

Alguns aspectos da Hidrobiologia importantes para a Engenharia Sanitária

SAMUEL MURGEL BRANCO

Biologista do laboratório central do DAE

(Continuação do número anterior)

V — CONDIÇÕES ECOLÓGICAS CRIADAS PELA POLUIÇÃO

As conseqüências, do ponto de vista biológico, da introdução, em um manancial, de um efluente poluidor, podem ser divididas em:

- a) Efeitos devidos ao aumento de matéria orgânica;
- b) Efeitos devidos ao aumento do teor de sais minerais;
- c) Efeitos devidos à introdução de elementos tóxicos e variação do pH.

a) Aumento de matéria orgânica.

O aumento da quantidade de matéria orgânica, em um rio ou lago, tem conseqüências positivas ou negativas, quanto ao desenvolvimento de organismos. Sabemos que os animais, não possuindo a capacidade de sintetizar matéria orgânica exigem-na, já formada, no ambiente em que vivem. Assim sendo, a poluição por matéria orgânica, até certo ponto, contribui ao desenvolvimento de organismos. Com relação à proliferação de vegetais, há também, um efeito indireto da matéria orgânica, constituindo fonte de sais minerais, a que nos referiremos mais detalhadamente, na parte desse capítulo relacionada com os efeitos devidos ao aumento da salinidade. A matéria orgânica lançada a um manancial exige, entretanto, ao se decompôr, certa quantidade de oxigênio que obtém da água, empobrecendo-a desse gás, chegando a impossibilitar a existência de organismos aeróbios na água poluída. Já foi citado o caso do Rio Tietê que, numa extensão de centenas de quilômetros, não possui um peixe sequer. O mesmo acontece (segundo nos informa relatório da firma Greeley e Hansen, revista DAE n.º 31 (9)) na Represa Billings, em certas épocas, até a uma distância de vários quilômetros a partir da Barragem da Pedreira, onde são lançadas as águas do Rio Tietê.

Devemos saber, por outro lado, que entre os organismos animais, alguns exigem menor quantidade que outros, de oxigênio dissolvido. Isto porque muitos são capazes de acumular oxigênio ou, ainda, possuem baixo metabolismo. Alguns, ainda (como certos vermes) são anaeróbios, isto é, vivem em ambiente destituído de oxigênio, conseguindo-o, para seu metabolismo, a partir das substâncias que ingerem. Assim sendo, eles se distribuem, na água, de acordo com as suas necessidades em oxigênio, sendo cada ambiente caracterizado por um tipo de população. Por essa razão, tem-se procurado estabelecer listas desses organismos, de acordo com as suas necessi-

dades em oxigênio, relacionando-os com o grau de poluição orgânica existente. Várias tentativas de classificação têm sido feitas dos ambientes e dos organismos que os habitam, de acordo com o grau de poluição que suportam. De um modo geral, sabe-se que suportam ambientes altamente poluídos: *Sphaerotilus*, além de muitos outros gêneros de bactérias; vários grupos de algas; vermes (como os *Oligochaeta* tubícolas: *Tubifex*, *Limnodrilus*) algumas larvas de insectos (*Eristalis*, algumas espécies de *Chironomus* etc.). Em ambiente de menos severa poluição, encontramos principalmente larvas de insectos como: *Tabanus* etc., além de algas, protozoários, rotíferos, moluscos etc. Em águas limpas, com alto teor de oxigênio, encontramos bezouros aquáticos, larvas de algumas libélulas e de outros insectos, como: *Simulium* (estes somente, em águas de grande velocidade, pois são particularmente exigentes em oxigênio). *Ephemeroptera* etc. e peixes, especialmente *Salmonideos* (Truta e Salmões). Além destes, muitas algas que exigem grande intensidade de luz para fotossíntese, somente habitam águas limpas, como por exemplo muitas diatomáceas.

Baseadas nesses fatos, várias tentativas têm sido feitas, de classificação dos diversos organismos aquáticos, de acordo com o ambiente em que são encontrados, com a finalidade de obter, assim, indicadores biológicos de poluição.

1. Sistema ecológico de Kolkwitz e Marsson — Esses autores distinguem três regiões principais em um rio ou lago que recebe um efluente poluidor (seg. M. C. Ehipple (33):

“Zona Polissapróbica — caracterizada quimicamente por um alto teor de matéria orgânica, moléculas complexas tais como proteínas e hidrocarbonetos, portanto facilmente decomponíveis. Os processos de degradação que aí ocorrem, em grande quantidade, determinam o consumo e desaparecimento total do oxigênio dissolvido nessa região. Acumula-se, no fundo, grande quantidade de lodo negro. Do ponto de vista biológico esta zona se caracteriza pela ocorrência de um grande número de indivíduos pertencentes, entretanto, a apenas alguns grupos de organismos. Entre estes são particularmente abundantes bactérias e protozoários que se alimentam de bactérias, tais como ciliados e flagelados sem pigmento clorofiliano. Peixes completamente ausentes.

Zona Mesossapróbica — Esta zona é, por conveniência, dividida em duas partes, denominadas: mesossapróbica- α e mesossapróbica- β . A primeira limita-se com a zona Polissapróbica e a segunda se estende até à água limpa. Na primeira parte dessa zona continuam os processos de purificação porém, ao con-

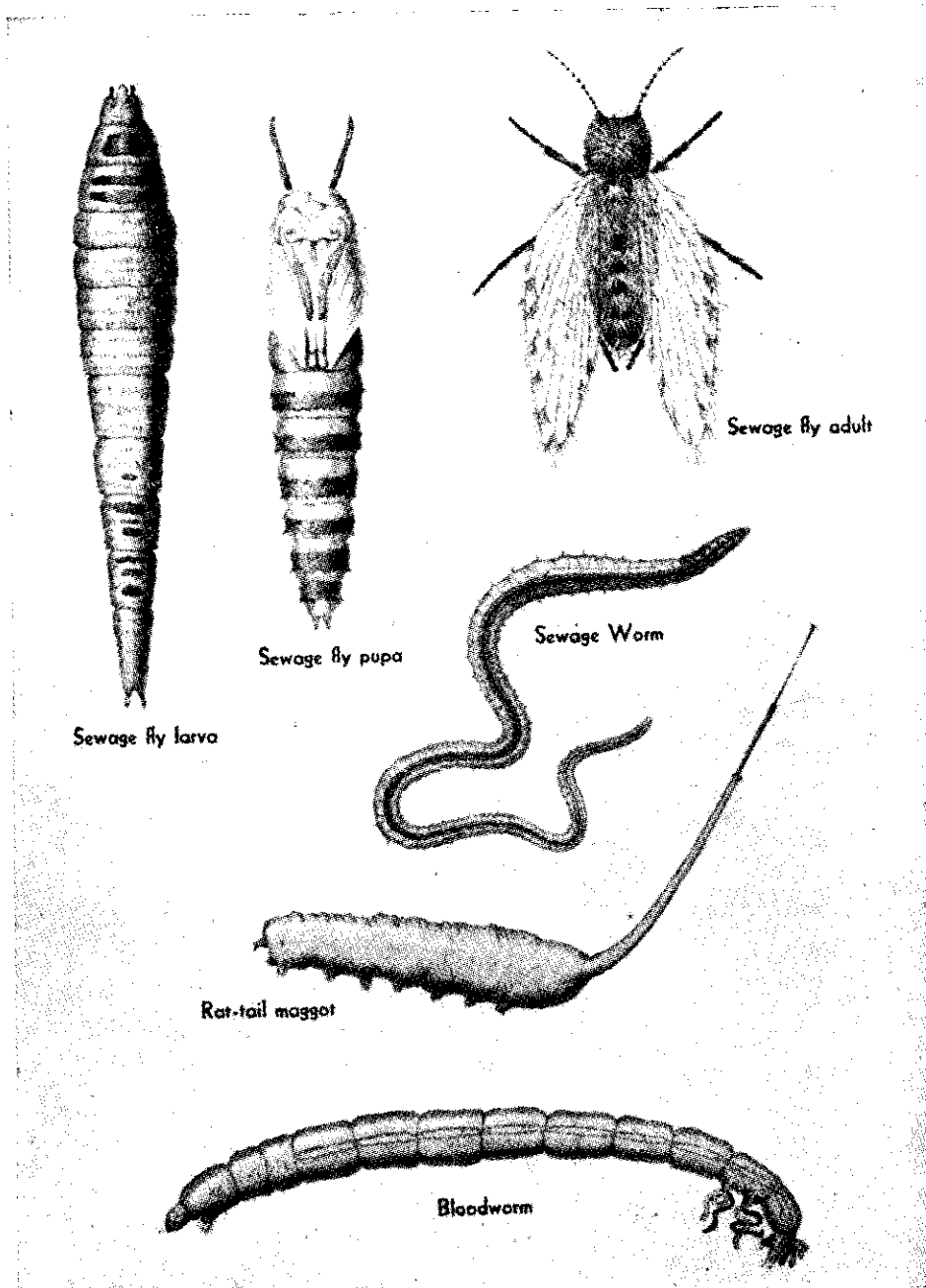


FIG. 6 — Animais de águas poluídas.

No alto, da esq. para direita: larva, pupa e adulto do insecto: *Psychoda*; no centro, um verme *tubificidae*; em baixo: Larva do insecto *Eristalis* e larva de um insecto *Chironomidae*.

(Seg. Catálogo de Referências hidrobiológicas, do U. S. Department of Health, Education and Welfare).

trário do que acontece na zona anterior, esse processo é agora, acompanhado por fenômenos de oxidação em que tomam parte alguns organismos clorofilados. A zona mesossapróbica-3 é caracterizada por uma quasi total mineralização. Os organismos da zona mesossapróbica são geralmente tolerantes a esgotos diluídos ou imperfeitamente purificados e aos seus produtos de decomposição. Muitas bactérias são ainda presentes. Algas azuis (Cianofíceas), algas verdes (clorofíceas) e algumas diatomáceas já aparecem. Bem como plantas superiores. Animais existem com abundância e variedade. Vermes, protozoários e rotíferos habitam esta zona. Peixes mais tolerantes alimentam-se no fundo.

Zona Oligossapróbica — Esta é a zona de águas limpas, em que a mineralização já é completa. A água é praticamente saturada em oxigênio e, às vezes, mesmo, supersaturada. O conteúdo em nitrogênio orgânico é baixo e a água é clara e transparente. Bactérias são reduzidas em número. Predominam os vegetais clorofilados. Protozoários e Rotíferos são devorados pelos crustáceos. É o habitat preferido dos peixes. O plancton animal e vegetal dos lagos limpos têm características oligossapróbicas. Os depósitos de fundo são geralmente claros e possuem também as qualidades mesossapróbicas.

