

# Autodepuração nos cursos da água

Ben-Hur Luttembarck Batalha (1)

Aristides Almeida Rocha (2)

## 1 Introdução

A influência exercida pela Revolução Industrial nos princípios e conceitos da sociedade do século XX será, talvez, com muito mais intensidade, a da revolução ecológica na sociedade do século XXI.

No despertar de uma nova era, com a redefinição do entendimento tradicional do progresso empírico-indutivo, surgirá uma nova ordem econômica e social, mais justa à espécie humana e à ecologia. Ao se despertar para o Universo, o homem compreenderá suas limitações frente à natureza e de seu dominador passará a seu integrante.

O rompimento do equilíbrio ecológico tem, no homem, o seu principal artífice. Este, na procura de soluções que tragam a plenitude do seu desenvolvimento econômico, preocupa-se com causas e efeitos específicos. Limita-se ao seu pequeno universo e desdenha de preocupações com o ambiente. Na verdade, não avalia o seu poder de alteração do meio. Julga-se frágil e pequeno, incapaz de alterar o que lhe parece imutável. Triste percepção, cujas consequências deixam ao homem como alternativas sua destruição... sua transformação... ou correção dos seus erros para com o ambiente. Mas o ambiente dá a sua contribuição. E a contribuição do ambiente, relacionado aos cursos de água, é o que chamamos de autodepuração.

Quando se elegeu, para estudo, o tema autodepuração, o objetivo explícito foi o de dissertar sobre o assunto baseado em um estudo prático já realizado. Por isso, efetuaram-se um balanço de oxigênio e a determinação das suas condições sanitárias no tempo, numa secção do rio Jaguari, no município de Bragança Paulista, no Estado de São Paulo.

Sabe-se que inúmeras variáveis, que participam do processo de autodepuração, não estão presentes nos modelos matemáticos utilizados. E por serem

simples merecem ser continuamente lembrados. Mas estas equações, no caso em estudo, fornecem estimativas que permitem interpretações e conclusões corretas. E, sob o enfoque de adequação a nossa realidade sócio-econômica técnico-sanitária brasileira, isto que é importante.

## 2 Considerações sobre autodepuração

As águas residuárias, domésticas ou industriais lançadas num curso d'água sofrem um processo natural de purificação que se realiza por meio de processos físicos (diluição, sedimentação), químicos (oxidação dos redutores) e, principalmente, biológicos.

A característica das águas residuárias domésticas e grande parte dos resíduos industriais é apresentar uma considerável parcela de compostos orgânicos, isto é, moléculas de alta estrutura e elevado potencial energético. Por isso, podem constituir alimento de seres heterotróficos, como peixes, protozoários, bactérias. Ingerindo esses alimentos as bactérias e outros seres microscópicos aeróbios transformam compostos orgânicos de cadeias mais complexas, como proteínas e gorduras, em aminoácidos, amônia, ácidos graxos e outros, cada vez menos oxidáveis. Estes processos aeróbios se fazem à custa do oxigênio existente no meio, o qual pode extinguir-se por completo. Isto acontecendo, os seres aeróbios são substituídos pelos seres anaeróbios, que prosseguem na degradação do material poluidor, em ausência de oxigênio.

Com a estabilização dos compostos, oxidáveis, vai diminuindo o consumo de oxigênio e aumentando progressivamente as possibilidades de reoxigenação do meio. Ao mesmo tempo, a sedimentação de matérias em suspensão, formando bancos de lodo no fundo, leva a uma crescente clarificação do meio, permitindo cada vez mais a penetração de luz e sobrevivência e proliferação de algas e outros seres fotossintetizantes. O crescimento das algas beneficiado pela grande quantidade de sais minerais (nitratos, fosfatos)

resultantes da oxidação da matéria orgânica, que são elementos minerais indispensáveis à sua constituição, conseqüentemente aumentará o oxigênio do meio (inclusive acima da saturação), que completará o processo de autodepuração.

### 2.1 Grandezas intervenientes no consumo e fornecimento de oxigênio

#### 2.1.1 Consumo de oxigênio

a) Oxigênio consumido pela matéria orgânica decomponível por ação bacteriana.

A velocidade de oxidação da matéria orgânica em uma determinada massa de água depende das características bioquímicas e físicas desta matéria orgânica, de sua diluição, das características químicas da água, da espécie e quantidade de seres vivos encontrados nesta massa de água, bem como da temperatura. Portanto, quando um poluente é lançado ao rio, a velocidade de oxidação nele contida vai-se modificando de acordo com o desenvolvimento da reação física e bioquímica durante o seu percurso.

