em águas tranquilas, porém, a fotossíntese chega a ter um valor muito superior, como fonte de oxigênio, que a aeração e esse princípio tem, também, sua utilização prática, nas chamadas *lagoas de fotossíntese*, que seriam um tipo particular de lagoa de estabilização.

A atividade fotossintética depende, principalmente, da existência de algas — especialmente as formas microscópicas que constituem o plâncton — e a proliferação de algas depende de vários fatores físicos e químicos, como luz e nutrientes minerais. Por outro lado, esse crescimento pode ser limitado pela presença de substâncias tóxicas, inibidoras ou que constituam, de alguma forma, uma barreira física à penetração da luz. O incremento dos fatores favoráveis ao desenvolvimento de algas e à fotossíntese ou a remoção dos fatores que limitam essas atividades poderão, pois, levar a uma elevação do potencial estabilizador da represa Billings. A composição físico-química das águas dessa represa, depende intimamente da composição das águas que circulam através do canal do rio Pinheiros, como será visto a seguir. Assim sendo, são os fatores químicos e físicos das águas procedentes deste canal, os responsáveis pelo incremento ou limitação da fotossíntese e, por conseguinte, da capacidade estabilizadora do reservatório Billings.

As águas naturais, em São Paulo, assim como na maior parte das regiões estudadas, são geralmente pobres em alguns nutrientes de algas, especialmente compostos de nitrogênio e fósforo e, às vezes, potássio ou algum elemento necessário ao desenvolvimento de certos grupos em particular, como é o caso do silício em relação às diatomáceas. Assim sendo, raramente as águas que não sofrem as

interferências originadas da atividade humana, chegam a conter grandes populações de algas ou de organismos que, direta ou indiretamente, dependem desses microrganismos como fonte básica de alimentos. Águas que se caracterizam por um elevado nível trófico recebem a denominação geral de *eutróficas*, em oposição às *oligotróficas*, que são as de pequena produtividade. Por influência da poluição, como fonte de elementos químicos limitantes, uma água oligotrófica pode passar à condição de eutrófica, sendo o processo denominado *eutrofização induzida* ou, simplesmente, *eutrofização*. A eutrofização é, pois, uma consequência direta da poluição — especialmente a originada por esgotos domésticos — que eleva o nível trófico do sistema. Por outro lado, entretanto, a própria proliferação de organismos fotossintetizantes, conseqüente à eutrofização, constitui elemento importante da estabilização da matéria orgânica do esgoto.

Os trabalhos clássicos sobre eutrofização de lagos, como consequência de lançamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos, foram realizados na cadeia de grandes lagos do estado de Wisconsin, E. U. A., por Sawyer e Lackey (1945) que evidenciaram o papel importante desempenhado, neste processo, pelo nitrogênio e fósforo como fatores químicos limitantes. Esses mesmos lagos foram, ainda, estudados posteriormente por Rohlich e Sarles, (1949) e por Fitzgerald (1960) os quais contribuíram muito para um conhecimento mais amplo do problema. Desde os trabalhos de Sawyer e Lackey, várias outras pesquisas têm sido levadas a efeito em lagos e rios dos Estados Unidos e de outros países, tendo sido publicado revisões da bibliografia a respeito, por Mackenthun (1965) e por Oswald e Golueke (1965). Em 1960 a Division of Water Supply and Pollution Control e a Robert A. Taft Sanitary Engineering Center patrocinaram a realização de um "simposium", com a denominação de "Algae and Metropolitan Wastes" onde foram apresentados e debatidos, inúmeros trabalhos a respeito, cujos anais foram posteriormente publicados pelo U. S. Department of Health, Education and Welfare (1961). No Brasil, o assunto tem sido abordado e pesquisado por Branco (1958), (1959), (1960), (1961), (1962), (1966) e por Azevedo e Kawai e Vaz (1967). Técnicas para medida direta de eutrofização e dos fatores intervenientes são apresentados por Oswald e Golueke (1965) e por Williams, Kopp e Tarzwell (1966).