Um grande número de organismos, porém, comporta-se mais ou menos indiferentemente em relação aos 3 habitats. Estes não são úteis como indicadores e são reunidos sob a denominação de "organismos catarrópicos".

Foram organizadas listas de organismos de acordo com suas características ecológicas, de maneira a servirem como indicadores do tipo de ambiente em que são encontrados.

2. Sistema de Patrick.

Esse autor agrupou os organismos em sete colunas diferentes e, pela relação entre as porcentagens de indivíduos encontrados pertencentes a cada coluna, classificada a água como: "Saudável", "Semi-saudável", "Poluída", "Muito poluída".

3. Sistema de Wirtz.

Semelhantes às anteriores, porém, grupa os organismos de acordo com seu modo de vida, em 5 colunas:

- 1.º — Organismos que cavam.
- 2.º — Organismos sésseis (prêso ao fundo).
- 3.º — Organismos que caminham (raramente livre natantes).
- 4.º — Organismos pelágicos (livre natantes).
- 5.º — Organismos planctônicos.

4. Sistema de Beck.

Reune os organismos em 2 classes:

Classe I — Organismos que somente toleram poluição muito fraca.

Classe II — Organismos que toleram poluição orgânica moderada, não podendo, entretanto, subsistir em condições anaeróbicas ou quasi anaeróbicas.

Estabeleceu a seguinte equação para a avaliação:

$$2(n \text{ classe I}) + (n \text{ classe II}) = \text{Índice biótico}$$

onde n = número de espécies.

Esse "Índice biótico" varia de 0 a 40, caracterizando os seguintes tipos de águas:

Águas limpas: Índice biótico = 10 ou mais;

Poluição Moderada: Índice Biótico = 1 a 6.

Forte poluição: Índice biótico = 0.

Essa profusão de Sistemas diferentes de avaliação de dados biológicos é a própria demonstração de como está longe, ainda, a hidrobiologia, de conseguir um processo seguro e fácil de mensuração desses dados. Seria ideal o processo que se utilizasse o mais possível, de caracteres ecológicos, de maneira a dispensar a classificação até espécies, o que torna a mensuração muito mais difícil. O Sistema de Wirtz é o que mais se aproxima de uma solução final, nesse sentido.

b) Aumento de teor de sais minerais.

Já nos referimos, no capítulo III, à necessidade de uma revisão no conceito geral de poluição. Realmente, o aumento do teor de sais minerais nas águas de lagos e rios é, em geral, um fator positivo no desenvolvimento de plancton animal e vegetal. Ao contrário do que acontece nos mares, em que um importante fator limitante ao desenvolvimento é constituído pela concentração salina, através das altas pressões osmóticas que desenvolve, nas águas doces essa concentração raramente é superior à existente no meio interno dos organismos animais e vegetais. Pelo contrário, nestas, a falta de sais minerais é, geralmente a principal responsável pela ausência de organismos (com exceção de certos lagos salgados). Por essa razão, podemos quasi sempre relacionar os surtos repentinos de algas e outros organismos em um lago, com um incremento, por qualquer circunstância, na quantidade de sais minerais dissolvidos na água. Estes sais são, geralmente, fornecidos por fertilizantes colocados em terras de cultura situadas nos arredores do manancial, despejos industriais ou, com maior frequência, por matéria orgânica em decomposição. Tivemos oportunidade de nos referir, anteriormente, ao efeito indireto exercido pelo enriquecimento em matéria orgânica, especialmente esgoto doméstico, de um manancial, sobre a sua produtividade, decorrente da oxidação ou mineralização que se efectua nesse material que passa a constituir uma importantíssima fonte de substâncias minerais. O fenômeno é de natureza idêntica ao que se processa na agricultura, quando adubamos o solo com estêrco orgânico. Sabemos que, para o vegetal que se desenvolve fotossinteticamente, não interessam substâncias orgânicas que, aliás, em geral, nem sequer são assimiláveis. O principal benefício produzido à planta consiste, pois, na fornecimento de substâncias minerais, resultantes da decomposição do material orgânico. Não cogitamos aqui de benefícios de outra ordem, que podem resultar dessa decomposição, tais como a formação de matérias coloidais que, em virtude de suas propriedades físico-químicas, têm grande importância na retenção de elementos minerais na superfície do solo etc.

Dessa maneira, o lançamento de esgotos em forma bruta, por exemplo, em um lago ou rio, poderá dificultar seriamente uma ulterior utilização destas águas, em vista da intensa proliferação de algas que se poderá verificar, como resultado do seu aumento de salinidade. Para esse ponto de vista, não têm interesse, pois, as medidas de poluição expressas em BOD ou em índices bacteriológicos, que somente revelam a presença de matéria orgânica e nunca a mineralização resultante de sua decomposição. As algas não se reproduzem com intensidade, em regiões de alto BOD e, portanto, de alta atividade bacteriana. O "interesse" da alga pelo material de esgoto principia no ponto em que este começa a ser destruído, ou melhor, mineralizado. Um caso típico, desse fenômeno, é o que temos estudado, atualmente, na Re-

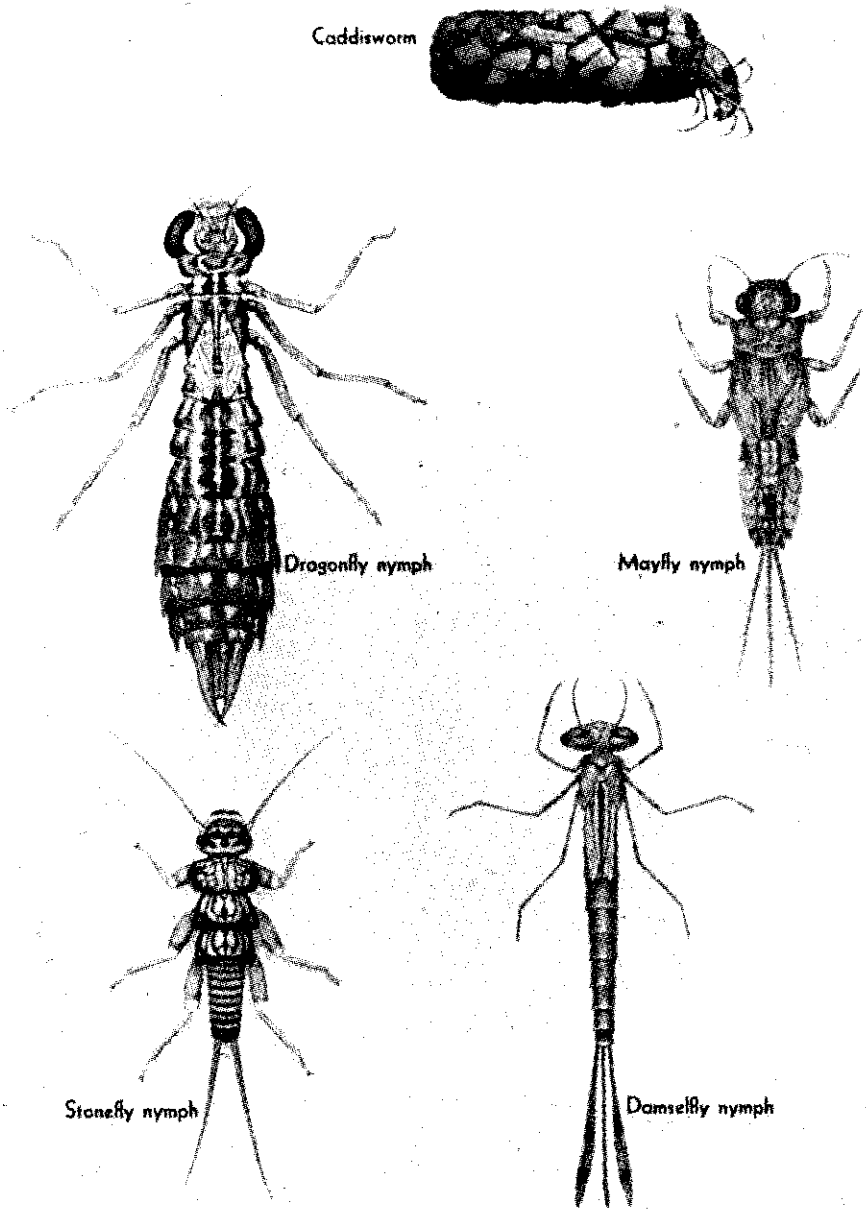


FIG. 7 — Animais de águas limpas. Larvas e ninfas de insetos:

1. Trichoptera
2. Odonata ("Libélulas")
3. Ephemeroptera ("Efemérides")
4. Plecoptera
5. Odonata ("Libélulas").

(Seg. Catálogo de Referências hidrobiológicas, do U. S. Department of Health, Education and Welfare).

prêsa Billings, onde o lançamento do Rio Tietê (contendo todo o esgoto de S. Paulo), pela Companhia Light, produziu um incremento progressivo em sais minerais, o que determinou o aparecimento do fenômeno da "floração das águas", resultante da assombrosa reprodução de algas cianofíceas, em regiões caracterizadas por índices bacterianos e teor de matéria orgânica relativamente baixos.

Já vimos, em capítulos anteriores, que dêsses sais indispensáveis ao crescimento das algas, os que geralmente se encontram em menores quantidades, nas águas naturais, são os sais de nitrogênio (elemento indispensável ao organismo, na composição de moléculas proteicas) e de fósforo (também importante para a constituição do ácido fosfórico, elemento primordial dos processos respiratórios e, ainda, como componente dos ácidos nucleicos, de vital importância à célula e à transmissão dos caracteres hereditários). Outros sais, tais como cloretos, carbonatos etc., necessários aos organismos, existem, em geral, em quantidades mais que suficientes em tôdas as águas naturais.

Vemos, assim, que um efluente rico em sais minerais poderá determinar:

1. Morte de organismos, por excesso de salinidade, ou aumento do valôr osmótico da água doce.
2. Aumento do número de organismos, particularmente no caso de ser o efluente rico em sais de fósforo ou de nitrogênio.

c) Introdução de elementos tóxicos e variação de pH.

A introdução de elementos tóxicos ou que determinem a variação do pH do meio pode, também, constituir fator positivo ou negativo ao desenvolvimento de organismos em uma água:

Com relação aos tóxicos, sabemos que muitos dêstes são específicos, isto é, muitos organismos morrem ou se desenvolvem mal em ambientes que contêm pequeníssimas quantidades de elementos (especialmente sais metálicos) que, entretanto, nenhum dano causam a outros tipos de organismos. Êsses elementos podem, dêsse modo, constituir, até mesmo um fator favorável ao desenvolvimento dos organismos resistentes eliminando os seus concorrentes naturais susceptíveis.

O mesmo pode acontecer, com relação ao pH. Existem organismos extremamente sensíveis aos pH elevados, (como a maioria dos peixes, por ex.) assim como outros exigem o meio alcalino.