Como método básico para avaliar a velocidade de oxidação da matéria orgânica, ou seja, o coeficiente de desoxidação,  $k_1$ , vem sendo utilizada, há muito tempo, a equação da reação monomolecular de primeira ordem:

$$\frac{dI}{dt} = -k_1 I$$

Calcula-se o coeficiente  $k_1$  por essa equação, determinando no próprio rio a quantidade de matéria orgânica consumida, em determinado tempo de percurso. Ocorrem, porém, certas dificuldades na avaliação do coeficiente. Em primeiro lugar, a água do rio, que contém matéria orgânica, prejudica a avaliação do valor real da oxidação, durante o percurso considerado. Assim, num trecho do rio, onde há considerável sedimentação de matéria orgânica, é encontrado um valor de  $k_1$  bastante

(1) Engenheiro da Cetesb, a serviço do Ministério das Minas e Energia.

(2) Biólogo da Cetesb, Docente da Fac. de Saúde Pública - USP.

alto, em consequência da remoção dessa matéria orgânica pela sedimentação e não pela oxidação.

A correção exata do efeito de sedimentação e flutuação, na referida equação, constitui trabalho quase impossível em condições naturais. Outra limitação está em sua aplicação. Não pode ser aplicado para cursos d'água em condição anaeróbia, em vista de ser a velocidade de oxidação da matéria orgânica limitada pela taxa de reaeração.

#### b) Pela nitrificação

O consumo de oxigênio pela nitrificação, no caso de esgotos domésticos, é iniciado depois de efetuada a maior parte da oxidação da matéria carbonácea, isto é, cerca de dez dias após o início da oxidação. Convém aqui lembrar que a nitrificação ocorre em condições aeróbias e a desnitrificação em condições de anaerobiose.

#### c) Pelos redutores

Substâncias redutoras como: sulfetos, gás sulfídrico, sais e óxidos ferrosos, substâncias orgânicas contidas principalmente em despejos industriais são consumidoras de oxigênio. A reação de oxidação destes elementos é imediata, pois se conclui no primeiro estágio da oxidação dos despejos, mas diferindo das reações biológicas. No traçado de um perfil sanitário, podemos suspeitar do consumo de oxigênio por meio de redutores sempre que o OD, como a DBO assumirem valores baixos e houver no corpo receptor poluição industrial.

#### d) Demanda bentônica

O mecanismo de consumo de oxigênio pelo lodo difere da oxidação bioquímica na água, sendo especialmente denominada por Fair, de decomposição bentônica. Isto significa que a oxidação aeróbia direta da matéria orgânica é sedimentada devido às progressivas acumulações de materiais sedimentáveis.

Por outro lado, o produto solúvel produzido pela decomposição anaeróbia no interior do lodo é deslocado gradativamente para a superfície desse lodo, onde sofre oxidação aeróbia provocando uma demanda de oxigênio.

### 2.1.2 Fornecimento de oxigênio

#### a) Reaeração $k_2$

Quando os cursos de água absorvem oxigênio do ar através da superfície, tem-se a reaeração. Ainda que se te-

na um curso de água muito poluído, existe sempre uma película na sua superfície rica em oxigênio. Todavia, a própria saturação desta película superficial impede que novas quantidades de oxigênio sejam absorvidas. Mas a difusão do oxigênio desta para outras películas é possível e bastante facilitada pelo contato mais íntimo entre a película e a massa de água, pela turbulência.

Assim, como primeiro fator de grande importância na reaeração, tem-se o grau de agitação da massa de água. A agitação, por sua vez, depende de fatores como: velocidade da água, profundidade, acidentes topográficos, ação dos ventos, correntes produzidas (por diferença de densidade, temperatura etc.).

#### b) Reoxigenação ( $\zeta$ )

Reoxigenação é o ganho de oxigênio, a partir da produção fotossintética, pelos organismos clorofilados que habitam o corpo receptor. Seu valor dependerá da capacidade de produção de oxigênio pelas algas, que varia com os sais nutrientes presentes, com a temperatura da água e também, em grande parte, com a intensidade da radiação solar, pois são notáveis as diferenças de produção em função da profundidade do corpo da água, especialmente onde há abundância de material em suspensão.

### 2.2 A natureza da reação da DBO

Estudos da cinética da reação da DBO estabelecem que ela pode ser considerada para fins práticos como uma reação de primeira ordem, onde a taxa desta reação é proporcional à quantidade de matéria orgânica remanescente em qualquer tempo, como modificada pela população de organismos vivos. Quando a população de organismos vivos se estabilizar num determinado número, no qual ocorre uma variação mínima, a velocidade da reação será controlada pela quantidade de alimentos disponíveis aos organismos e pode ser expressa da seguinte maneira:

$$-\frac{dc}{dt} = C \cdot k' \quad \frac{dc}{dt} = k' C$$

onde:

(C) representa a quantidade (a concentração) de matéria orgânica oxidável (poluentes) num período de tempo;

(t) e ( $k'$ ) a taxa da constante da reação. Isto significa que a taxa de rea-

ção decresce gradualmente com a concentração (C) de alimento ou com a matéria orgânica.