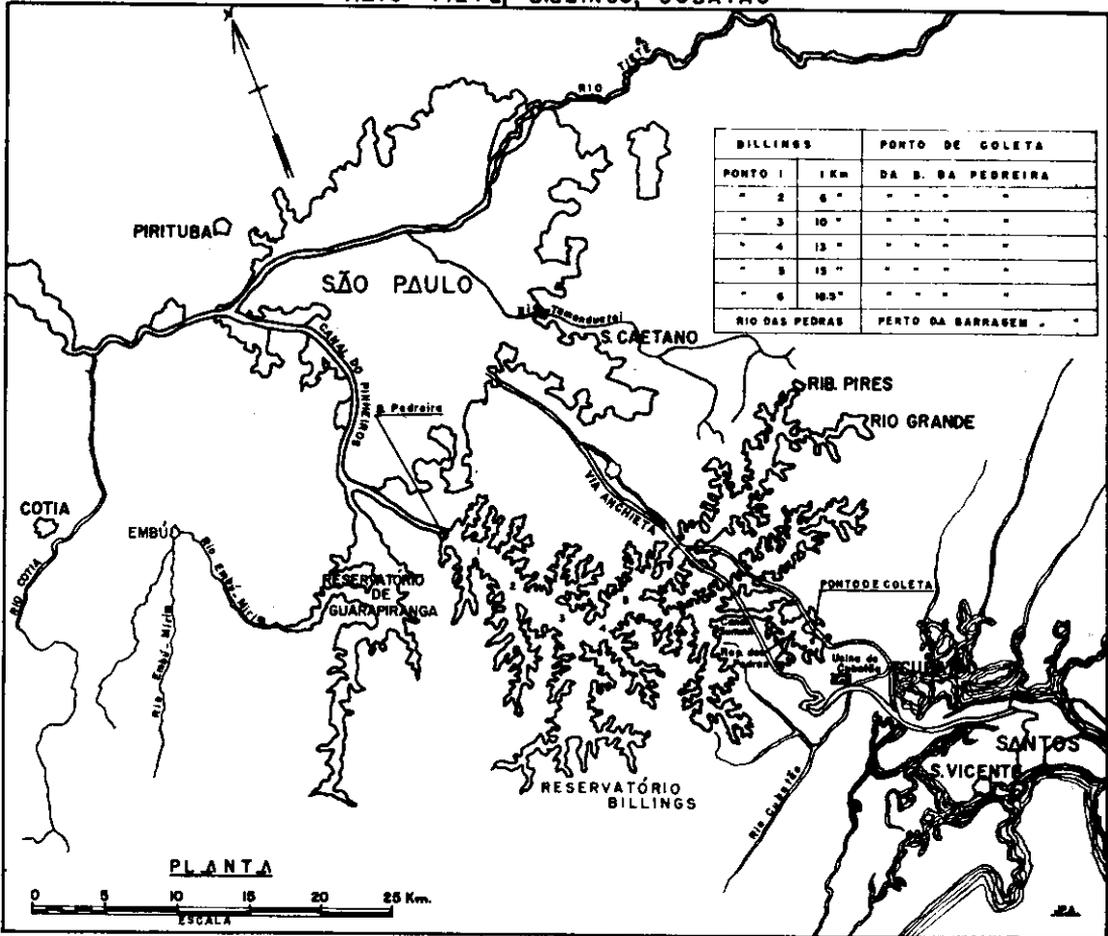
#### b) **Descrição do sistema Tietê — Pinheiros — reservatório Billings:**

Com a finalidade de obtenção de um potencial hidroelétrico para fornecimento de energia à "Grande São Paulo" foi idealizado e construído em várias

etapas, um complexo sistema hidrológico, constituído pelos rios Tietê e Pinheiros e represas Billings e Rio das Pedras. A represa Billings situada a uma altitude de 746,5 m, é formada pelo represamento dos rios que constituem a bacia do rio Pinheiros, comunicando-se, através deste mesmo rio, com o rio Tietê, do qual o Pinheiros era, originariamente, tributário. Atualmente, porém o Tietê encontra-se represado a jusante dessa confluência, em Santana do Parnaíba, sendo suas águas recalçadas através

do canal do antigo Pinheiros, para o interior da represa Billings. Esta, por sua outra extremidade, se comunica com a pequena represa do Rio das Pedras, a qual estando situada a uma cota mais baixa, na crista da Serra do Mar, funciona como reservatório regularizador para fornecimento constante de água à Usina Hidroelétrica de Cubatão, quase ao nível do mar. As relações entre esses vários corpos de água podem ser bem apreciadas através do esquema Fig .1.

CONJUNTO HIDROGRÁFICO  
ALTO TIETÊ, BILLINGS, CUBATÃO



A bacia represada, do rio Pinheiros fornece, em média, cerca de 15 m<sup>3</sup>/s, de água. A bacia do Rio das Pedras fornece uma parcela também muito pequena. O consumo de água para produção de energia hidroelétrica é de quase 100m<sup>3</sup>/s. A contribuição do sistema Tietê-Pinheiros é pois, da ordem de 80 m<sup>3</sup>/s, ou seja, 4 vezes superior à dos rios que formam as bacias do Pinheiros e Rio das Pedras. Este fato, permite concluir que as propriedades químicas e biológicas das águas das duas

represas dependem, estritamente, da composição das águas que passam pelo canal do Pinheiros. Estas águas são fortemente eutróficas em decorrência das elevadas concentrações de resíduos orgânicos e minerais oriundas das descargas de esgotos da cidade de São Paulo e cidades satélites, lançadas ao rio Tietê e diretamente ao canal do Pinheiros.

Os volumes de esgotos de origem doméstica, lançados ao sistema, correspondem, atualmente, a

uma população de 2.200.000 habitantes (população servida por rede de esgotos, na área da grande São Paulo), o que dá uma vazão média de 6,8 m<sup>3</sup>/s, ou uma carga orgânica de aproximadamente 170 toneladas por dia de Demanda Bioquímica de Oxigênio. A esta carga, somam-se 120 toneladas por dia, provenientes de despejos industriais (2,3 m<sup>3</sup>/s). Toda essa carga orgânica sofre uma estabilização parcial ao longo do próprio sistema Tietê-Pinheiros, estabilização esta que é completada na própria represa Billings, dando origem a concentrações relativamente altas de nutrientes minerais.

Análises físico-químicas realizadas no canal de Pinheiros, em 1963-64 por Costa Rodrigues (1964) e em 1966-67 pelo convênio HIBRACE (1968), revelaram a presença de fosfatos (PO<sub>4</sub>) em concentrações variáveis entre traços e 1,5 mg/l (média de 0,24 mg/l). A concentração média de nitrogênio solúvel é de 4,9 mg/l; na forma de nitratos a proporção é relativamente baixa (inferior a 0,5 mg/l), mas sob forma albuminoide é da ordem de 2,7 mg/l e amoniacal 2,75 mg/l, fazendo supor que a estabilização dos compostos orgânicos nitrogenados é apenas parcial, devendo completar-se na represa Billings. A ausência quase permanente de nitrogênio nitroso, no canal do Pinheiros, confirma esse fato. As concentrações de matéria orgânica total, presumidas através da Demanda Bioquímica de Oxigênio são da ordem de 15 a 56,5 mg/l (geralmente superiores a 30 mg/l) e a condutividade específica é geralmente superior a 150 microohms (até 270 microohms). O oxigênio dissolvido é permanentemente ausente. Análises espectrográficas revelam, como elementos de preponderância, no canal do Pinheiros: Si, Al, Ca e Mg; elementos em pequenas proporções: Fe, Na, Mn, Ti e presentes na ordem de traços: Cu, e K. Óleos e graxas encontram-se presentes na proporção de 7,0 a 23,0 mg/l.