Êstes fatos podem produzir fenômenos interessantes, como os que observamos em algumas estações de tratamento. (Trabalho do autor, Revista DAE n.º 32 (4)).

Verificamos, algumas vêzes, desenvolvimento exuberante, nas paredes dos decantadores e câmaras de mistura de algas filamentosas quasi inexistentes nos rios que fornecem a água a ser tratada. A explicação para êsse fenômeno, às vêzes bastante grave, por chegar a causar o entupimento dos filtros de areia, parece-nos ser a seguinte: A água in natura possui, geralmente, pH muito superior ao existente nos aparelhos de decantação, uma vez que a floculação exige pH inferior a 5,5 em geral. Assim sendo, todos os organismos existentes nos rios devem ser organismos típicos de pH elevado. Sabemos, por outro lado, que a grande maioria dos organismos é exigente no que diz respeito à concentração hidrogeniônica, não obstante existirem alguns insensíveis à variação dêste fator. Dêsse modo, ao ser adicionada, na Estação de Tratamento, a substância coagulante a diminuição de pH produzida determinará a morte da maioria dos organismos, isto é, de todos os organismos susceptíveis à acidez elevada, ficando, assim, livres de seus concorrentes naturais, todos aquêles organismos in-

diferentes. Essa concorrência refere-se, principalmente às necessidades de sais minerais (especialmente nitratos e fosfatos) que, como sabemos existem, em geral, em quantidades muito escassas nas águas doces naturais.

Talvez não só o pH exerça, nesse caso, ação seletiva, mas também a própria presença do coagulante que poderá, em determinadas concentrações, constituir um tóxico específico, ou ainda, a maior profundidade de decantador em relação ao rio, menor velocidade da corrente, menor penetrabilidade dos raios solares, em virtude da presença de flocos em suspensão etc. Todos êsses fenômenos (ou o seu conjunto) podem produzir uma diminuição do número de espécies o que condicionará situação excepcionalmente favorável (principalmente quanto ao teor de sais minerais) ao desenvolvimento em muito maior número de indivíduos pertencentes a uma ou poucas espécies resistentes a êsses fatores.

Fenômenos dessa natureza podem ocorrer, frequentemente não só por ação do homem, como também por alteração natural das condições ambientes em lagos ou rios. A presença de sulfetos, por exemplo, que pode ocorrer em determinadas circunstâncias, em certos lagos, determina a morte de grande maioria da fauna e flora, possibilitando a reprodução exuberante de certas formas resistentes; mesmo o baixo teor de oxigênio de certos ambientes determina, como já vimos, a proliferação intensa de formas anaeróbias.

Um aspecto muito importante de introdução de elementos tóxicos na água é o relacionado com a população de peixes. Êstes são extremamente sensíveis à presença de certos íons, especialmente de metais pesados. Quantidades muito pequenas de cobre, zinco, chumbo etc. na água determinam a morte dêsses animais:

Cobre — Temos observado como fenômeno muito freqüente em S. Paulo, a morte em grande escala de peixes, sobretudo durante a Primavera e início do Verão em virtude de que a sulfatação de vegetais com calda bordaleza se realiza nessa época para combate de brocas e outros insectos. Geralmente as chuvas se encarregam de dissolver o sulfato nas plantas, levando-o para os rios ou lagos onde ocorre a morte dos peixes. O sulfato de cobre é tóxico para a grande maioria dos peixes em concentrações inferiores a 1 ppm. George Shaut (Fish Catastrophes during the Winter (26)), afirma que 1,3 ppm dêsse sal determina a morte de 50% dos peixes em 24 horas. Peter Doudoroff e Max Katz (Critical review of Literatura on the toxicity of industrial wastes and his components to fish. (8)), citam referências demonstrando que a concentração crítica tolerável pelos peixes em geral é de 0,8 ppm de CuSO₄, com grandes variações de uma para outra espécie.

Zinco — Um fenômeno relativamente freqüente, em S. Paulo, especialmente quando, por qualquer circunstância, ocorre um aumento de pressão da água ou introdução de ar que se emulsiona com esta nos canos, é a morte de peixes em aquários ou em tanques de peixarias causada pelo deslocamento de compostos de zinco em canos galvanizados. Os peixes aparecem, então, com os opérculos respiratórios cobertos por espessa muscilagem esbranquiçada. E' muito controvertida a bibliografia a respeito de toxicidade dêsse elemento. Enquanto que Affleck (1952) afirma ter verificado 54% de mortalidade em 628 trutas novas em 28 dias com apenas 0,01 ppm de Zinco proveniente de canos de ferro galvanizado, Kleerekoper (1946) verificou morte com Zn da mesma procedência, apenas na concentração de 5 a 10 ppm e Ruston (1925) afirma que 1.000 ppm de sulfato de zinco têm o mínimo efeito sobre trutas durante 1 dia (8). Em experiências atualmente em curso temos verificado morte de peixes

com concentrações entre 2 e 20 ppm em Zn dependendo da espécie, do composto de Zn empregado, bem como de outros fatores a saber: teor de O₂ e CO₂ da água, pH, outros íons em solução etc. Assim, por exemplo, parece estar demonstrado, por nossas experiências, que um peixe insensível à ação do cloreto de zinco, ou de outros metais pesados, na concentração de 5 ppm durante 7 dias ou mais, morre, entretanto, em 24 horas, se o ambiente fôr continuamente arejado.

Chumbo — Dados fornecidos por J. R. E. Jones (1938) e de Carpenter (1926) citam como causadores da morte de peixes doses situadas entre 0.1 e 0.4 ppm em Pb (8).

Parece que o efeito dos metais pesados sobre os peixes é de natureza quasi mecânica: estes metais têm a propriedade de coagular a musculagem protéica que recobre as brânquias dos animais, formando uma gelatina espessa que impede as trocas gasosas entre o sangue e a água. A morte se dá, pois, por asfixia. Nas experiências em curso, que acabamos de mencionar, temos verificado que, se colocarmos um pequeno peixe japonês em um recipiente de vidro com 2 litros de solução a 20 ppm de zinco, em que recebeu intoxicado antes um outro peixe de iguais dimensões, aquele sobrevive por tempo indefinido, demonstrando que essa água perdeu sua ação tóxica depois que matou o primeiro peixe. Verificamos, comparando-a a 2 litros de água sem zinco, na qual permanecera por tempo equivalente um outro peixe, que aquela se encontra muito mais turva. Filtrando-a em papel e procedendo a ensaios químicos indicadores de zinco verificamos que o metal já não existe na água filtrada, mas fica retido, juntamente com a musculagem coagulada, no papel filtro. Supomos como provável, entretanto, além da ação asfixiante, um efeito direto do zinco sobre o metabolismo do animal, possivelmente por intermédio da enzima respiratória.

A toxidez dos metais pesados para peixes assume importância muito grande, para o tratamento de águas, principalmente se considerarmos o fato de que as substâncias mais usadas como algicidas em águas para consumo público (que eventualmente serve aquíários e peixarias) são geralmente compostas de cobre e zinco.

VI — CONTRÔLE DE ORGANISMOS NAS ÁGUAS

Podemos dividir os processos de combate aos organismos (particularmente algas) nocivos ao tratamento ou às qualidades das águas de abastecimento, em dois tipos principais:

- a) Processos preventivos
- b) Processos corretivos.

a) Processos preventivos.

Através dos processos preventivos procuramos determinar os principais fatores em mínimo, ou fatores limitantes ao desenvolvimento dos organismos a fim de, na medida do possível, dificultar a formação de um ambiente ecológico propício à vida destes organismos. Assim, com referência às algas, por exemplo, procuramos limitar: a luz, a quantidade de fósforo e de nitrogênio etc. Para organismos animais limitamos, principalmente, as fontes de Oxigênio ou de alimento orgânico, por meio de limpezas nas margens dos rios etc. Muitas vezes, para a eliminação de larvas aquáticas como as do gênero *Simulium*, (Borrachudos) por exemplo, que se fixam em pontos de grande correnteza é suficiente diminuir a velocidade da água, na corredeira ou vertedouro em que se fixam, para desalojá-los, pois não mais terão, nesse

lugar, as quantidades de oxigênio que exigem para sua sobrevivência.

Em muitos casos de desenvolvimento excessivo de algas, a simples limitação da quantidade de fósforo e nitrogênio de origem orgânica (queda de folhas, adubos, esgoto etc.) pode solucionar o problema. Por essa razão, como veremos adiante, um dos grandes problemas no tratamento de esgoto consiste em conseguir meios para limitar a quantidade de sais de fósforo e nitrogênio no efluente tratado que é conduzido aos rios, pois, se assim não fôr feito, esse efluente criará condições excepcionalmente favoráveis ao desenvolvimento de algas nos rios, dificultando uma sua ulterior utilização como fonte de abastecimento de água.

Em outros casos, podemos limitar a quantidade de luz, cobrindo um reservatório, usando tubulação fechada, empregando elementos como a Nigrosina ou Carbono, por exemplo, de maneira a impedir maior penetração de raios luminosos. Muitas vezes podemos captar, em um lago, a água de um nível que contenha menor número de organismos, realizando a tomada no fundo, onde há menor penetração da luz, em lugar da utilização de vertedouro para aproveitamento da água de superfície. Nesse caso, verificamos, através de contagens em amostras procedentes de vários níveis, que o número de organismos por centímetro cúbico decresce com a profundidade, o que geralmente acontece, principalmente em lagos profundos ou de águas muito coloridas ou, ainda, quando se trata de algas que, ao acumularem substâncias de reserva ou, mesmo, bólbhas gasosas, têm seu peso específico diminuído, tendendo a se acumular na superfície. Isto acontece com muitas Cianofíceas, dando origem ao fenômeno conhecido como "*floração das águas*", comum em águas relativamente duras e que se caracteriza por um acúmulo de grandes massas de algas, chegando a formar camadas muito densas na superfície. Esse fenômeno se verifica com muita frequência em águas como as da Represa Billings, por exemplo, dotadas de um teor salino mais elevado, em virtude do lançamento de esgoto bruto ou tratado. Os processos preventivos apresentam geralmente, as seguintes vantagens:

1. São menos onerosos;
2. Não provocam desequilíbrios ecológicos;
3. Não prejudicam a potabilidade da água.

Entretanto, nem sempre são aplicáveis, pois exigem condições favoráveis quanto à topografia, facilidade de limpeza das margens, etc.

b) Processos corretivos.

Dos processos corretivos, os mais comuns são os que consistem no emprêgo de substâncias tóxicas.

Os principais tóxicos empregados são:

Algicidas:

Sulfato de cobre
Compostos de zinco
Cloro

Moluscocidas

Sulfato de cobre
Pentaclorofenato de sódio.
etc.