Na consideração da DBO é usual empregar L no lugar de C, onde L representa a última demanda e a expressão:

$$-\frac{dL}{dt} = k' L \quad \text{ou} \quad \frac{dL}{L} = -k' dt$$

a qual vem traduzir a taxa que a matéria orgânica poluente é destruída. Como o oxigênio é utilizado na estabilização da matéria orgânica é possível interpretar L em termos da razão direta da quantidade de matéria orgânica oxidada, poluente ou de oxigênio utilizado.

Integrando a equação acima, vem:

$$\int \frac{dL}{L} = k' \int dt$$

$$\log_e L_t = -k' t + C \quad (1)$$

admitindo as condições:

$$t = t_0$$

$$L_t = L_0, \text{ tem-se:}$$

$$\log_e L_0 = -k' t_0 + C \quad \bullet \bullet \quad C = \log_e L_0 + k' t_0$$

substituindo em (1), vem:

$$\log_e L_t = \log_e L_0 + k' t_0 - k' t$$

$$\log_e \frac{L_t}{L_0} = k' (t_0 - t) \quad \bullet \bullet \quad \frac{L_t}{L_0} = e^{-k'(t-t_0)}$$

$$\text{para: } t_0 = \text{zero, acarreta } \frac{L_t}{L_0} = e^{-k't}$$

$$\text{onde: } k = \frac{k'}{2,303}$$

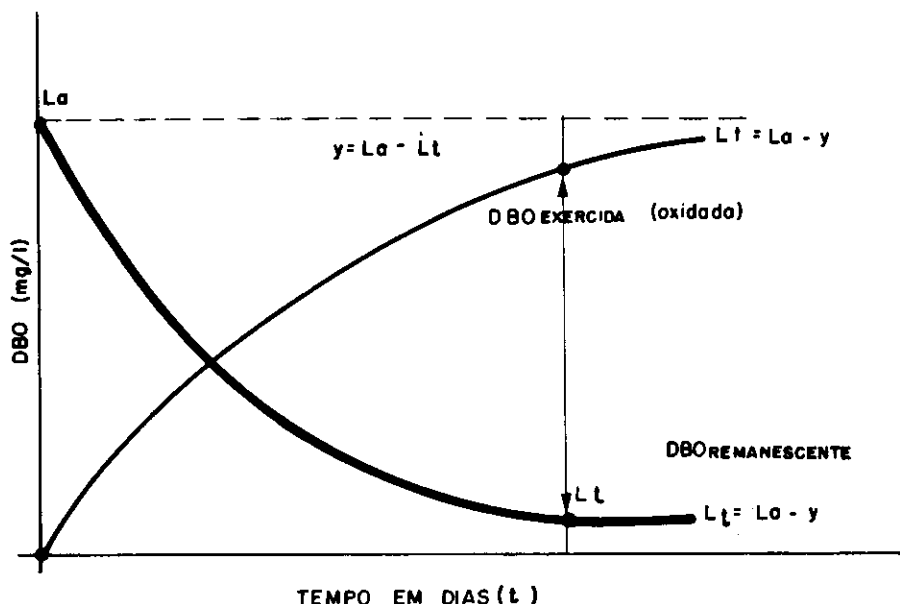
$$\frac{L_t}{L_0} = 10^{-kt}$$

Esta fórmula sintetiza a informação de que a quantidade de poluentes depois de um tempo t é uma fração de  $L_0$  correspondente a  $10^{-kt}$  ou que a DBO remanescente é uma porcentagem de  $L_0$  correspondente  $10^{-kt}$ . Esta expressão é amplamente utilizada na área de engenharia sanitária, principal-

mente nos estudos de controle da poluição dos cursos de água.

Todavia, pode ocorrer em muitos casos que o sanitarista esteja interessado em saber qual a DBO exercida (oxidada) ou o seu valor em qualquer tempo  $t$ . A dedução desta equação pode ser melhor interpretada no gráfico a seguir, onde:

$$L_t = L_a \cdot 10^{-kt} \quad (2)$$



$$y = L_a - L_t \quad \therefore L_t = L_a - y;$$

que substituindo em (2), vem:

$$L_a - y = L_a \cdot 10^{-kt}$$

$$y = L_a - L_a \cdot 10^{-kt}$$

$$y = L_a (1 - 10^{-kt})$$

onde:

$y$  = DBO em qualquer tempo  $t$

$L_a$  = é a DBO total do primeiro estágio.