Dêses dados, devem-se ressaltar, como mais importantes, do ponto de vista da produtividade na represa Billings: altas concentrações de nitrogênio e fósforo, como fatores positivos na proliferação de algas e outros seres fotossintetizantes e os óleos e graxas como fatores negativos, limitando essa proliferação. Além dêse, a presença de gás sulfídrico constitui importante fator inibidor da atividade fotossintética. A sua presença no Pinheiros, se faz sentir através do odor característico. Análises realizadas na represa Billings, junto à barragem de Pedreira (local onde são recalçadas as águas do Pinheiros para a represa) revelam concentrações da ordem de 5 mg/l de H<sub>2</sub>S. A formação dêse composto se deve principalmente à atividade de bactérias sulfato redutoras, que transformam sulfatos em enxofre e H<sub>2</sub>S. Essas reações não se produzem a não ser quando o potencial redox do meio é inferior a 0,10 volt, ou seja, quando a água é muito pobre em oxigênio, pois se trata de um processo de res-

piração anaeróbia, utilizando os sulfatos como aceptores de hidrogênio. Além disso, pode haver produção de H<sub>2</sub>S por outros tipos de bactérias, diretamente a partir de compostos orgânicos proteicos ou aminoácidos que contêm enxofre, tais como a cistina, cisteína e metionina, através de reações que também somente podem ser realizadas em ambiente anaeróbio.

#### Material e métodos

A técnica empregada baseou-se, em linhas gerais, na coleta de amostras de água da represa Billings e outros corpos d'água do mesmo sistema, e a sua manutenção, em laboratório, em condições adequadas de iluminação e temperatura, a fim de observar os efeitos benéficos ou nocivos de vários elementos à proliferação das algas presentes. Além disso, várias determinações físicas e químicas foram realizadas em vários pontos da represa, com a finalidade de reconhecer as condições ecológicas em que atualmente se desenvolvem essas algas, bem como determinações da concentração de clorofila objetivando o conhecimento da produtividade atual em função dessas mesmas condições ecológicas.

Nitrogênio e Fósforo — Análises preliminares do teor de nitrogênio na represa Billings revelaram que, nas proximidades da barragem de Pedreira (onde se dá a entrada das águas poluídas do canal do Pinheiro) este elemento é encontrado predominantemente na forma amoniacal, enquanto que à medida que se distancia dêste ponto, o NH<sub>4</sub> vai sofrendo gradativa oxidação, aumentando a concentração de nitratos. Admitindo-se a existência de variações com respeito à preferência de várias espécies de algas com relação à natureza química da fonte de nitrogênio, estudou-se a reação das algas existentes na Billings face à variação da concentração de NH<sub>4</sub> e de NO<sub>3</sub>. Essas experiências foram realizadas em prazos de vinte dias, com luz solar indireta como fonte de energia, a uma temperatura média de 19°C e utilizando como meio de cultura água filtrada, procedente do Rio Pequeno, que constitui um dos "braços" da represa. A composição química dessa água, com relação ao nitrogênio e ao fósforo, era a seguinte: (tabela 1):

Tabela 1

Nitrogênio e fósforo na forma de:	concentração
NH <sub>4</sub> .....	0,12 mg/l
NO <sub>3</sub> .....	0,32 mg/l
PO <sub>4</sub> .....	0,00 mg/l

Essa experiência foi realizada em dois grupos, ou seja, 2 frascos para cada concentração de nitrogênio e fósforo. Aos frascos do primeiro grupo, adicionou-se solução padrão de amônia e fosfato, em

concentrações crescentes; nos do segundo grupo procedeu-se de maneira idêntica, porém utilizando nitrato como fonte de nitrogênio, em concentrações equivalentes às do primeiro. A cada frasco foram adicionadas algas em quantidade correspondente a 0,008 mg/l de clorofila. Os resultados dessa experiência foram avaliados, após 20 dias de incubação, através da medida de nitrogênio amoniacal, nítrico, e fosfatos para conhecimento do consumo desses elementos. O desenvolvimento de algas foi medido através da elevação da concentração de clorofila e do peso seco dos microrganismos.

As técnicas empregadas nessas medidas foram, respectivamente: para avaliação da concentração de nitrogênio amoniacal, o método de Nessler; para  $\text{NO}_3$ , método de Difenilamina; para  $\text{PO}_4$ , método Denigès-Atkins; para clorofila o método descrito por Saijo (1958), que consiste na extração com acetona a 90% e avaliação quantitativa espectrofotométrica. As algas encontradas na Billings apresentam uma proporção de 1,8 por cento de clorofila em relação ao seu peso seco unitário, sendo *Microcystis aeruginosa*, a espécie predominante.

Gás sulfídrico — Medidas da concentração de  $\text{H}_2\text{S}$  foram realizadas em vários pontos distribuídos por toda a Billings. Os pontos escolhidos foram os mesmos utilizados em trabalhos anteriores (Branco, 1966), numerados de 1 a 5 em ordem crescente, a partir da Barragem de Pedreira. A avaliação dos efeitos tóxicos e inibidores do  $\text{H}_2\text{S}$  sobre as algas foi realizada, através da seguinte experiência: a dois frascos com amostras de água da represa, contendo  $\text{H}_2\text{S}$  em concentração de 5,6 mg/l foi adicionada certa quantidade de algas. Em um dos frascos procedeu-se à eliminação do gás sulfídrico, por aeração, enquanto que no outro frasco essa eliminação não foi praticada. Após 24 horas procedeu-se à análise microscópica das amostras a fim de

verificar a presença de algas. As medidas de concentração da  $\text{H}_2\text{S}$  foram realizadas pelo método do carbonato de cádmio.