1. Aplicação das substâncias tóxicas aos organismos nocivos.

Não vamos entrar em minúcias e detalhes técnicos sobre a aplicação dos algicidas e outros que não constituem objeto desse limitado estudo. Apenas discutiremos, do ponto de vista estritamente biológico, a eficiência e as restrições obrigatórias ao emprêgo de cada um deles.

As principais limitações ao emprêgo de algicidas referem-se como é de se esperar, à quantidade em que deverão ser aplicados. Não deve exceder a um certo limite máximo em que se tornam tóxicos ao homem ou a peixes: não devem ser colocados em quantidades inferiores às que, efetivamente, se demonstram tóxicas às algas. Os limites máximos são facilmente verificáveis: em aquário, contendo peixes de várias espécies, aplicam-se doses crescentes da substância que se quer testar medindo-se o tempo que levam para produzir efeitos sobre os vários peixes. Esses testes são de simples realização em virtude de serem facilmente apreciáveis os efeitos sobre o peixe, que é um organismo visivelmente ativo. Qualquer alteração na sua fisiologia pode ser constatada, por exemplo, pelos batimentos respiratórios dos opérculos branquiais, pela sua locomoção, pela frequência com que se alimentam etc.

O mesmo não acontece, porém, com relação às algas, na determinação da dosagem mínima efetiva, pois estas nem sempre respondem com reações nítidas à ação do tóxico. Os processos mais comumente empregados consistem em fazer um meio de cultura ao qual se adicionam doses crescentes de algicida e em que são semeados os organismos. Verifica-se, então, estatisticamente, qual a concentração mínima que impede a reprodução do organismo em questão.

Do ponto de vista sanitário, entretanto, tais determinações, na maior parte das vezes, deixam de corresponder às necessidades práticas. Deve-se esperar que um organismo qualquer, colocado em um meio de cultura específico presente, sempre, em grau máximo, a sua capacidade de resistência aos tóxicos, uma vez que ali éle se encontra nas melhores condições de desenvolvimento, proporcionadas pelo teor ótimo de sais minerais, temperaturas, CO_2 , luz, pH etc. O mesmo, porém, não acontece quando esse organismo se encontra em seu habitat natural ou, ainda, sujeito às variações químicas de um decantador. Além disso, tais processos não permitem avaliar o tempo necessário de contacto com o algicida para que se produza a morte do organismo, uma vez que o tóxico é considerado como preventivo à sua reprodução e não como eliminador de organismos já existentes.

O ideal será, pois, em amostras da água a ser tratada, aplicar a substância tóxica em doses crescentes e verificar o tempo que levam para morrer os organismos nela contidos. Mas para isso devemos dar solução ao problema principal do processo: como saber se uma alga está morta ou viva? Temos encontrado várias soluções, uma para cada tipo de organismo considerado: ("Processos para se verificar em laboratório, a ação de substâncias tóxicas sobre algas" — Samuel Branco e Wilma C. Branco — Rev. DAE — n.º 32 (6)).

1. *Algas dotadas de movimento próprio (principalmente flageladas)* — Se colocarmos a água que as contém em um cristalizador, expondo-a à luz fraca, unilateral, os organismos caminharão rapidamente para a região mais iluminada, onde se concentram em tal número que, às vezes, se tornam perceptíveis à simples vista pela coloração (esverdeada ou avermelhada, conforme a alga) que comunicam à água nesse ponto. Quando em menor quantidade, poderá ser percebida a sua maior concentração desse lado por meio de contagens microscópicas em pontos diferentes do recipiente. Assim, quando a concentração do algicida (bem como o tempo de aplicação) for ótima, não verificaremos mais deslocamentos dos organismos.

2. *Algas de superfície, destituídas de movimento próprio.* — Verificado, por contagens sucessivas em

pontos diferentes, que as algas se acumulam, de preferência, na superfície coloca-se o algicida, realizando-se continuamente, novas contagens, até verificar um aumento progressivo de organismos no fundo, pois, geralmente, quando mortas se precipitam, uma vez que deixam de produzir gases ou outras substâncias que as mantêm com menor densidade.

3. *Algas imóveis, de fundo ou presas às margens, paredes de decantadores etc.* — Para essas algas podem ser utilizados dois processos diferentes: um baseado em critérios de natureza morfológica e outro com bases fisiológicas.

Critério morfológico: Observando a estrutura dos plastos ou do protoplasma celular. Verificamos que, quando a alga morre, muitas vezes surgem alterações nessas estruturas. Essas alterações dizem respeito principalmente à forma do plasto, bem como do aspecto do protoplasma celular. Há geralmente, deformação ou segmentação do cloroplasto, bem como formação de bôlhas ou vacuólos no interior da substância plasmática. Existem certas limitações para esse processo: Assim, por exemplo, devemos verificar, antes, se essas deformações não são reversíveis, isto é, se a alga não volta ao seu estado normal quando colocada, novamente, em água isenta de tóxico; além disso, como é óbvio, esse processo não se aplica às células cujo plasto tem forma irregular ou indefinida, bem como a algas cujo protoplasma é, naturalmente, muito vacuolizado.

Critério fisiológico — Sabemos que as algas, no seu processo de fotossíntese, retiram CO_2 da água em que vivem, elevando, assim o pH desta. Essa elevação de pH de uma água que contém algas só se verifica, portanto, quando as mesmas estão vivas. Procedemos, então, da seguinte maneira: Em recipientes grandes (como cristalizadores, por ex.) colocamos a água contendo algas e, em cada um deles determinada concentração do algicida a ser tratado. Periódicamente (3 em 3 horas, ou 5 em 5 horas) retiramos uma ou várias amostras de cada, que colocamos em tubos de ensaio. Adicionamos a esta certa quantidade de um corante, não tóxico, indicador de pH. Para cada um dos frascos, assim preparados, fazemos um frasco-contrôle, contendo a mesma quantidade de água, do mesmo pH e com a mesma quantidade do indicador (portanto, a mesma coloração). Em todos esses frascos deveremos colocar algumas gotas de óleo neutro afim de impedir a penetração de CO_2 do ar através da superfície. Colocando-se as amostras à luz natural ou artificial observaremos, depois de decorridas 12 horas, se houve alguma alteração na cor das amostras, em relação aos tubos contrôle. Se a coloração permanece constante é porque não houve fotossíntese e, portanto, as algas se encontram mortas. É interessante, entretanto, fazermos, também uma experiência destas com a água in-natura, sem algicida, a fim de verificar se a concentração de algas ali existente é suficientemente grande para produzir alteração do pH, sem o que a experiência não é realizável. Essa concentração poderá ser aumentada se eliminarmos parte da água por filtragem em funil de Sedgwick-Rafter. O corante indicador a ser empregado varia, naturalmente, com o pH da água em experiência e o tempo de observação não deverá nunca ser superior a 12 horas pois então iniciam-se processos de decomposição ou oxidação e, conseqüentemente, diminuição do pH.

2. *Análise, do ponto de vista dos efeitos biológicos que produzem, das principais substâncias empregadas como algicidas:*

1. *Sulfato de cobre.* É um poderoso algicida e, talvez, o mais usado: em doses geralmente inferiores a 1 ppm é suficientemente tóxico para a maioria das

algas. As doses empregadas em água de abastecimento variam, em geral, entre 0,1 e 0,5 ppm. Suas principais limitações estão no preço, que é bastante elevado, e no alto grau de toxidez que apresentam a peixes, como já foi visto.

2. *Cloro*. É muito eficiente, como algicida, para muitos gêneros de algas. Entretanto, muitas delas, quando atacadas por essa substância, desprendem mau gosto ou mau cheiro resultantes da formação de compostos tais como clorofenóis. Assim por exemplo, *Staurostrum*, *Gonyaulax*, *Synedra* e outros gêneros dão gosto de terra ou de peixe à água, quando clorada. A solução para esse fenômeno consiste em empregar uma dosagem muito maior de cloro, procedendo-se, assim, à Super cloração ou cloração ao "break-point", de maneira a cobrir a demanda de cloro exigida pela água e substâncias odoríferas, em sua oxidação total. Esse processo, entretanto, como se pode imaginar, torna-se dispendioso: já a própria pré-coloração é por si dispendiosa, pois, geralmente, as águas brutas apresentam alta demanda de cloro.

3. *Compostos de Zinco*. O mais eficiente é um composto orgânico, o *Dimetilditio-carbamato de Zinco* (Z D D) que age em quantidades até inferiores a 0,01 ppm em certas algas, como *Microcystis*, por exemplo. Sua eficiência, entretanto, para as algas em geral é obtida com 0,2 ppm. As principais limitações ao uso deste algicida estão no seu alto preço bem como no seu alto grau de toxidez para peixes. Em experiências que temos realizado com um produto comercial da Rhodia (Rhodiazinc) que possui 50% deste composto, verificamos ser mortal para peixes em doses inferiores a 0,01 ppm (em Dimetil carbamato). Pode ser utilizado, entretanto, em sistemas limitados e fechados, como exemplo, de água para refrigeração etc.

4. *Compostos de Ureia*. Principalmente o *3p-cloro-fenol* — *1,1 dimetil ureia* (C M U). Muito eficaz e inócuo para animais, porém, muito tóxico para outros vegetais, como árvores, arbustos e gramados.

5. *Antibióticos*. Muito eficientes em doses tão pequenas como 0,015 ppm., principalmente para cianofíceas. Os mais ativos são: *Sterptomycin*, *Neomicina*, *Terramicina* usados para cianofíceas e *Actidiona* para clorofíceas e Diatomáceas. Sua principal limitação está no alto preço. Pensa-se em cultivar *Streptomycetes*, que são os fungos de que provém a *Sterptomycin*, nos reservatórios onde há infestação de algas, a fim de produzir um equilíbrio biológico entre ambos. Este é, porém, um problema para o futuro (Evaluation of New Algicides for Water Supply Purposes — C. Merwin Palmer (20)).

Outra substância que poderá ser estudada como algicida poderoso é a *Clorelina*, substância isolada de culturas de algas do gênero *Chlorella* e que impede a sua proliferação acima de certa concentração, constituindo, assim, um fator que determina uma auto-inibição das algas em meio de cultura e que impossibilita a super-população do meio. Desconhece-se a natureza química desta substância que será, com toda certeza, uma solução para o futuro.