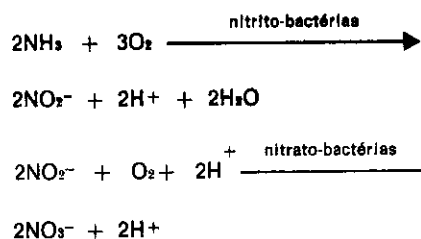
$k$  = deve ser determinado experimentalmente.

Como a equação da DBO está intimamente ligada ao tipo de reação de primeira ordem, observa-se do gráfico anterior que a sua configuração está relacionada com a quantidade da matéria orgânica remanescente pelo tempo, formando uma curva parabólica semelhante à curva de decaimento para os elementos radioativos. Por outro lado, ao se elaborar um gráfico mostrando a quantidade de matéria orgânica

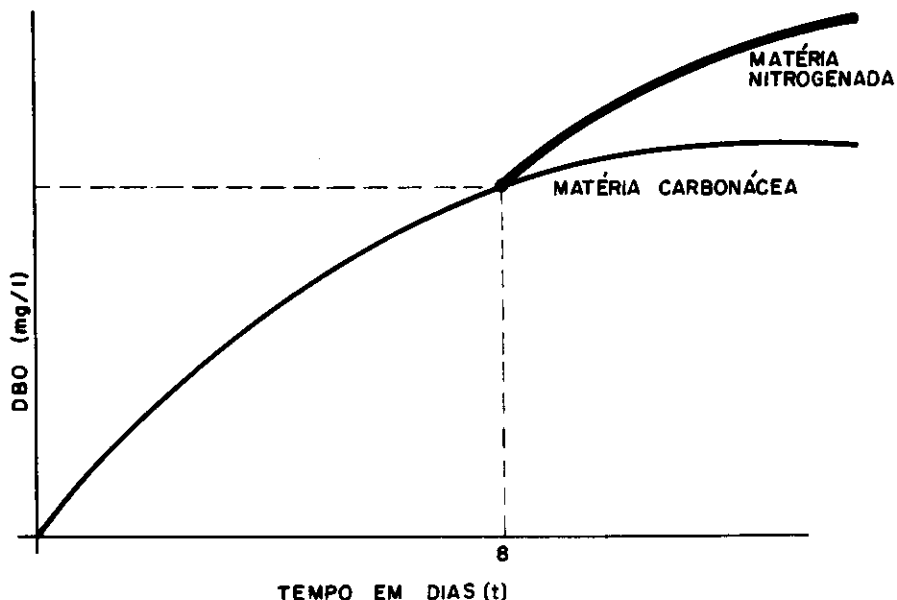
pelos tempo, uma outra curva parabólica é obtida como recíproca da primeira.

Como o oxigênio consumido está diretamente relacionado com a matéria orgânica solúvel disponível para a oxidação bioquímica, o emprego do gráfico de oxigênio utilizado versus o tempo produz um tipo de curva parabólica semelhante àquela da matéria orgânica oxidada, assim:

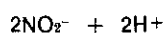
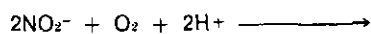
A importância de existir uma mistura de culturas correspondentes aos organismos encontrados no solo, para a própria medida da DBO, tem sido mencionada. Tais culturas, quando provenientes do solo ou do esgoto doméstico, contêm um grande número de bactérias saprófitas e outros organismos que utilizam a matéria carbonácea presente nas amostras sujeitas a análise da DBO, utilizando oxigênio numa quantidade correspondente. Em complemento, elas normalmente contêm bactérias, como, por exemplo, bactérias nitrificantes, as quais oxidam a matéria não carbonácea em energia. As bactérias nitrificantes estão usualmente presentes em relativamente pequenas quantidades no esgoto doméstico não tratado; felizmente a sua taxa de reprodução a 20°C é tal que, sua população não se torna suficientemente grande para exercer uma apreciável demanda de oxigênio até cerca de oito a dez dias, decorridos do teste regular da DBO. Uma vez que os organismos tenham aparecido (survido), eles oxidam o nitrogênio da forma de amônia para ácidos nitroso e nítrico em quantidades que introduzem sérios erros na DBO. Assim:



É verdade que a oxidação de nitrogênio inorgânico pode exaurir o oxigênio dissolvido nos cursos de água e seu efeito deve ser levado em consideração pelos engenheiros. Porém, não é desejável usar a medida da DBO



normal para tais estimativas por causa da adição de nitrogênio amoniacal à diluição da DBO na água, como um nutriente necessário, podendo a sua oxidação conduzir a conclusões errôneas quanto ao despejo. O potencial de oxigênio dissolvido utilizado pela nitrificação é melhor avaliado por uma análise dos despejos para diferentes formas de nitrogênio presente e utilizado na relação estequiométrica entre o oxigênio e uma determinada quantidade de nitrogênio — vide a última reação química:



A interferência ocasionada pelos organismos nitrificantes torna a medida atual da DBO total carbonácea impossível, a menos que sejam efetuadas medidas para eliminá-las. A interferência ocasionada pelas bactérias nitrificantes foi a maior razão para justificar o período de cinco dias como o da incubação da DBO padrão.