Película gordurosa — A película de gordura formada na superfície das águas da represa, devida à presença de óleos e graxas contidos nos esgotos e nas águas do rio Pinheiros, pode provocar a inibição do crescimento de algas por limitar a refração da luz solar e impedir a dissolução de oxigênio. Por outro lado, foi verificado que essa película tende a desaparecer à medida que nos distanciamos, na represa, do ponto de entrada das águas poluídas, sendo admissível que a sua remoção seja devida à ação bacteriana. Baseados nessas duas hipóteses, procedemos às seguintes experiências: foram preparados 3 séries de frascos, com os seguintes componentes: nos primeiros, água destilada; na segunda série, água da represa Billings e nos frascos da terceira série, água da represa Billings mais água de um tanque de aeração de esgotos, contendo grande número de bactérias. Nos dois últimos foi provocada aeração permanente. A cada uma das três séries, foi adicionada certa quantidade de gordura, retirada da película que cobre a superfície das águas da represa. Os resultados dessa experiência foram obtidos, após 20 dias, mediante análise do teor de gordura existente nas três séries, pelo método de extração Soxhlet por n-hexano.

Índices de transparência da água, na represa, foram determinados com auxílio de discos de Secchi.

#### Resultados:

##### 1. Quantidade de fitoplâncton na Represa.

Medidas de concentração de clorofila e de peso seco de algas, em relação à penetração de luz nos vários pontos da represa Billings, revelaram os seguintes valores (tabela 2):

TABELA 2  
Quantidade de algas e profundidade da transparência

Ponto de coleta	Billings						Rio das Pedras
	1	2	3	4	5	6	
<b>Agosto</b>							
clorofila mg/l	0,0	0,0	0,014	0,026	0,03	0,04	—
algas mg/l	0,0	0,0	0,80	0,15	1,66	2,20	—
transparência em cm	—	—	125,0	125,0	120,0	115,0	—
<b>Setembro</b>							
clorofila mg/l	0,0	0,085	0,135	0,141	0,140	0,150	0,076
algas mg/l	0,0	6,00	7,50	7,90	8,00	8,40	4,20
transparência em cm	—	105,0	85,0	90,0	90,0	80,0	—
<b>Outubro</b>							
clorofila mg/l	—	—	0,113	0,102	—	—	—
algas mg/l	—	—	6,3	5,9	—	—	—
transparência em cm	—	—	95,0	95,0	—	—	—

A análise desses dados demonstra que a concentração de algas aumenta à medida que os pontos de coleta se afastam do local por onde penetram as águas poluídas, bombeadas do canal do Pinheiros para a represa Billings. Nas proximidades do ponto 3 (rio Taquacetuba), a concentração de clorofila atinge o valor de 0,15 mg/l, equivalente a 6 mg/l de algas, em peso seco, se admitirmos que essas algas possuem a mesma quantidade de clorofila que as do gênero *Chlorella*, ou seja, 0,025 mg/mg.

Além disso o quadro acima demonstra que, no mês de agosto, a reprodução de algas foi bastante inibida, devido ao alto grau de poluição, e baixa temperatura. Em setembro, porém, constatou-se certa quantidade de algas no ponto 2, no-

tando-se que foi aumentando à medida que se afastava da barragem de Pedreira.

Supondo que a camada de produção tenha uma profundidade média de 1 metro, em cada ponto de coleta pode-se calcular que a produção de algas, expressa em clorofila, foi também de cerca de 0,15 g/m<sup>2</sup> produção essa considerada como cerca de 50% da máxima produção, em condições naturais, segundo NIELSEN (1962).

## 2. Efeitos do Nitrogênio e do Fósforo sobre a proliferação de algas.

Na tabela 3 estão resumidos os dados obtidos com a adição de N e P às amostras de água da represa Billings.

TABELA 3

Consumo de N e P e produção de fitoplâncton (clorofila) (concentração em mg/l)

### Grupo I

Frascos:	A	B	C	D	E	F
N, na forma de NH <sub>3</sub> adicionado .....	1,0	5,0	15,0	30,0	45,0	60,0
Após 20 dias .....	0,35	1,25	5,0	20,0	36,0	51,0
P, na forma de PO <sub>4</sub> adicionado .....	0,1	0,2	0,6	1,2	1,8	2,4
Após 20 dias .....	0,0	0,005	0,2	0,3	0,7	1,0
N, na forma de NO <sub>3</sub> existente no meio .....	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Após 20 dias .....	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80
Clorofila adicionada ....	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Após 20 dias .....	0,10	0,39	0,22	0,21	0,21	0,19

### Grupo II

N, na forma de NO <sub>3</sub> adicionado .....	1,0	5,0	15,0	30,0	45,0	60,0
Após 20 dias .....	0,5	1,5	6,0	14,0	28,0	36,0
N, na forma de NH <sub>3</sub> adicionado .....	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Após 20 dias .....	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
P, na forma de PO <sub>4</sub> adicionado .....	0,1	0,2	0,6	1,2	1,8	2,4
Após 20 dias .....	0,0	0,0	0,0	0,045	0,175	0,225
Clorofila adicionada ....	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Após 20 dias .....	0,12	0,70	0,71	0,75	0,60	0,55

De acordo com esses dados, o índice de crescimento de algas, no grupo em que se utilizou amônia como fonte de nitrogênio, apresentou-se mais elevado na concentração de 5 mg/l, reduzindo-se em seguida, quando se elevava ainda mais essa concentração. No grupo em que se empregou nitrato, o índice de reprodução das algas foi, entretanto, muito maior que o observado com relação à amônia, com exceção da concentração de 1 mg/l. Supõe-se que esse menor crescimento no grupo que utilizou amônia seja devido ao acúmulo de  $NH_4$  livre, em concentrações excessivas, nas células de algas.