6. *Utilização de peixes, no combate às algas*. Principalmente a carpa e a *Tilapia* alimentam-se de grandes quantidades de algas. Em geral, porém, alimentam-se, de preferência, de algas filamentosas ou de plantas aquáticas superiores. A *Tilapia milanopleura* (única que possuímos no Brasil) foi introduzida do Congo Belga, há alguns anos, com a finalidade principal de destruir plantas superiores, como o conhecido Aguapé (*Eichornia*) que enormes prejuízos traz à navegação fluvial, ao aproveitamento hidro-elétrico etc. das águas doces. Essa espécie, embora micrófaga

nos seus primeiros estágios de vida, passa a alimentar-se entretanto, quando adulta, exclusivamente de plantas superiores, sendo muito útil na sua destruição. Existem, entretanto (segundo nos informa Marcel Huet — "Dix années de Pisciculture au Congo belge et au Ruanda-Urundi" (10)) três espécies de *Tilapia* exclusivamente micrófagas, durante toda a sua vida: *T. macrochir*, *T. nilotica* e *T. andersoni*, de fácil introdução, uma vez que sua adaptação ao nosso meio não envolve problemas de aclimação.

7. *Ação oligodinâmica do cobre e outros metais*. Em 1893 Carl Von Nageli verificou que filamentos da alga *Spirogyra*, submetidas à presença de partículas de certos metais, morriam, sendo essa morte precedida de modificações na estrutura do protoplasma celular e chamou de *Ação Oligodinâmica* ao processo. Posteriormente, muitas experiências e, inclusive, aplicações práticas, têm sido feitas desse fenômeno, com relação às bactérias, especialmente as patogênicas, utilizando-se principalmente a prata como agente oligodinâmico. ("Bacterial Chemistry and Physiology" de John Roger Peter (21)). Com efeito, em experiências por nós praticadas, em laboratório, temos verificado que as algas morrem quando em contacto direto ou nas imediações de certos metais em água. Assim, se em cultura de algas do gênero *Chlamydomonas* (algas unicelulares, microscópicas, dotadas de movimento próprio) colocamos uma pequena partícula de cobre, veremos, após alguns minutos, a formação em torno do metal, de um halo verde que, se verificarmos ao microscópio, é constituído de milhares de indivíduos mortos que, para ali caminharam, parece que por orientação quimiotática. O mesmo se verificou, em menor escala, com a prata, o mercúrio e alguns outros metais. Infelizmente essa ação (que parece ser de natureza iônica, segundo demonstrou Senderling, provando por meio de raios X a dissolução dos metais em água) é muito restrita, exigindo uma estreita contiguidade entre o metal e a alga. Na prática somente pode ser usada nos casos em que não desejamos a fixação de algas filamentosas em determinados pontos dos aparelhos de tratamento. Nesse caso, a colocação de uma lâmina de cobre nesse ponto poderá solucionar o problema.

VII — TRATAMENTO BIOLÓGICO DO ESGOTO

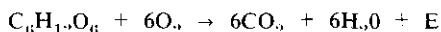
A) *Purificação natural ou autopurificação do esgoto*

Sabemos que o esgoto lançado em um curso de água sofre um processo natural de purificação, que se realiza principalmente pela digestão bacteriana seguida da oxidação causada pela aeração normal, através da superfície da água em contacto com a atmosfera, como também pela produção de oxigênio a partir da fotossíntese realizada por vegetais, especialmente algas.

Podemos reconhecer 3 ou 4 zonas distintas, ao longo dessa corrente em fase de purificação, segundo o grau de poluição existente caracterizada, principalmente, pela quantidade de oxigênio dissolvido ou pela demanda de oxigênio reinante. As características dessas zonas podem ser assim resumidas (seg. G. C. Whipple: "Microscopy of Drinking Water" (33) e outros).

1. *Zona de Degradação*. No ponto em que é lançada a água do efluente de esgoto, a água torna-se cinzenta, sendo impossível a penetração da luz. Grandes quantidades de lodo orgânico se depositam no fundo, onde entram em processo de lenta decomposição. Nas circunvizinhanças do ponto de despejo podem, ainda, existir peixes, que se alimentam da matéria orgânica lançada: mas logo se inicia a decomposição bacteriana. A ação destas bactérias se

caracteriza, então, por um grande consumo de oxigênio e aumento de gás carbônico. Aparecem, então, nessa zona pobre em oxigênio dissolvido, bactérias gigantes, ou "bactérias de esgoto", formando densas massas que cobrem as pedras ou quaisquer objetos do fundo. Tais são principalmente, os gêneros: *Sphaerotilus*, *Leptominus* e *Achlya*. Fragmentos destes se destacam, indo fixar-se mais adiante, proliferando com grande rapidez. Estes organismos absorvem o oxigênio e desintegram o material de esgoto, pois, utilizando-se de enzimas ou bio-catalizadores que possuem, são capazes de transformar moléculas complexas, tais como proteínas, gorduras etc. em compostos mais simples, como sais minerais, que são desprezados na maior parte, e açúcares que fazem reagir com o oxigênio, transformando em compostos simples como CO_2 e H_2O :



Esses organismos vivem em ambiente com saturação de oxigênio inferior a 45%. São encontrados ainda nessa região inicial, em que a quantidade de oxigênio é relativamente alta, ciliados como: *Carchesium*, *Epistylis* e *Vorticela*. O desenvolvimento de algas é limitado pela pouca penetração da luz. Assim mesmo, nas margens e sobre pedras, podem ser encontrados gêneros como *Stigeoclonium Oscillatoria* e *Ulothrix*.

No fundo, sobre os bancos de lodo que se formam, desenvolvem-se alguns organismos animais. Considerando-se que muitas toneladas de material sólido podem ser depositados por dia, podemos perceber que tais animais precisam ser capazes de viver com um mínimo de oxigênio dissolvido ou possuírem mecanismos especiais para obtê-lo; serem resistentes à ação tóxica do H_2S e não sofrerem com o serem constantemente enterrados vivos ou capazes de, permanentemente, habitarem a última camada sedimentada. Satisfazem esses requisitos, vermes *Oligoquetas* vermelhos, *Tubificidae*, como: *Limnodrilus* e *Tubifex*; larvas de insetos, como *Eristalis* que dispõem de um enorme tubo respiratório, sendo por isso chamados "cauda de rato".

Vemos, pois, que ao longo dessa zona de alta poluição não existe, ainda, ambiente anaeróbio, pois o limite mínimo de oxigênio é de 40% de saturação (ou 3,5 ppm).

2. *Zona de decomposição ativa.* Inicia-se com 40% de saturação de oxigênio; os processos oxidativos, porém, prosseguem e, na sua região média, esta zona se caracteriza pela ausência total ou quase total de oxigênio, para depois readquiri-lo, aos poucos, do ar, ou de plantas fotossintetizantes, até, novamente, atingir 40%, quando se inicia a 3.^a zona.

A água é cinzenta. Os depósitos de lodo são negros e fétidos, evoluindo-se deles, constantemente, bolhas de gás, principalmente durante as épocas de maior calor. Enquanto existe oxigênio prossegue a decomposição aeróbica. À medida, porém, que este acaba, os organismos aeróbios vão sendo, gradativamente substituídos pelos anaeróbios, iniciando-se os processos de putrefação. Há aumento do CO_2 , formação de grandes quantidades de amônia e nitratos, enquanto que os nitratos são quase ausentes.

Na porção inicial dessa zona encontramos, ainda, grande número de bactérias aeróbias. Na porção média somente anaeróbias e, depois, à medida que se processa a reeração e consequente balanceamento do BOD, surgem, novamente, aeróbios. A mesma sequência seguem os protozoários. Há entretanto, um grande aumento dos que se alimentam de bactérias, nas regiões baixas dessa zona. *Sphaerotilus* também não sobrevivem nas regiões absolutamente sépticas. O mesmo acontece com os vermes *Tubificidae*. Dos ani-

mais, apenas o *Eristalis* e *Psychoda* são mais resistentes à falta de oxigênio. Vegetais fotossintetizantes somente aparecem na região de re-oxidação e, então, começam a ter papel importante no processo, produzindo grandes quantidades de oxigênio. As grandes quantidades de fosfatos e nitrato de amônia que se formam, como resultado da degradação orgânica, fertilizam de maneira extraordinária a água, originando, na parte final dessa zona e início da zona seguinte, utilização de maneira extraordinária a água, originando, intensamente as águas. Nessas regiões aparecem, então, enormes flutuações do oxigênio dissolvido. "Não é raro verificar-se a super-saturação durante a tarde avançada, seguida pela exaustão do oxigênio, pela manhã, antes do sol nascer. O significado do critério do oxigênio dissolvido precisa, então, ser interpretado de acordo" (A. F. Bartsch — "Biological Aspects of Water supply, Water pollution control and Waste disposal" (2)).

3. *Zona de Recuperação.* Apresenta-se com uma sequência oposta à da zona de Degradação. Inicia-se com 40% de saturação de oxigênio, que aumenta até à completa saturação depois que todo o BOD foi satisfeito. Caracteriza-se pelo clareamento gradativo da água, depósitos do fundo sem cheiro e ausência de bolhas de gás; redução do CO_2 ; amônia em pequenas quantidades; aumenta a quantidade de nitratos e nitratos — é a zona de mineralização.

Diminui, nessa zona, a frequência de bactérias, à medida que são consumidos os alimentos que necessitam. Essa diminuição é, também, causada pela proliferação intensa de organismos predadores, tais como protozoários, os quais, por sua vez, são devorados por rotíferos, crustáceos e outros animais microscópicos. *Sphaerotilus* e outros também desaparecem gradativamente. Algas azuis e verdes reaparecem, exuberantes, como já dissemos, graças às grandes quantidades de sais de fósforo e nitrogênio formados no processo de mineralização. As algas diatomáceas só no fim dessa zona se tornam numerosas. Reaparecem as plantas aquáticas superiores, *Tubificidae* e alguns *Chironomidae*. Aparecem, no fundo, os primeiros peixes, mais tolerantes.

4. *Zona de águas limpas.* Flora e fauna normais dos rios. Predominam plantas verdes, grandes e pequenas. Escassos microorganismos, principalmente rotíferos e crustáceos. Odonata, Ephemeroptera e alguns Diptera, são os insetos característicos de águas limpas. Peixes.

Vemos, assim, que esse processo natural de purificação do esgoto consiste, principalmente, na degradação e oxidação de matérias complexas, nele tomando parte ativa vários tipos de organismos: Bactérias, decompondo, por meio de enzimas digestivas, a matéria orgânica; algas, provendo o ambiente de oxigênio com que se realizam todos os processos oxidativos; organismos animais que, devorando as bactérias "estimulam" a sua multiplicação.

B) Purificação artificial ou tratamento de esgotos

a) Generalidades.

"O tratamento moderno de Esgoto é uma combinação de processos para restringir a um pequeno espaço e em velocidade acelerada, todos os processos físicos, químicos e biológicos que, de outra forma, poderiam ser realizados em uma longa extensão de uma correnteza" (A. F. Bartsch: trab. cit. (2)).