Nos casos onde os efluentes de uma unidade de tratamento biológico, tais como: os filtros ou lodos ativados são analisados quanto a DBO, os efluentes frequentemente contêm população de organismos nitrificantes suficientes para utilizar quantidades significativas de oxigênio durante o período regular da incubação. Em tais casos, é importante conhecer a quantidade do residual carbonáceo da DBO com a finalidade de avaliar a eficiência do processo de tratamento empregado.

A ação das bactérias nitrificantes pode ser interrompida (impedida) pelo emprego de agentes inibidores específicos, tais como: azul de metileno ou populações nitrificantes. Pode ser reduzida a níveis insignificantes, pelo pré-tratamento de uma amostra pasteurizada, clorada ou com tratamento ácido, seguido da medida da DBO sem interferência na nitrificação.

Amostras de rios e estuários frequentemente contêm significativas populações de organismos nitrificantes. Nenhum procedimento padrão foi até agora desenvolvido para medir a DBO carbonácea em tais águas. Além disso, o crescimento das algas, quando presentes, introduz uma outra variável as quais tornam a DBO dos rios e estuários difíceis de interpretar.

## 2.3 Zonas de autodepuração num curso d'água

### 2.3.1 Zona de degradação

Esta zona se estende desde o ponto de lançamento até o ponto em que a

taxa de oxigênio dissolvido cai a 40% da saturação. As águas têm aspecto sujo e:

- aparecem protozoários, rotíferos e crustáceos;

- os fungos encontram-se presentes em proporções limitadas;

- as algas vão aparecendo na seguinte ordem: cyanophyceae, chlorophyceae, bacillariophyceae, diatomáceas;

- em plantas maiores são encontrados: aguapês, alface d'água, além de esponjas, briozoos;

- entre os organismos do fundo do leito incluem-se: tubificídeos, moluscos, caramujos e larvas de insetos;

- podem encontrar-se peixes, tais como a carpa e outras famílias mais resistentes.

### 2.3.2 Zona de decomposição ativa

O teor de oxigênio dissolvido cai abaixo de 40% e não raro desce a 0. As águas apresentam-se pardacentas ou negras; nota-se o despreendimento de gases e mau cheiro. Nas águas, verifica-se intensa decomposição das substâncias orgânicas complexas.

São as seguintes suas características:

- desenvolvimento da flora bacteriana, prevalecendo as bactérias anaeróbias, que tendem a desaparecer, para reaparecer posteriormente a jusante da zona;

- reduzem-se os protozoários, assim como as bactérias aeróbias, para posterior reaparecimento;

- desaparecimento dos fungos para aparecerem a jusante da zona;

- as algas subsistem apenas em proporções reduzidas ao fim da zona;

- encontram-se larvas de moscas.

### 2.3.3 Zona de recuperação

Nesta zona, o curso d'água readquire, gradativamente, as suas condições normais, em consequência da mineralização dos materiais, à custa do oxigênio cedido pelo ar (aeração superficial) e, em parte, fornecido pela ação fotossintética da vegetação que libera o oxigênio. As águas gradualmente tornam-se mais claras: vegetais verdes reaparecem; animais inferiores servem de alimento aos peixes; as substâncias solúveis são oxidadas; o oxigênio dissolvido eleva-se a 40% até atingir a saturação.

## 2.4 Taxa de redução de coliformes

A atividade de bactérias no meio aquático pode ser considerada de grande importância, relacionada com a estabilização da matéria poluidora. Por outro lado, essa mesma estabilização é responsável pela redução da concentração de oxigênio do meio com todas as suas implicações. Há, além disso, bactérias patogênicas, de ação especificamente nociva sobre a saúde humana.

As bactérias encontradas na água podem ter suas origens: na própria água ou introduzidas no meio aquático por despejos de diversas procedências, merecendo destaque os esgotos sanitários.

Ao ser introduzido o despejo contendo vários tipos de bactérias, ocorre no curso de água uma purificação natural ao longo do seu percurso, sendo eliminadas, naturalmente, em primeiro lugar, as menos resistentes; numa segunda fase, as mais resistentes, das bactérias de origem fecal. A apresentação matemática da redução de bactérias fecais por agentes de autodepuração é feita pela seguinte equação que expressa razoavelmente bem essa ocorrência:

$$\frac{n}{n_0} = (1 + nk_0t)^{-1/n}$$

onde:

$n_0$  = número de bactérias encontradas no início e no fim do tempo  $t$   
 $k_0$  = taxa inicial de redução de bactérias

$n$  = coeficiente de não uniformidade ou retardamento de acordo com  $k_0$ .