Quanto à proporção relativa de absorção de N e P, no grupo em que se utilizou nitrato, esta foi de 5:1 e 15:1, aumentando de acordo com a concentração de nitrogênio. No grupo que recebeu

$NH_4$ , a relação foi de 6,5:1 e 25:1, tendo sido maior nas concentrações de 5-30 mg/l. A razão de apresentar-se maior proporção no grupo da amônia deve ser atribuída ao fato de não ter esta proporcionado um desenvolvimento favorável às algas, ao contrário do que ocorreu com o grupo que recebeu nitrato, resultando disso uma menor utilização do fósforo.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelas algas, no grupo que recebeu amônia, apresentou-se estável em concentrações superiores a 15 mg/l. Tal absorção aumentou no grupo que recebeu nitrato, o mesmo acontecendo com o fósforo.

As relações entre as quantidades de N e P utilizadas e o peso seco produzido de algas, calculado através da concentração da clorofila, figuram na tabela 4.

**TABELA 4**  
Relação entre a utilização de N e P e a produção de peso seco de algas.  
(concentrações em mg/l)

Frascos:	A	B	C	D	E	F
<b>Grupo <math>NH_4</math></b>						
N, na forma de $NH_4$ ..	0,65	3,75	10,0	10,0	9,0	9,0
P, na forma de $PO_4$ ..	0,10	0,20	0,4	0,9	0,9	1,4
Peso seco das algas reproduzidas .....	5,6	21,7	12,2	11,7	11,7	10,6
Quantidade de N e P contidas teoricamente nas algas reproduzidas ....	0,45 N 0,045 P	1,74 N 0,174 P	0,98 N 0,098 P	0,936 N 0,094 P	0,936 N 0,094 P	0,85 N 0,085 P
<b>Grupo <math>NO_3</math></b>						
N, na forma de $NO_3$ ....	0,5	1,5	9,0	16,0	17,0	24,0
P, na forma de $PO_4$ ....	0,1	1,2	0,6	1,1	1,6	2,1
Peso seco das algas reproduzidas .....	6,6	39,0	39,0	41,6	33,3	30,0
Quantidade de N e P contida teoricamente nas algas .....	0,53 N 0,053 P	3,12 N 0,312 P	3,12 N 0,312 P	3,33 N 0,34 P	2,67 N 0,267 P	2,4 N 0,24 P

Admitindo que as proporções médias de nitrogênio e fósforo, no peso seco do fitoplâncton são, respectivamente de 8,0 e 0,8%, comprovou-se uma absorção excessiva no grupo de amônia, em todos os frascos, com exceção de A. O mesmo ocorreu no grupo do nitrato, exceto em A e B, havendo proporção mais acentuada no grupo que recebeu amônia que no de nitrato. Conclui-se, pois, ser a amônia, quando em concentrações elevadas, menos eficiente, como fonte de nitrogênio, na reprodução de algas.

Foram notadas consideráveis variações qualitativas, no comportamento das algas, quando cultivadas sob as diferentes concentrações de sais nutrientes. No frasco A, do grupo que utilizou amônia, a alga predominante foi do gênero *Synedra* e no frasco B, do mesmo grupo houve predominância de Chlorophyceae (*Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Englenophyta* etc.). À medida que a concentração de sais aumentava, espécies de Diatomaceae (*Cyclotella*, *Navicula* etc.) também aumentavam em

número, tornando pardacenta a cor da água nos frascos.

No grupo tratado com nitrato houve desenvolvimento acentuado de espécies da classe *Chlorophyceae*, em todos os frascos, exceto em A, onde havia predominância dos gêneros *Synedra* e *Cyclotella*. Como se vê, no grupo que recebeu amônia a produtividade de *Chlorophyceae*, foi favorecida ao redor de 5 mg/l e no grupo que recebeu nitrato, acima de 5 mg/l.

A quantidade de nitrogênio consumida varia de acordo com a espécie de alga. Todavia, pode-se afirmar, face aos resultados obtidos por outros autores (Iwai, 1962) que as maiores produtividades se verificam, em geral, às concentrações de 1 a 10 mg/l, enquanto que concentrações inferiores a 0,2 mg/l são improdutivas. Esses resultados foram, em linhas gerais, confirmados pelas experiências presentes (Tabela 5).

TABELA 5

Variações qualitativas e quantitativas do fitoplâncton em relação à fonte de Nitrogênio