Em geral, o tratamento biológico do esgoto é precedido de uma fase primária, física ou anaeróbia, cuja finalidade é promover a retirada do material grosseiro, sedimentável, que será então, afastado ou digerido em meio anaeróbio. No presente estudo,

entretanto, não nos iremos preocupar com essa fase inicial restringindo-nos, apenas, a comentar alguns dos aspectos mais importantes, do ponto de vista biológico, do tratamento secundário, do qual omitiremos, igualmente, considerações de ordem técnica, que não digam respeito, diretamente, aos processos biológicos.

Se a finalidade do tratamento é, essencialmente, acelerar, em espaços reduzidos, aquêles processos biológicos que se verificam, naturalmente, no espaço irrestrito de uma correnteza, devemos nos preocupar, nêle, principalmente em fornecer as melhores condições ecológicas que favoreçam, ao máximo, a reprodução e a atividade dos organismos envolvidos no processo. Estas condições são:

1. *Nutrição.* É condição essencial que os organismos encontrem meios de subsistência, no material de esgoto a ser tratado. São necessárias, para as bactérias, substâncias como: Substâncias orgânicas ternárias e quaternárias, além de componentes inorgânicos, tais como sais minerais e água.

Os animais tem, mais ou menos, as mesmas exigências.

As algas exigem apenas sais minerais, gás carbônico e luz.

2. *Respiração.* Para o processo aeróbico é necessário que haja uma fonte de oxigênio, que será o D. O. da água servida ou O₂ fornecido por insuflação artificial.

3. *Estimulação.* As bactérias, como sabemos, reproduzem-se por bipartição. Se considerarmos a fase de reprodução mais intensa (fase logarítmica de crescimento), com as condições mais adequadas ao processo, teremos que: "o número de bactérias (b), após um certo tempo (t) é dado pela expressão:

$$b = B \cdot 2^n$$

em que B é o número inicial e n o número de gerações durante o tempo t" (Otto Bier — "Bacteriologia e Imunologia" — 1951). Ora, supondo-se que as divisões se façam de meia em meia hora, o que é comum e, partindo de uma única bactéria teremos, em pouco mais de 2 dias e meio (ou sejam, 64 horas) 128 gerações, sendo o número de bactérias:

$$b = 1 \times 2^{128} \text{ ou: } b = 2^{128}$$

Suponhamos um bacilo com um diâmetro aproximado de 1 μ e um comprimento de 4 μ . Podemos

compará-lo a um cilindro, cujo volume, $\frac{\pi D^2 h}{4}$ seria:

$$\frac{3,14 \times 1 \mu^2 \times 4 \mu}{4} \cong 3 \mu^3$$

Teremos, então, que:

$$3 \mu^3 \times 2^{128} = \text{volume total das bactérias.}$$

Para o respectivo cálculo, tomemos os logarítmicos dos dois membros:

$$\log(3 \mu^3 \times 2^{128}) = \log. \text{ volume procurado.}$$

Isso é:

$$\log 3 \mu^3 + 128 \log 2 = \log. \text{ vol. procurado.}$$

Ou, ainda:

$$(\log. 3 + 128 \log. 2) \mu^3 = \log. \text{ vol. procurado.}$$

Resolvendo:

$$(0,477 + 128 \times 0,301) \mu^3 = 39.009 \mu^3$$

$$\text{Antilog de } 39.009 \mu^3 \cong 10^{3,9} \mu^3 \text{ ou } 10^{12} \text{ Km}^3.$$

Portanto, o volume total de bactérias depois de decorridos pouco mais de dois dias e meio de reprodução livre, será da ordem de um trilhão de quilômetros cúbicos, o que é equivalente ao volume do globo terrestre.

Evidentemente, isso não acontece. O principal fator limitante ao desenvolvimento das bactérias é constituído pela fonte de alimentos. Além dêsse, entretanto, existem outros: uma população de bactérias, em ambiente favorável, desenvolve-se até um certo número teto, que não é excedido. Existem auto inibidores ao seu desenvolvimento que agem, provavelmente por intermédio da limitação de sua capacidade assimiladora. Assim, quando atingem concentrações como 50.000.000 por centímetro cúbico, no esgoto, tornam-se pouco produtivas, tanto na oxidação de materiais, quanto, conseqüentemente, na sua própria manutenção. É necessário que se mantenham abaixo da população teto, para que permaneçam em máxima produtividade. Organismos predadores, tais como muitos protozoários (especialmente ciliados), realizam essa função estimulando, por assim dizer, a sua proliferação.

b) *Biologia dos principais tipos de tratamento de Esgoto.*

1. *Leitos de contacto e filtros biológicos.* Um processo simples de tratamento consiste em lançá-lo sobre uma extensa área de terra. Adere, então, às partículas do solo, sofrendo intensa oxidação, quer pela grande superfície de contacto com o ar, quer pela ação de microorganismos da terra, especialmente bactérias que, além de formarem material gelatinoso, capaz de adsorver partículas do esgoto, promovem, ainda, a oxidação destas partículas, por meio de enzimas que possuem no seu interior ou que segregam para o meio. Esse processo, entretanto, para um maior volume de esgoto, exigiria enormes áreas de terra o que, evidentemente, não é sempre possível. Procurou-se, então, reduzir essa área, utilizando leitos artificiais, adsorventes, providos de intensa aeração. São os chamados *leitos de contacto*, constituídos de câmaras de superfície áspera, em contacto com o qual o esgoto permanece durante certo tempo, sofrendo insuflação de ar, por meio de compressores e os *filtros biológicos* em que o esgoto é aspergido continuamente (sofrendo nêsse processo, já, intensa aeração) sobre uma espessa camada de pedregulho, sobre o qual aderem as bactérias e outros organismos que constituem a massa gelatinosa com ação adsorvente.

São necessários, para bom funcionamento do sistema, os seguintes requisitos:

Tempo para início da ação oxidante por meio de bactérias;

Superfície com grande poder adsorvente e porosa, a fim de reter grande quantidade de Oxigênio, permitir a formação de colônias microbianas e opôr resistência ao arrastamento da matéria adsorvida pela corrente de água, no esvaziamento da câmara, ou durante todo o processo, no caso dos filtros biológicos;

Sendo a matéria adsorvente constituída essencialmente de substância coloidal originada pelas bactérias que habitam o leito, é necessária a continuidade do processo, a fim de não serem destruídas as colô-

nias bacterianas formadas, bem como para obter o máximo de rendimento;

Facilidade de acesso do oxigênio e saída do gás carbônico formado;

Natureza da água, tempo de contacto etc.

Durante o processo, as bactérias aeróbias, em contacto com o ar circulante nos interstícios do material poroso ou dos cascalhos, oxidam a matéria orgânica complexa, transformando-a em matéria não putrescível. Concorrem para a oxidação, também, vermes e outros organismos que se nutrem de matéria orgânica. Entretanto, sendo as bactérias os principais organismos envolvidos no processo, vamos mencionar os requisitos essenciais para a sua máxima produtividade. O esgoto contém, naturalmente, grande quantidade de substâncias orgânicas e inorgânicas necessárias à sua nutrição. Entre estas, devem-se encontrar: Açúcares, Gorduras, Proteínas e sais minerais, tais como Nitratos, Nitratos e Fosfatos, além de sais de amônia. Todas essas substâncias são conduzidas, no esgoto, em suspensão, solução ou sob forma coloidal. Assim sendo, "todos os métodos biológicos de tratamento de esgotos dependem, antes de tudo, da capacidade dos microorganismos para obter alimento da água servida e produzir filmes gelatinosos, contendo os organismos, isto é, *zoogleia*". Assim, por exemplo, a bactéria denominada *Zooglea ramigira*, é uma das mais produtivas nesse sentido, graças à espessa bainha gelatinosa que forma, em torno de si, de tal maneira que essas bactérias, em conjunto, constituem uma película de gelatina revestindo o substrato sólido à que se fixam; por outro lado, a bactéria chamada *Sphaerotilus natans*, embora capaz de oxidar grandes quantidades de material orgânico, é de pequena utilidade nesse processo, em virtude da sua quase nula capacidade de produzir gelatina, sendo, mesmo, nociva ao tratamento por lodos ativados, por razões que comentaremos adiante.

Em resumo: as bactérias adsorvem, floculam, precipitam e absorvem matéria dissolvida e partículas no filme, eliminando, para a água, produtos finais, como: Gás carbônico, NO_2 , NO_3 , SO_4 etc. etc. Isto é possível, como já dissemos, por causa da capacidade que possuem de transformar, por meio de enzimas, moléculas complexas em outras mais simples e, além disso, oxidar estas últimas, utilizando-se de oxigênio proveniente do próprio esgoto ou do ar insuflado. Além de alimento é necessário manterem-se, pois, as bactérias, em contínua atividade e reprodução, além de conseguirem, facilmente, o oxigênio em grande quantidade.

2. *Lodos ativados.* Pode-se utilizar, como substrato para a fixação dos organismos formadores de *zoogleia*, em vez de paredes ásperas, material poroso ou cascalhos, as próprias partículas de material fino, sedimentável, que constitui o lodo do esgoto. Quando submetemos o lodo a uma intensa aeração forma-se, sobre as suas partículas, uma grande população bacteriana, aeróbia, dando origem a "flocos" dotados de grande ação oxidante sobre o material orgânico bem como de grande capacidade de adsorção, graças ao filme gelatinoso produzido pelas bactérias. Nesses flocos encontramos, em geral, além de muitas variedades de *Zooglea ramigira*, protozoários como *Vorticella* e outros que as mantêm em franca reprodução. Além disso, obtém-se uma alta taxa de multiplicação por meio da eliminação freqüente, que se pratica, de parte do lodo.

Como já tivemos oportunidade de referir, existem bactérias (*Sphaerotilus natans*) que, embora capazes de oxidar material de esgoto, podem exercer influências nocivas, particularmente sobre os lodos ativados. O *Sphaerotilus* aparece, com freqüência, em esgotos que possuem dosagem elevada de carboidratos (Jan

Smit — "Bulking of activated sludge" (28) — James B. Lackey e Elsie Wattie — "The biology of *S. natans* in relation to bulking" (16) — E. H. Morgan e A. S. Beck — "Carbhydrate Wastes Stimulate Growth of Organisms" (19) e outros), dando origem ao conhecido fenômeno do "bulking" dos lodos ativados. De fato, tais bactérias são também, capazes de formar flocos ativos, capazes de remover turbidez e BOD do esgoto, ainda que com menor intensidade que a *Zooglea* (M. L. Littman — "Carbon and nitrogen transformations by activated sludge process, with a culture of *Sphaerotilus*" (17)). Porém, ao que parece, tais flocos possuem menor densidade que os comuns, sobrenadando nos decantadores, ao invés de sedimentarem-se. Várias tentativas têm sido feitas, visando a eliminação de tais organismos do esgoto em lodos ativados, utilizando-se substâncias como o Cobre, sob forma de Sulfato de Cobre (E. H. Morgan e A. J. Beck, *trab. cit.*) ou de Malaquita ($\text{CO}_3(\text{OH})_2\text{Cu}_2$) (J. Lackey e E. Wattie, *trab. cit.*). Atualmente parece ser mais indicado o combate por meio do Cloro (*idem*). Em experiência que temos realizado em laboratório, chegamos à conclusão de que a aeração contínua do material de esgoto produz redução do número de *Sphaerotilus*, além de melhorar as condições, com respeito à formação do "bulking", e pudemos verificar que C. C. Ruchhof e J. H. Watkins ("Bacterial Study of Filamentous Organisms in Activated Sludge" (22)) bem como E. H. Morgan e A. S. Beck (*trab. cit.*) favorecem essa opinião também baseados apenas em experiências de laboratório.