Nesta equação o coeficiente  $n$  complementa a variação irregular da taxa de destruição bacteriana  $k_0$ , causada principalmente pela modificação qualitativa e quantitativa de bactérias e das características hidráulicas do corpo receptor.

No nosso caso, dada a pequena extensão dos trechos escolhidos para determinação da taxa de redução de coliformes, aplicou-se a regra de Chick, admitindo-se o coeficiente  $n$  desprezível, logo:

$$\frac{n}{n_0} = \exp(-k_0t)$$

ou na base logarítmica decimal,

$$\frac{n}{n_0} = 10^{-k_0t}$$

Se necessário, para a correção do valor  $k_0$  podemos utilizar  $Q_{10} = 2$

## 2.5 Método de avaliação da autodepuração: equação de Streeter-Phelps

Ao se empregar matemática a fim de estudar alguns fenômenos de observação, deve-se essencialmente começar por construir um modelo (determinístico ou probabilístico) para esses fenômenos. Inevitavelmente, o modelo deve simplificar as coisas e certos pormenores devem ser desprezados. O bom resultado do modelo depende de que os pormenores desprezados sejam ou não realmente sem importância na elucidação do fenômeno estudado. No caso da equação de Streeter-Phelps, calculando o valor de  $k_2$  a partir de dados físicos, se está desprezando a taxa de produção endógena de oxigênio por fotossíntese. Se no curso d'água, realmente, não existe fotossíntese, a presença do coeficiente alfa na fórmula é um pormenor desprezível. Mas calcular o coeficiente  $k_2$  (ainda por dados físicos) de um rio que tenha aeração por fotossíntese, leva a desprezar importante pormenor que induzirá fatalmente a conclusões falsas.

Ao se aplicar modelos matemáticos nos sistemas biológicos deve-se considerar as variações ecológicas. O julgamento crítico da validade dos dados é mais do que necessário. Sempre que possível, deve-se comparar os resultados previstos com objetivações práticas.

A equação de Streeter-Phelps admite como inexistente a produção fotossintética de oxigênio. Atitude que pode levar a duas situações extremas, dependendo do método usado na determinação do coeficiente de reaeração:

a) se o valor de  $k_2$  for determinado a partir dos déficits de saturação de oxigênio encontrados em diferentes pontos do curso d'água, neste valor está incluída, implicitamente, a oxigenação fotossintética, desde que exista. Neste caso, se correrá o risco de que uma intervenção de natureza química ou física altere futuramente o valor de  $k_2$  numa proporção que dependerá da importância relativa da fotossíntese naquele sistema particular.

b) se o valor de  $k_2$  se calcula a partir de dados meramente físicos, tais como velocidade, profundidade, temperatura, turbulência, o resultado encontrado será menor do que o real (a não ser que a fotossíntese não exista realmente); estar-se-á operando a favor da segurança. Esta atitude não terá, sem dúvida, nenhum sentido nos sistemas altamente eutróficos, onde a oxigenação por fotossíntese supera, por ampla margem, a reaeração artificial.

A aplicação deste método em pequenos cursos d'água, com pouca fotossíntese e destinado a receber car-

gas orgânicas de composição definida e uniforme, poderá constituir — e vem constituindo — um bom elemento auxiliar na avaliação da capacidade de autodepuração. Entretanto, cada caso deverá ser objeto de uma análise particular e crítica, procurando o caminho mais seguro.

## 3 Considerações gerais sobre a secção em estudo e aplicação dos conceitos

A confluência dos rios Jaguari e Atibaia forma o rio Piracicaba. O trecho estudado está situado no município de Bragança Paulista. Para o estudo estimou-se uma população urbana de 60 mil habitantes e grande número de pequenas e médias indústrias. As águas residuárias domésticas e industriais de Bragança Paulista têm, como corpo receptor, o ribeirão Lavapés, que percorre uma extensão de 6 km até desembocar no rio Jaguari. Aliás, não foge à regra, pois devido às condições geográficas, a maior parte dos despejos na bacia do Piracicaba é lançada nos rios principais através de ribeirões.

Neste encontram-se pequenos representamentos e corredeiras que promovem considerável assimilação dos mesmos. Nota-se grande diminuição da concentração da matéria orgânica e, ao mesmo tempo, modificações na qualidade dos despejos. Por esse motivo e também devido à diluição que os despejos sofrem quando lançados nos rios principais, é que os valores da constante de desoxigenação ( $k_1$ ) apresentam-se baixos nestes últimos.