Concentração de N em mg/l	GRUPO DO NO <sub>3</sub>						GRUPO DO NH <sub>4</sub>					
	1	5	15	30	45	60	1	5	15	30	40	60
GÊNEROS × 10 <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>												
Ankistrodesmus sp.	1,35	770	900	174	216	90	4,5	93	3,3	3,9	0,75	0,6
Closterium sp.	0,0	0,0	8	17	27	9	0,3	0,5	0,5	0,2	0,0	0,0
Coelastrum sp.	0,6	48	60	15	18	9	0,0	1,5	0,2	0,3	0,0	0,0
Flagellata sp.	127,5	320	300	360	422	412	12,0	183	90	75	82	45
Peciastrum sp.	0,0	1,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,6	0,2	0,3	0,1
Scenedesmus sp.	2,0	866	825	405	459	585	5,1	48	9,2	3,3	2,3	3,1
Cyclotella sp.	1,35	1,4	7,5	3,0	0,0	0,0	1,4	0,75	1,2	3,0	5,7	2,7
Diatoma sp.	0,3	1,2	1,5	1,5	1,2	1,8	0,0	0,0	2,7	1,8	3,2	1,3
Navicula sp.	1,2	12	19,5	3,0	0,0	0,0	0,0	1,5	11,1	13,5	16,1	17,7
Synedra sp.	226,5	2,8	3,5	0,0	0,0	0,0	17,6	5,7	1,8	0,9	0,2	0,3
Microcystis sp.	—	+	++	+++	+++	++		++	+	+		

A forma de composto nitrogenado que é melhor utilizada pelas algas varia, entretanto, de uma para outra espécie. Geralmente esta preferência é relativa, podendo a maioria das espécies utilizar as duas fontes de N (Amônia e nitrato), de acordo com suas concentrações na água. As concentrações ótimas de fósforo, relativas às demandas para crescimento de algas já estão mais ou menos bem estabelecidas, e situam-se em torno de 0,1 a 1,8 mg/l e o seu consumo é sempre maior quando a fonte de

nitrogênio empregada é nitrato e não amônia. (Chu, 1943). Esse fato resultou evidente, das proporções absorvidas de N e P nas presentes experiências.

### 3. Efeitos inibidores do H<sub>2</sub>S.

As concentrações de gás sulfídrico dissolvido nas águas do canal do Pinheiros e da represa Billings podem ser apreciadas na tabela 6.

TABELA 6

Concentração de gás sulfídrico nos vários locais na Billings, em mg/l

DATA DA PESQUISA	PONTOS					
	Rio Pinheiros perto da barragem	1	2	3	4	5
14 setembro 1966	4,5	2,25	0,72	0,00	0,00	0,00
26 agosto 1966	—	4,0	2,8	0,2	0,00	0,00

A comparação entre estes dados e a concentração de fitoplâncton nos mesmos locais sugere o  $H_2S$  como um dos vários fatores que contribuem para a limitação do desenvolvimento de algas na represa Billings. Essa suposição veio a ser confirmada pelas experiências que consistiram em procurar desenvolver algas em meios contendo  $H_2S$  e meios em que esse gás foi expulso por aeração. A experiência foi realizada dessa forma visando comprovar o efeito depurador da aeração em águas que recebem  $H_2S$ . Verificou-se que nos frascos que continham  $H_2S$  as algas morriam após 24 horas.

passando a apresentar coloração marrom, enquanto que nos frascos aerados as algas proliferavam satisfatoriamente.

#### 4. Eliminação biológica da película gordurosa.

A tabela 7 demonstra a eliminação das substâncias da represa Billings, quando colocadas nos seguintes meios: 1) água destilada; 2) água da represa; 3) água da represa mais água de um tanque de aeração.

TABELA 7

Eliminação das substâncias por atividade bacteriana.

Frasco	Quantidade de gordura adicionada (em g)	Quantidade de gordura após 20 dias (em g)
1	0,18	0,178
2	0,19	0,098
3	0,18	0,089

A análise desses resultados demonstra ser a redução da gordura das amostras, proporcional à concentração de bactérias no meio.

#### Discussão:

A análise química dos nutrientes, assim como da concentração de clorofila e a medida do peso seco de microrganismos na represa Billings, demonstram tratar-se de um lago tipicamente eutrófico. A fertilização desse corpo de água é proporcionada, sem dúvida pelos esgotos e despejos industriais lançados ao sistema Tietê-Pinheiros e que, através do

canal do Pinheiros, atingem a represa Billings. Essa eutrofilização tende, pois, a ser aumentada, à medida que as cargas orgânicas e minerais, lançadas ao sistema, forem incrementadas em consequência do aumento da população e das atividades industriais na área da grande São Paulo. Os valores médios anuais, das concentrações de nitrogênio e fósforo solúveis, nas águas do canal do Pinheiros mantêm, atualmente, entre si, uma relação N:P = 20:1, aproximadamente. Com o aumento das cargas de despejos industriais e domésticos, prevê-se um aumento proporcional desses sais minerais, podendo-se estimar, para os anos de 1970 e 2000 as seguintes concentrações (tabela 8).

TABELA 8

Concentrações de N e P no ano de 1966 e Estimativa nos anos de 1970 e 2000 (em mg/l)

	1966	1970	2000
N. Solúvel ....	4,9	7,35	24,5
N. Total .....	7,72	11,58	38,60
P. Solúvel ....	0,24	0,36	1,2
P. Total .....	0,40	0,60	2,0

Essa estimativa baseia-se nos conhecimentos das descargas per capita, atuais de N. e P., obtidas através de quatro meses de pesquisa (agosto, setembro, outubro e novembro de 1966), relacionadas com a população prevista para os anos de 1970 e 2000 e vazões de água então existentes no sistema Tietê-Pinheiros. De acordo com os dados assim obtidos, preve-se que as concentrações de nitrogênio e fósforo serão, no ano 2000, cinco vezes maiores que os atuais valores médios. Considerando, porém, não só o nitrogênio solúvel, mas também o nitrogênio orgânico que poderá tornar-se solúvel como consequência dos processos de estabilização, podemos afirmar que essa concentração total será da ordem de 40 mg/l, no ano 2000.

Por sua vez, a proporção de fósforo solúvel deverá sofrer aumento ainda maior que o do nitrogênio, como consequência da utilização crescente que se faz dos detergentes sintéticos, contendo formas complexas de fósforo. Presume-se que a concentração de fósforo, no ano 2000, será da ordem de 2,0 mg/l, mantendo-se, dessa forma, a proporção atual entre este elemento e o nitrogênio solúvel, na represa Billings.