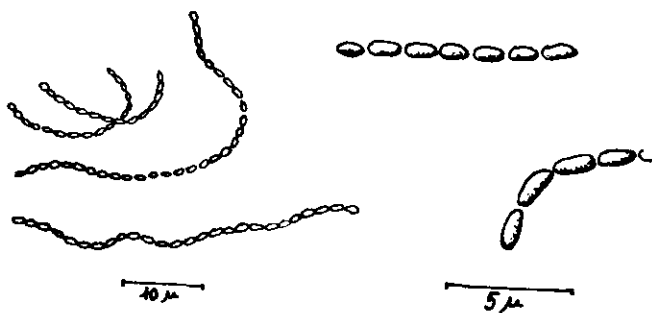
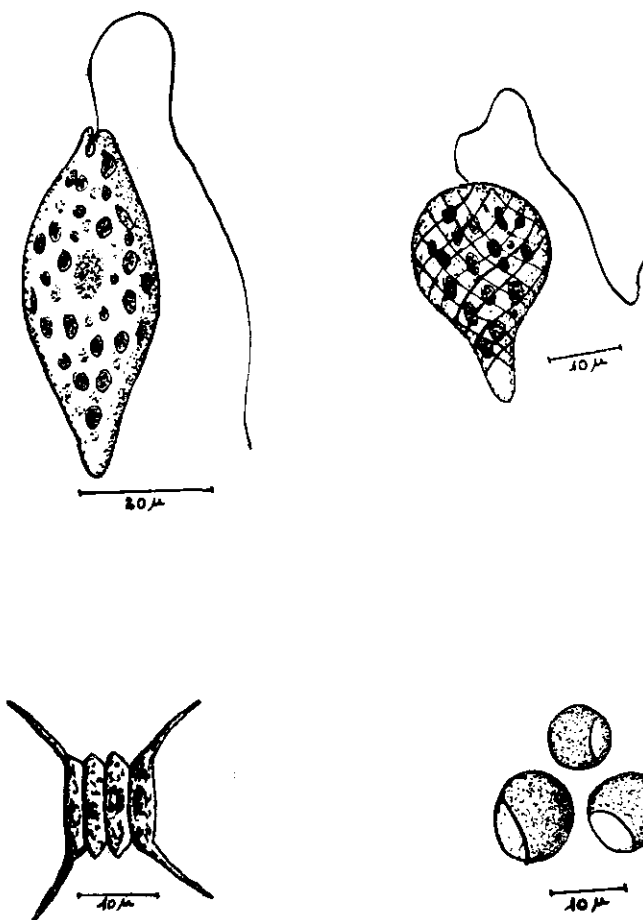
3. *Lagoas de estabilização ou de oxidação.* Em algumas cidades da Alemanha tem sido aplicado um processo, denominado "Sistema Hoffer" que procura repetir, em menor espaço, todos os processos depurativos que se verificam naturalmente, ao longo de um rio. "Consiste em submeter a água, isenta de corpos grosseiros em suspensão e contendo, ainda, matérias orgânicas dissolvidas e insolúveis, à ação sucessiva de uma série de organismos inferiores, vegetais e animais, bactérias e algas, vermes, crustáceos, larvas de insectos, moluscos etc. que, servindo de nutrição aos peixes, transformam, finalmente, esta matéria em carne de peixe. Atinge-se, assim, à dupla finalidade de uma depuração biológica intensa e de uma recuperação das águas residuais" (M. Diénert. — "Cours d'épuration des eaux et assainissement des cours d'eau" (7)). Apenas a título de curiosidade, alguns dados sobre uma experiência desse tipo, realizada em Strasbourg, citam que centenas de peixes, especialmente carpas, inicialmente com 329 gr. de peso médio, tiveram seu peso aumentado, em 7 meses de 1.200 gr. em média!

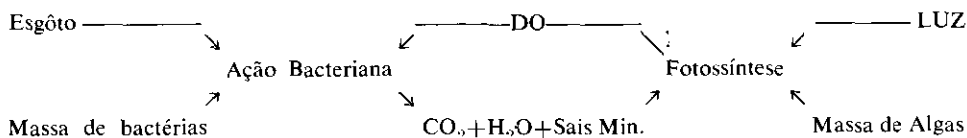
Mais recentemente, verificando-se que os principais responsáveis pela purificação dos esgotos, os que a realizam em maior escala são as bactérias, decompondo a matéria orgânica e as algas, fornecendo oxigênio para essas reações, criou-se um sistema mais simples, largamente empregado e de pequeno custo, em que intervêm apenas esses dois tipos de organismos: o processo das lagoas de estabilização.

O mecanismo da estabilização consiste, pois, no seguinte:

I — As bactérias aeróbias, utilizando-se de suas enzimas e de processos oxidativos em grande escala, agem sobre a matéria orgânica, decompondo-a em moléculas mais simples e mais estáveis: liberam nutrientes de algas, tais como CO_2 e sais minerais.

II — As algas utilizam os nutrientes e, através da fotossíntese, liberam oxigênio que ajuda a manter as condições aeróbias;

FIG. 8 — Colônias filamentosas de *Sphaerotilus*FIG. 9 — Algumas das algas freqüentemente encontradas nas lagoas de estabilização. Da esq. para a dir.: em cima: *Euglena* e *Phacus*; em baixo: *Scenedesmus* e *Chlorella*.



O processo pode ser descrito, em linhas gerais, da seguinte maneira:

O esgoto sofre, via de regra, um tratamento primário a fim de isentar-se do material sedimentável. Em seguida é lançado a uma série de lagoas rasas, onde se inicia intensa ação bacteriana. Essas bactérias são aeróbias e, por isso, necessitam uma fonte de oxigênio que, nesse caso, não é insuflado mas sim fornecido por organismos fotossintetizantes que, como já vimos, desprendem muito mais oxigênio, resultante da fotossíntese, do que o que necessitam para seu próprio metabolismo.

Esses vegetais são, principalmente, algas, unicelulares, dotadas de movimento próprio (especialmente flagelados), além de alguns gêneros filamentosos fixos que, por existirem em muito menor número, têm, relativamente, pouca importância no processo. Utilizam-se elas, para sua síntese orgânica, de CO_2 formado, em grande quantidade, pelas bactérias nos processos de degradação da matéria orgânica, bem como de pequena parte dos sais minerais que se originam, também, dessa decomposição. Estabelece-se, assim, um ciclo, em que temos, de um lado, as algas constantemente construindo matéria orgânica a partir do CO_2 liberado pelas bactérias, e do outro, bactérias, continuamente destruindo matéria orgânica, utilizando, para isso, o oxigênio produzido pelas algas. Nesse processo, constituem pois, fatores limitantes: a ação bacteriana o oxigênio e a fotossíntese o CO_2 e luz, sendo de importância primária, nêle, um máximo desenvolvimento de algas. Tem sido, mesmo, observado (seg. Paul C. Silva e G. Papenfuss — "Systematic Study of the Algae of Sewage Oxidation Ponds" (27)) que o número de algas, o qual pode ser avaliado através da intensidade da cor verde da lagoa, é diretamente proporcional ao DO e inversamente ao mau cheiro, à septicidade e ao BOD do efluente. Do mesmo modo, o melhor desenvolvimento de algas é obtido na razão da atividade bacteriana.

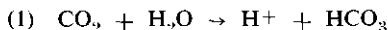
A fim de permitir um máximo de produtividade, torna-se necessário, portanto, um perfeito conhecimento da flora algológica, bem como dos fatores físicos, químicos e estacionais que influenciam a sua ecologia. Paul C. Silva e George F. Papenfuss, da Universidade da Califórnia, realizaram uma pesquisa completa sobre as condições ecológicas vigentes, em algumas dessas lagoas, chegando à conclusão de que os fatores já apontados no presente trabalho, conhecidos na fisiologia e limnologia como preponderantes na ecologia das algas, exercem, aqui, sua influência da seguinte maneira:

Luz — A fim de permitir um máximo de desenvolvimento das algas torna-se necessário, como vimos, proporcionar-lhes grande quantidade de luz, isto é, a intensidade bem como a penetrabilidade desta têm importância fundamental, havendo, pois, variações no comportamento das algas condicionadas aos fatores estacionais, às horas do dia etc.

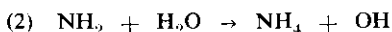
Temperatura — Além de exercer influência sobre o valor da saturação de oxigênio (DO) produz efeitos, também, na taxa de fotossíntese.

pH — A flutuação do pH exerce influência muito grande. Este varia, durante as horas do dia e nas várias fases do processo. Assim é que, ao meio dia, podemos ter, nos várias lagoas sucessivas por que passa a água, um gradiente variando, por exemplo, entre 7 e 9,5. Além disso há uma variação estacional desse gradiente: no Inverno, na estação de

Concord, verifica-se ao meio dia, um gradiente de pH variando entre 7,0 (na entrada do esgoto clarificado) e 7,9 (no efluente da sexta lagoa); No verão essa variação, à mesma hora, é de 7,3 a 9,6, respectivamente. O pH sendo, no caso, u'a medida da quantidade de ácido carbônico dissociado, torna-se medida indireta da oxidação biológica e pode, também, ser correlacionado com diferenças qualitativas na flora algológica. "Em dois importantes aspectos o efeito do metabolismo das algas sobre o pH opera em direção oposta ao metabolismo das bactérias. No metabolismo das bactérias (ou outro qualquer organismo heterotrófico) o CO_2 e a Amônia são evoluídos, dando origem à formação de vários ácidos orgânicos. Uma parte do CO_2 se une quimicamente à água e baixa o pH, de acordo com a equação:



A amônia, por outro lado, eleva o pH, da seguinte maneira:



O efeito da primeira reação é, entretanto, muito maior que o da segunda. Os ácidos orgânicos, baixam o pH. Na fotossíntese, as algas removem o CO_2 da água, invertendo a equação (1) e elevando o pH. Na síntese de proteínas, as algas removem a amônia da água, invertendo a equação (2) e baixam o pH. O efeito da primeira reação é muito maior que o da segunda".