### 3.1 Condições sanitárias do rio Jaguari, a montante e a jusante do ribeirão Lavapés

#### a) Trecho a montante

As águas do rio Jaguari apresentam um baixo potencial de matéria orgânica e elevado teor de oxigênio dissolvido. Neste trecho, o principal afluente é o rio Jacareí, com capacidade de assimilação e autodepuração das cargas poluidoras provenientes dos engenhos de aguardente.

Não foi, também, detectada a presença de clorofila, considerando-se por isso desprezível a produção de oxigênio das algas.

#### b) Trecho a jusante

Apesar da autodepuração do ribeirão Lavapés até a sua confluência com o rio Jaguari, nota-se, neste último, uma sensível diminuição do OD e ligeiro aumento na DBO. Todavia, o rio Jaguari tem condições de assimilar a carga poluidora proveniente do referi-

do ribeirão. A mineração da matéria orgânica é realizada por bactérias aeróbias. O rio apresenta-se com tendência para aumento do teor de OD e diminuição da DBO até a montante da cidade de Morungaba.

Os organismos clorofilados não foram encontrados a jusante da descarga da fonte de poluição. Sua inexistência talvez se deva à ausência de fósforo, que não foi encontrado nem a montante ou jusante, pelas análises efetuadas e que é um dos elementos essenciais para sua nutrição. Julga-se, inclusive, que a produção de algas no mesmo rio seja desprezível.

### 3.2 Estudo do balanço de oxigênio visando à avaliação da capacidade de autodepuração dos despejos provenientes do ribeirão Lavapés no rio Jaguari, bem como a evolução desses fatores no tempo

1.º — Vazão média do ribeirão Lavapés na confluência

$$Q = 230 \text{ l/s}$$

2.º — Características das águas  
Estas características são estimadas (quando se têm águas residuárias domésticas) ou tomadas a partir de dados de laboratório, como o presente caso:

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 1,60 \text{ mg/l} \\ \text{DBO}_{5d,20^\circ\text{C}} &= 22 \text{ mg/l} \\ T &= 20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3.º — Características do curso d'água

vazão mínima mensal: 18 m<sup>3</sup>/s (estimada)

velocidade média: 0,38 m/s

profundidade média: 1,5 m

DBO<sub>5,20°C</sub> : 1,5 mg/l

OD saturação : a uma temperatura de 20°C corrigido para altitude de 900 m, é de 8,0 mg/l

OD<sub>rio</sub> : 7,35 mg/l (baseados em análises de laboratório)

4.º — Admitiu-se a temperatura para estudo de:

$$T = 20^\circ\text{C}$$

5.º — Fixaram-se os limites sanitários para o curso d'água em vista das leis e regulamentos em vigor.

$$\text{OD}_{\text{mín. per}} = 4 \text{ mg/l}$$

6.º — Determinou-se o déficit crítico permissível de oxigênio

$$D_{cp} = 8,00 - 4 = 4,00 \text{ mg/l}$$

7.º — Calculou-se o déficit de oxigênio no ponto de lançamento. Pode-se fazer estes cálculos, com dados de

laboratório. Todavia, se não houver, pode-se aplicar a fórmula:

$$D_o = OD_{at} - \frac{(Q_r OD_r + Q_o OD_o)}{Q_r + Q_o}$$

Mas no presente caso:

$$D_o = 8,00 - 7,35 = 0,65 \text{ mg/l}$$

8.º — Estabeleceram-se os valores das constantes

● Constantes de desoxigenação

Aproveitaram-se estudos realizados pela Cetesb para determinação da constante de desoxigenação neste trecho, ou seja,  $k_1 = 0,11$ .

● Constantes de reaeração

Como não foi constatada a presença de organismos fotossintetizantes, admitiu-se a reaeração somente por fenômenos físicos. Portanto, acredita-se obter um valor próximo do real, utilizando a fórmula de Churchill.

$$k_2 = \frac{2,26y}{R^{1,87}} = \frac{2,26 \cdot 0,36}{1,5^{1,87}} = 0,41$$

9.º — Verificou-se a DBO total 1.º estágio das águas do ribeirão Lavapés e do rio Jaguarí.

9.º.1. — Do ribeirão Lavapés  
DBO total 1.º estágio = 1,46.22 = 32 mg/l

9.º.2. — Do rio Jaguarí  
DBO total 1.º estágio = 1,46.2,5 = 2,20 mg/l

10.º — Determinou-se a DBO total 1.º estágio das águas após receberem os esgotos.

$Q_r$ . DBO total 1.º estágio +  $Q_o$ . DBO 1.º estágio

$$L = \frac{Q_r + Q_o}{230.32 + 18000.2,20} = 18230$$

$$L = 2,60 \text{ mg/l}$$

A demanda bioquímica de oxigênio do rio Jaguarí, logo após receber a fonte poluidora do ribeirão Lavapés, é de 2,60 mg/l.