Inúmeros fatores concorrem à limitação do crescimento de algas, nas proximidades da barra-

gem de Pedreira. Entre estes, destacam-se a excessiva turbidez, provocada pelo material sedimentável proveniente do próprio esgoto; as formas de compostos de nitrogênio presentes, que possivelmente não são as mais assimiláveis pelas algas; a presença de gás sulfídrico, oriundo de processos anaeróbios de estabilização dos esgotos; a presença de uma película superficial constituída pelas matérias graxas provenientes dos próprios despejos. Uma das formas de utilização do potencial estabilizador da represa Billings, no futuro, seria mediante tratamento primário dos esgotos a serem lançados. Esse tratamento, constituído em sedimentação dos sólidos em suspensão e aeração parcial do sistema, contribuiria para a eliminação da maior parte desses fatores restritivos ao crescimento de algas, provocando redução da turbidez (e conseqüente aumento da penetrabilidade da luz solar, para fotossíntese); solubilizando o nitrogênio orgânico e estabilizando os compostos nitrogenados, possivelmente até a forma de nitratos, eliminado assim o excesso de amônia que no ano 2000 atingirá certamente concentrações tóxicas e produzindo compostos mais facilmente assimilados pelas algas e eliminando ou mesmo impedindo a formação do H<sub>2</sub>S na água, por ser a existência desse composto incompatível com as condições aeróbias. Finalmente, as presentes experiências demonstram que a própria película de matéria gordurosa seria removida graças à atividade bacteriana resultante da aeração.

Por conseguinte, com a remoção dos elementos considerados perturbadores ao desenvolvimento de algas e com o incremento dos fatores indispensáveis à sua proliferação, pode-se esperar, para o futuro, uma grande intensificação da atividade fotossintética. Calculando-se a quantidade de algas na camada de produção baseada na penetração proporcional da luz na água (segundo a lei Kikuchi) esta, expressa em clorofila, variou de 0,110 a 0,158 g/m<sup>2</sup> no trecho da represa Billings compreendido entre o ponto 1 e o Rio das Pedras. (Tabela 9).

TABELA 9

Quantidade de clorofila e algas calculadas na camada de produção

Ponto de coleta	Billings						Rio das Pedras
	1	2	3	4	5	6	
clorofila g/m <sup>2</sup>	0,0	0,112	0,139	0,138	0,158	0,143	0,110
algas g/m <sup>2</sup>	0,0	6,22	7,72	7,68	8,78	7,94	6,12

Segundo estudo Nielsen (1962) a quantidade máxima de algas expressa em clorofila na camada de produção em ambientes naturais é de aproximadamente 0,3 g/m<sup>2</sup>. Se aceitarmos esse valor, temos que a produção atual, nos referidos Reservatórios corresponde a apenas 30 a 50% do valor máximo teremos assim, a possibilidade teórica de uma elevação de 50 a 70% de atividade fotossintética na camada de produção. Mesmo assim, a análise do balanço atual de oxigênio (Branco, 1966; Relatório Hazen and Sawyer 1967) em relação às cargas orgânicas estimadas para o ano 2000, levamos à conclusão de que será necessário uma remoção prévia de 60% de DBO então existente além da eliminação de H<sub>2</sub>S e graxas para que a represa Billings se mantenha com as mesmas características bioquímicas que hoje apresenta. Se fôr mantido o lançamento in natura, das águas do sistema Tietê-Pinheiros, contendo os esgotos de S. Paulo, com uma população estimada em 15 milhões de habitantes servida por rede de esgotos, a represa Billings será transformada totalmente em lagoa anaeróbia.

### Conclusões

1. A concentração de algas (clorofila) na represa Billings aumenta à medida que se distanciam do local onde entram as águas poluídas atingindo o seu valor máximo no ponto 3 a cerca de 1/3 do comprimento total da represa. Esse fator indica a existência de inibidores e/ou ausência de luz e fatores nutritivos adequados à máxima produtividade, nesse primeiro terço do trajeto desenvolvido pelas águas poluídas.

2. Experiências utilizando os compostos que poderiam constituir fonte de N para algas, nas águas poluídas, indicaram que os nitratos proporcionam maior índice de reprodução e de aproveitamento do fósforo que a amônia: como os nitratos aparecem na represa como resultado de uma ação bioquímica (nitrificação) somente possível em ambientes de menor concentração de matéria orgânica, esse fator contribuiria, possivelmente, ao lado de outros, para as diferenças de proliferação das algas observadas nos vários pontos da represa. Foram ainda observadas variações qualitativas, das algas, correspondentes ao aumento de concentração de sais minerais no meio.

3. Como agentes inibidores principais, presentes nas primeiras porções da represa Billings, incluem-se a presença de matéria em suspensão, as altas concentrações de gás sulfídrico e a presença de uma película de gordura na superfície da água. As experiências demonstram constituir a aeração processo efetivo na eliminação do H<sub>2</sub>S e, também, na destruição biológica da película de graxas. A

intensidade desta última atividade demonstrou-se ser proporcional à concentração de bactérias presente no meio.