Outros fatores podem, ainda, interferir, como por exemplo, ventos, promovendo a reaeração das lagoas etc.

No processo de tratamento citado há, pois, através de fotossínteses, fixação de grandes quantidades de carbono proveniente do CO_2 e armazenamento deste sob a forma de compostos complexos, como hidratos de carbono lipídios e proteínas. Em outras palavras, realiza-se um grande armazenamento de energia utilizável, proveniente da transformação de energia solar. Isto faz pensar em seu aproveitamento como fonte de alimento para animais, principalmente se levarmos em conta o alto conteúdo de proteínas que geralmente possuem as algas planctônicas.

c) *O problema do fósforo e nitrogênio nos efluentes de esgoto tratado.*

Já nos referimos a este fato, em páginas anteriores: tem sido verificado, através de inúmeras pesquisas, em rios e lagos que recebem efluentes de estações de tratamento de esgoto, o desenvolvimento de intensa atividade biológica, freqüentemente caracterizada por um grande desenvolvimento de algas, durante certos períodos do ano. Esse fato é confirmado por inúmeros autores: Clair N. Sawyer ("Biological engineering in Sewage Treatment" (24) — Sawyer e J. B. Lackey ("Plankton productivity of certain South-Eastern Wisconsin Lakes as related to fertilization" (25) — A. Bartsch (trab. cit. (2) e muitos outros). Citam-se como exemplo clássico, o verificado em uma série de lagos do Wisconsin: lagos Mendota, Monona, Waubesa e Kegonsa, que recebiam efluentes de Estações de Tratamento de esgotos. Surgiu, ali, o fenômeno da "floração das águas", com algas que, ao se depositarem nas margens apodreciam, produzindo intenso mau cheiro. As circunstâncias se agravaram ainda mais porque a população das cidades ribeirinhas, tomando o

cheiro por esgoto, fez com que a Câmara Legislativa local proibisse, por meio de lei, o lançamento dos efluentes tratados nos referidos lagos ficando, assim, as Estações de Tratamento sem poder lançar as águas, despidas dos resíduos orgânicos. O Governador do Estado, entretanto, vetou a lei, criando uma comissão científica que realizou estudos hidrobiológicos, verificando que o aumento do teor de fósforo e nitrogênio era a causa do distúrbio, passando a exigir a remoção desses elementos dos efluentes de Estações de Tratamento.

Fato idêntico verificou-se no lago Zoar, em Connecticut. Nesse lago verificou-se que a desusada proliferação de *Microcystis*, *Anabaena* e algumas *Clorofíceas* era produzida por uma concentração de fósforo excessiva, correspondente a 0,012 a 0,041 ppm (média de 0,025 ppm). Foi, então, considerada como crítica a dose de 0,010 ppm.

Ainda, numa experiência recente, de utilização de efluente tratado de esgoto para abastecimento de uma cidade no Kansas, verificou-se que uma das causas de insucesso estava no forte desenvolvimento de algas (mais de 45.000 por centímetro cúbico) que produziam mau cheiro e mau gosto na água tratada o que, ao lado de outras más características, como: cor, alto teor de nitrogênio, sais minerais, sólidos, produção de espuma quando agitada (por causa de detergentes, que não são retirados pelo tratamento) e incertezas quanto à sua salubridade, muito contribuiu, evidentemente, para a inaceitação que essa água teve por parte do público da cidade ("Emergency Use of Reclaimed Water for Potable Supply at Chanute, Kansas" — Dwight Metzler e outros (18)).

A remoção do fósforo do esgoto pode ser feita por tratamento com coagulantes. Sawyer cita que "A concentração total de fósforo pode ser reduzida a cerca de 0,5 ppm e a concentração de fósforo solúvel a valores tão baixos como 0,01 ppm, com doses de 50 ppm de cloreto férrico".

Outro processo apontado para redução de fósforo e nitrogênio nos esgotos domésticos, consiste na adição de compostos de carbono, como por exemplo, glicose, ao esgoto: "Esgotos domésticos são abundantemente ricos em nitrogênio e fósforo, em relação à quantidade de matéria carbonada que contém e a estabilização biológica desses despejos traz, como resultado, a produção de efluentes ricos em fósforo, nitrogênio, potássio etc., fertilizantes de vegetais. A adição de matéria carbonada ao esgoto doméstico traz, como resultado, a produção de maiores quantidades de lodo ativado, quando tais misturas são tratadas por esse processo e um resultado direto é a conversão de mais nitrogênio e fósforo inorgânicos em formas orgânicas, glicose por exemplo, praticamente todo o nitrogênio e fósforo é retirado do esgoto, podendo ser produzido um efluente livre de formas inorgânicas desses elementos" (Sawyer, *trab. cit.* (24)). O autor quer se referir, naturalmente, a uma transformação do material mineral em matéria viva, sedimentável nos decantadores, pois, do contrário, essa transformação de pouco adiantará, uma vez que esse material orgânico, lançado aos rios, sofrerá oxidação natural que o levará novamente à forma mineral.

Os processos comuns, de amolecimento das águas, por outro lado, reduzem de muito o conteúdo em fosfatos, das águas.

TRABALHOS CITADOS

- 1 — American Public Health Ass. — Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Waste.
- 2 — Bartsch, A. F. — *Biological Aspects of Water Supply, Water Pollution Control and Waste disposal* — 1957.
- 3 — Bier, Otto — *Bacteriologia e Imunologia* — ed. Melhoramentos, S. P. 1951.
- 4 — Branco, Samuel M. — Causas do desenvolvimento de algas nos aparelhos de estações de tratamento — Rev. DAE, n.º 32 — S. Paulo, 1958.
- 5 — Branco, Samuel M. e Murgel, Cristiano B. — Do mineral ao Protoplasma — ed. pelos autores — S. Paulo, 1958.
- 6 — Branco, Samuel M. e Branco, Wilma C. — Processos para se verificar em laboratório, a ação de substâncias tóxicas sobre algas — rev. DAE, n.º 32, S. Paulo, 1958.
- 7 — Diéprent, M. — Cours d'épuration des eaux et assainissement des cours d'eau. — École Spéciale des Travaux Publics. — Paris — 1922.
- 8 — Doudoroff, Peter e Katz, Max — Critical Review of Literature on the Toxicity of Industrial Wastes and their components to fish — Rev. Sewage and Industrial Wastes, vol. 2, n.º 11 — Nov, 1950.
- 9 — Greeley & Hansen (firma) — Plano geral de Tratamento de Esgotos da Cidade de S. Paulo. — Rev. DAE, n.º 31 — S. Paulo, 1958.
- 10 — Huet, Marcel — Dix années de Pisciculture au Congo belge et au Ruanda-Urundi — Ministère de l'Agriculture — Belgique, 1957.
- 11 — Hutchinson, G. Evelyn — A Treatise on Limnology — John Wiley & Sons — N. York, 1957.
- 12 — Ingram, W. e Palmer, C. Merwin — Suggested Classification of Algae and Protozoa in Sanitary Science — Sep. Rev. Sewage and Industrial Wastes, Vol. 27, n.º 10. — U. S. A. 1955.
- 13 — Ingram, W. e Prescott, B. W. — Toxic Fresh Water Algae — Sep. The American Midland Naturalist, Vol. 52, n.º 1 — Indiana, 1954.
- 14 — Kleerekoper, Herman — Estudo Limnológico da Represa de Sto. Amaro em S. Paulo, — Sep. bol. Botânica, n.º 2. Fac. Fil. U. S. P., 1939.
- 15 — Kleerekoper, Herman — Introdução ao estudo da Limnologia — Ed. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1944.
- 16 — Lackey, James B. e Wattie, Elsie — The biology of *Sphaerotilus natans*, Kutz, in relation to bulking of activated sludge — rev. Sewage Works journal, vol. 12 — U. S. A. — Julho, 1940.
- 17 — Littman, M. L. — Carbon and Nitrogen transformations in the purification of Sewage by activated sludge process, With a culture of *Sphaerotilus* — Rev. Sewage Works journal, Vol. 12 — U. S. A., julho, 1940.
- 18 — Metzler, Dwight; Culp, Russell; Stoltenberg, Howard; Woodward, Richard; Walton, Graham; Chang, Shihlu; Clarke, Norman; Palmer, Charles e Middleton, Francis. — Emergency use of Reclaimed Water for Potable Supply at Chanute, Kan. — Sep. Rev. Journal American Water Works Ass., Vol. 50, n.º 8 — U. S. A., 1958.
- 19 — Morgan, E. H. e Beck, A. S. — Carbohydrate Wastes Stimulate Growth of organisms — Rev. Sewage Works Journal — Vol. 1. — 1928.
- 20 — Palmer, C. Merwin — Evaluation of New Algicides for Water Supply Purposes — Sep. Rev. Journal of American Water Works Ass. — Vol. 48, n.º 9 — U. S. A. Setembro, 1956.
- 21 — Peter, John Roger — Bacterial Chemistry and Physiology, N. Y., 1957.
- 22 — Ruchhoff, C. e Witkins, J. H. — Bacteriological isolation and Study of the filamentous Organisms, in the Acidified Sludge of the Plaines River Sewage treatment works — Rev. Sewage Works Journal, vol. 1 — U. S. A., 1928.
- 23 — Ruttner — Fundamentals of Limnology — Trad.: University of Toronto Press; 1953.
- 24 — Sawyer, Clair N. — Biological engineering in Sewage Treatment — Rev. Sewage works journal, Vol. 16 — U. S. A., Setembro, 1944.
- 25 — Sawyer, Clair N. e Lackey, J. B. — Plankton productivity of certain South-Eastern Wisconsin Lakes as related to fertilization — Rev. Sewage works journal, Vol. 17 — U. S. A., Maio de 1945.
- 26 — Schaut, George — Fish catastrophes during the winter — Rev. Journal of American Water Works Ass., Vol. 31 — 1939.
- 27 — Silva, Paul C. e Papenfuss, G. — Systematic Study of the Algae of Sewage Oxidation Ponds — University of California — 1953.
- 28 — Smit, Jan — Bulking of activated sludge — Rev. Sewage works journal, Vol. 6, U. S. A., 1934.
- 29 — Tiffany, S. H. — Fresh water Algal Ecology — Manual of Phycology — 1951.
- 30 — Vivier, Paul — La vie dans les eaux douces — Presses universitaires de France — 1946.
- 31 — Welch, Paul S. — Limnology — Mc Graw-Hill — 1952.
- 32 — Welch, Paul S. — Limnological Methods — Mc Graw-Hill — 1948.
- 33 — Whipple, G. C. — Microscopy of Drinking water — John Wiley Sons — N. Y. — 1939.
- 34 — Whipple, G. C. e Ward, H. B. — Fresh water Biology — John Wiley Sons — N. Y. — 1918.