11.º — Cálculo do tempo crítico onde é máximo o déficit de oxigênio e a que distância ocorre estas condições.

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \log \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_o (k_2 - k_1)}{k_1 L} \right]$$

$$t_c = \frac{1}{0,41 - 0,11} \log \frac{0,41}{0,11} \left[ 1 - \frac{0,65 \cdot 0,30}{0,11 \cdot 2,60} \right]$$

$$t_c = 0,25$$

A distância em que ocorrem estas condições:

$$D = t_c \cdot 86600 \cdot v$$

$$D = 0,25 \cdot 86400 \cdot 0,36 = 8 \text{ km a jusante}$$

12.º — Cálculo do oxigênio dissolvido no ponto crítico.

$$D_c = \frac{k_1 L}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t_c} - 10^{-k_2 t_c}) + D_o 10^{-k_1 t_c}$$

$$D_c = \frac{0,11 \cdot 2,60}{0,30} (10^{-0,11 \cdot 0,25} - 10^{-0,41 \cdot 0,25}) + 0,65 \cdot 10^{-0,11 \cdot 0,25}$$

$$D_c = 0,70$$

$$OD_{m12} = OD_{at} - D = 8,00 - 0,70$$

$$OD_{m12} = 7,30 \text{ mg/l}$$

13.º — Cálculo da carga máxima que o rio Jaguarí poderá assimilar dentro das condições atuais, mantendo o limite sanitário de oxigênio em 4 mg/l

$$L_a = D_{cp} \cdot \frac{k_2}{k_1} 10^{k_1 t_c}$$

$$L_a = 4 \cdot \frac{0,41}{0,11} \cdot 10^{0,11 \cdot 0,25}$$

$$L_a = 16 \text{ mg/l}$$

### 3.3 Cálculo da redução de coliformes

A secção do rio Jaguarí utilizada para o cálculo da redução de coliformes possui as seguintes características:

comprimento do trecho em estudo (m)	: 2.500
velocidade (m/s)	: 0,36
tempo de percurso (horas)	: 1,90
profundidade média (m)	: 1,50
numero de coliformes a montante por 100 ml e a 20°C ( $n_o$ )	: 157.10 <sup>3</sup>
número de coliformes a jusante por 100 ml e a 20°C ( $n_i$ )	: 98.10 <sup>3</sup>

#### 3.3.1 Cálculo da taxa de redução de coliformes ( $k_b$ )

$$\frac{n_o}{n_i} = 10^{k_b t} \text{ ou } \frac{157 \cdot 10^3}{98 \cdot 10^3} = 10^{k_b t}$$

ora como o valor de  $k_b t = 0,2041$  é igual a 1,90 h, vem  $k_b = 0,11$  (aproximado)

#### 3.3.2 Tempo necessário para redução a 20°C de 90% dos coliformes

$$\frac{137 \cdot 10^3}{14,7 \cdot 10^3} = 10^{0,11 t} \text{ ou } t = \frac{1}{0,11} = 9 \text{ h}$$

t = 9 horas

#### 3.3.3 Tempo necessário para que o número de coliformes seja reduzido ao limite máximo permíssível por lei

$$\frac{157 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3} = 10^{k_b t} \text{ ou } k_b t = 1,5$$

logo t = 14 horas

## 4 Conclusão

Conclui-se, pois, que os rios em estudo apresentam satisfatórias condições para o desenvolvimento do processo de sucessão ecológica que constitui o fenômeno da autodepuração, pelo menos, à época do estudo, no entanto, o acréscimo de novas cargas poluidoras poderá trazer severas consequências à ecologia daqueles corpos hídricos e alteração dos resultados encontrados naquela ocasião.

## 5 Bibliografia

BABBIT, H. E. & BAUMANN, E. R. — Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras. 1.ª Edición, México, Compañía Editorial Continental S.A., 1961.

BATALHA, BHL — Relatórios de Levantamento Sanitário na Bacia do Rio Piracicaba. São Paulo, SP — Fesb/Cetesb, 1969.

BRANCO, S. M. — Hidrobiología Aplicada a La Ingeniería Sanitaria. 1.ª Ed. Lima — Peru, Ed. Universidad Nacional de Ingeniería, 1969.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. — Field Detection and Damage Assessment Manual for Oil and Hazardous Material Spills. Usepa, 1972.

KAWAI, H. — Balanço de Oxigênio nos Principais rios das Bacias do Piracicaba e Jundiá. São Paulo, Cetesb, 1969.

PHELPS, E. B. — Stream Sanitation. New York. John Wiley, 1950.

ROCHA, ARISTIDES DE ALMEIDA — Anotações Pessoais, 1983.

R. TAFT SANITARY ENGINEERING CENTER — Oxygen relation ships in streams, Cincinnati, 1958.