4. Prevêem-se para o ano 2000, concentrações de nitrogênio e fósforo na represa Billings, da ordem de 40 mg/l e 2,0 mg/l respectivamente. Admitindo-se, então, a existência de um tratamento primário, que tornará solúvel a maior parte do nitrogênio atualmente insolúvel, e o incremento do uso de detergentes sintéticos ricos em fósforo, as concentrações de nutrientes disponíveis para a proliferação de algas será cerca de dez vezes maior que as atuais. Esse tratamento primário concorrerá, também, para a eliminação de alguns fatores que atualmente são restritivos ao desenvolvimento das algas, como partículas em suspensão, gás sulfídrico, graxas e excesso de amônia. Como consequência disso, a produção de oxigênio por atividade fotossintética será muito aumentada possibilitando a estabilização de novas cargas orgânicas. Ainda assim, será necessário que o tratamento primário remova cerca de 60% da DBO então existente, para que o balanço de oxigênio da represa se mantenha semelhante ao atual, de modo a impedir que o lago se torne totalmente anaeróbio.

### REFERÊNCIAS

- Algae and Metropolitan Wastes. U.S. Department of Health, Education and Welfare — 1960 Seminar.
- AZEVEDO, P.; KAWAI, H. e VAZ, J. O., 1967 — Estudo da limnologia e poluição da represa Rio das Pedras para posterior avaliação de sua produção piscícola. *Revista DAE*, 27 (66): 48-76.
- BRANCO, S.M., 1958 — Estudo Preliminar da Hidrobiologia da Represa Billings. Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo.
- BRANCO, S.M., 1959 — Alguns aspectos de Hidrobiologia, importantes para a Engenharia Sanitária. *Revista DAE*, 20 (33): 21-30; (34): 29-42.
- BRANCO, S.M., 1960 — Os sais minerais, como fatores de poluição. *Revista DAE*, 21 (36): 49-51.
- BRANCO, S.M., 1961 — Biologia dos rios Biritiba, Jundiá e Taiassupeba. Previsões e sugestões sobre futuros problemas hidrobiológicos decorrentes do represamento. *Revista DAE*, 22 (39): 71-74.
- BRANCO, S.M., 1962 — Controle preventivo e corretivo de algas em águas de abastecimento. *Revista DAE*, 23 (45): 61-75.
- BRANCO, S.M., 1966 — Estudos das condições sanitárias da represa Billings. Arquivos da Faculdade de Higiene, 20 (1): 57-86.
- CHU, S.P., 1943 — The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planctonic algae. II. The influence of the concentration of nitrogen and phosphate phosphorus. *Ibis*, 31: 109-148.

- CONVENIO HIBRACE (1968) — Desenvolvimento Global dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê e Cubatão. R. 33-268.
- FITZGERALD, G.P., 1960 — Stripping effluents of nutrients by biological means. *Algae and Metropolitan Wastes*: 136-139. U.S. Department of Health, Education and Welfare.
- HAZEN and SAWYER (1967 — Relatório sobre disposição de esgoto no município de São Paulo.
- HOGETSU, K., 1954 — Study on the Biological Production of the lake Suwa. *Jour. Bot.* 14: 280-303.
- HOGETSU, K. and SAKAMOTO, M., 1963 — Spectral change of light depth in same lakes and its significance to the photosynthesis of phytoplankton. *Plant & Cell Physiol.* 4: 187-198.
- HUTCHINSON, G.E., 1957 — A treatise on limnology. Vol X. Geography Physics and Chemistry. J. Wiley & Sons Inc. N. York.
- JUDAY, C., 1940 — The annual energy budget of an inland water. *Ecology* 21: 438-450.
- JUDAY C; SHOMER, HA., 1933 — The Utilization of the solar radiation and transparency of the water of the lakes. *Jap. Jour. Limn.*, 5: 121-124.
- KIMBALL, J.F., CORCORAN, E.F. and WOOD, E.G.F., 1963. Chlorophyll containing microorganisms in the aphotic zone of the oceans. *Bull. Mar. Sci. of the Gulf and Caribb.* 13, 14: 574-577.
- MACKENTHUN, K. — The effects of nutrients on photosynthetic oxygen production in lake and reservoirs. U.S. Public Health Service.
- MACKENTHUN, K.M., 1965 — Nitrogen and Phosphorus in Water. U.S. Department of Health, Education and Welfare.
- MANNING, W.N. and JUDAY, R.E., 1941 — The chlorophyll content and productivity of some lakes in the northeastern Wisconsin. *Trans. of the Wisc. Acad. of Sci. Art. and Lit.*, 33: 367-393.
- NIELSEN, E.S., 1962 — The physiological background for using chlorophyll measurements in hydrobiology and theory explaining daily variations in chlorophyll concentration. *Arch. Hydrobiol. Kbenhaum*: 350-357.
- NIELSEN, E.S., 1968 — On the examination quantity of plancton chlorophyll per superunit of a lake or the sea. *Inst. Revue. Hydrobiol.* 47, 3: 333-338.
- OCCHIPINTI, A.G., 1959 — Radiação solar global e insolação em Cananea. *Inst. Ocean. U S P*, n.º 1.
- OSWALD, W.J. and GOLUEKE, C.G., 1965. *Eutropication Trends in the United States a Problem?* Mimeografado.
- RODRIGUES, J.M.C., 1964 — Estudos para Aeração dos Rios Tietê e Pinheiros. 1.ª parte: Levantamento das Condições de Poluição.
- ROHLICH, G.A. and SARLES, W.B., 1949 — Chemical composition of algae and its relationship to taste and odor. *Taste and Odor Control Journal*, 18: 1-7.
- SALJO, Y., 1958. *Limnological methods.* Kokin Ltda. Tokyo.
- SAWYER, C.N. and LACKEY, J.B., 1945. Plancton productivity of certain southern Wisconsin lakes as related to fertilization. *Sewage Works Journal*, 17: 573-585.
- TOSHIO IWAI, 1962. Ecological Studies on the phytoplankton of the Braleish water ponds. *Univer. of Mie., Japão.* 5(3).

—//—