

VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE AUTO-ASSIMILAÇÃO DOS RIOS (*)

HIDEO KAWAI **
ARISTIDES A. ROCHA ***
FERNANDO FUKUDA ****

SINOPSE

No presente trabalho, foi verificada e discutida a eficiência da aplicabilidade de vários métodos para a avaliação dos coeficientes de desoxigenação e reeração de auto-assimilação nos rios.

O método de momento e a fórmula de Dobbins-O'conner mostraram aplicabilidade razoável para a determinação desses coeficientes.

1. INTRODUÇÃO

A conservação das condições naturais de um corpo hídrico, do ponto de vista da engenharia sanitária, consiste em limitar as descargas de matérias poluentes a condições em que não haja prejuízo às águas do rio para atender às várias finalidades, de acordo com a sua capacidade de auto-assimilação.

A auto-assimilação dos rios, constitui um dos mais notáveis fenômenos da natureza. Permitindo a eliminação principalmente da matéria orgânica poluente e depende em grande parte das reações bio-químicas efetuadas pela atividade de microrganismos consumidores de oxigênio. Assim, quando a matéria orgânica é lançada ao rio, ocorre uma alteração no equilíbrio da concentração de oxigênio dissolvido na água.

Existem diversos fatores físicos e bio-quími-

cos que influem no equilíbrio do oxigênio, podendo-se citar os seguintes: consumo do oxigênio pela matéria orgânica em suspensão na água, (reação de desoxigenação), consumo pelo material depositado no leito do rio (demanda bentônica de oxigênio), e fornecimento de oxigênio através da reeração atmosférica e da reação fotossintética do fitoplâncton. A velocidade dessas reações bio-químicas varia de um rio para outro.

Streeter-Phelps (1925), e posteriormente, Camp (1963) estabeleceram equações com diversos coeficientes de velocidade das reações que servem à previsão do comportamento do oxigênio dissolvido nas águas de um rio, em função da quantidade de matéria orgânica presente.

Têm sido estudados vários métodos para avaliação destes coeficientes. No entanto, embora sejam alguns métodos considerados teoricamente exatos e empregados no exterior, encontra-se muitas vezes dificuldade em sua aplicação prática devido à complexidade do processo ou, mesmo que haja simplicidade, existe a inconfiabilidade dos resultados obtidos.

Tendo em vista estas considerações, no presente trabalho, como parte das pesquisas para conhecimento da capacidade de auto-

* Este trabalho foi elaborado através do convênio com o Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE (1969).

** Chefe da Seção de Pesquisas Hidrobiológicas da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB.

*** Biologista da Divisão de Estudos e Pesquisas e Professor da Faculdade de Saúde Pública da U.S.P.

**** Químico da Divisão de Estudos e Pesquisas CETESB.

-assimilação nos corpos receptores das Bacias do Piracicaba e Jundiá, procurou-se verificar a aplicabilidade de diversos métodos para determinação do coeficiente de desoxigenação e de reaeração, baseando-se em dados obtidos no rio Piracicaba.

2. RIO PIRACICABA — Generalidades

Da confluência dos rios Jaguari e Atibaia logo a jusante da represa de Americana forma-se o rio Piracicaba, cujo percurso é de aproximadamente 185 km de extensão. Este rio juntamente com o rio Tietê, represado pela barragem construída na cidade de Barra Bonita.

O trecho do rio Piracicaba desde o seu início até a cidade de mesmo nome que constitui objeto de interesse do presente estudo apresenta uma extensão de 59 km, situando-se na altitude média de 550 metros. A largura média é estimada em 65 a 70 metros, sendo a profundidade média hidráulica de 2,5 a 3 metros ao longo da maior parte do trecho, encontrando-se inúmeras corredeiras. A corredeira chamada Cachoeira dos Patos situada à jusante, cerca de 20 km do início do rio possui a extensão aproximada de 150 metros com grandes rochas imersas, sendo considerada importante para a oxigenação e conseqüente oxidação do material poluente lançada ao rio.

Em 1969, houve considerável redução da vazão devida à grande estiagem. No posto pluviométrico da cidade de Piracicaba, registrou-se durante os 2 meses do presente estudo (julho e agosto), uma variação da vazão de 31 a 64 m³/s sendo a média de 43 m³/s.

3. Método

3.1. Seleção dos trechos a serem estudados e suas condições hidráulicas.

Foram escolhidos dois trechos no rio Piracicaba. O primeiro denominado no presente trabalho Trecho da Balsa, situa-se logo a jusante da Balsa e se estende até a Cachoeira dos Patos. O segundo denominado trecho de Monte Alegre, se estende desde a jusante da Fazenda Monte Alegre até a Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. Três corredeiras de diferentes dimensões ocorrem nesse trecho, constituindo as mesmas importantes características hidráulicas do rio.

No Mapa 1, encontra-se a localização dos trechos, e as fontes contribuintes

de descarga poluidora ao longo do rio. Não se encontra nenhum lançamento significativo no meio destes trechos.

3.2. Amostragem e dados hidráulicos

Para a obtenção de dados representativos, foram coletadas, nos dois pontos que delimitam cada trecho, 12 amostras por dia, em intervalos de tempo correspondente a 30 minutos. Este processo foi repetido 3 vezes em cada trecho.

Nestas 12 amostras foram efetuadas as seguintes determinações:

- a) incubações «in loco» dos frascos opacos e transparentes
- b) determinações do D.B.O. em diferentes períodos de incubação
- c) determinação da quantidade de clorofila.

Visando o conhecimento das condições hidráulicas do rio, foram obtidos dados relativos a: extensão dos trechos que foi medida com auxílio de mapa na escala 1:5000; velocidade da água, cuja medição foi realizada nos dias de coleta com emprêgo da fluoresceína sódica; a profundidade média foi calculada através da área superficial e do volume da água conhecido por levantamento da seção transversal nos dois pontos que delimitam os respectivos trechos.

A determinação das áreas da seção transversal e superficial da água, em virtude da variação que podem sofrer diariamente, foi calculada efetuando-se a leitura da escala milimétrica, instalada nos dois pontos que delimitam os respectivos trechos.

3.3. Determinação de coeficientes

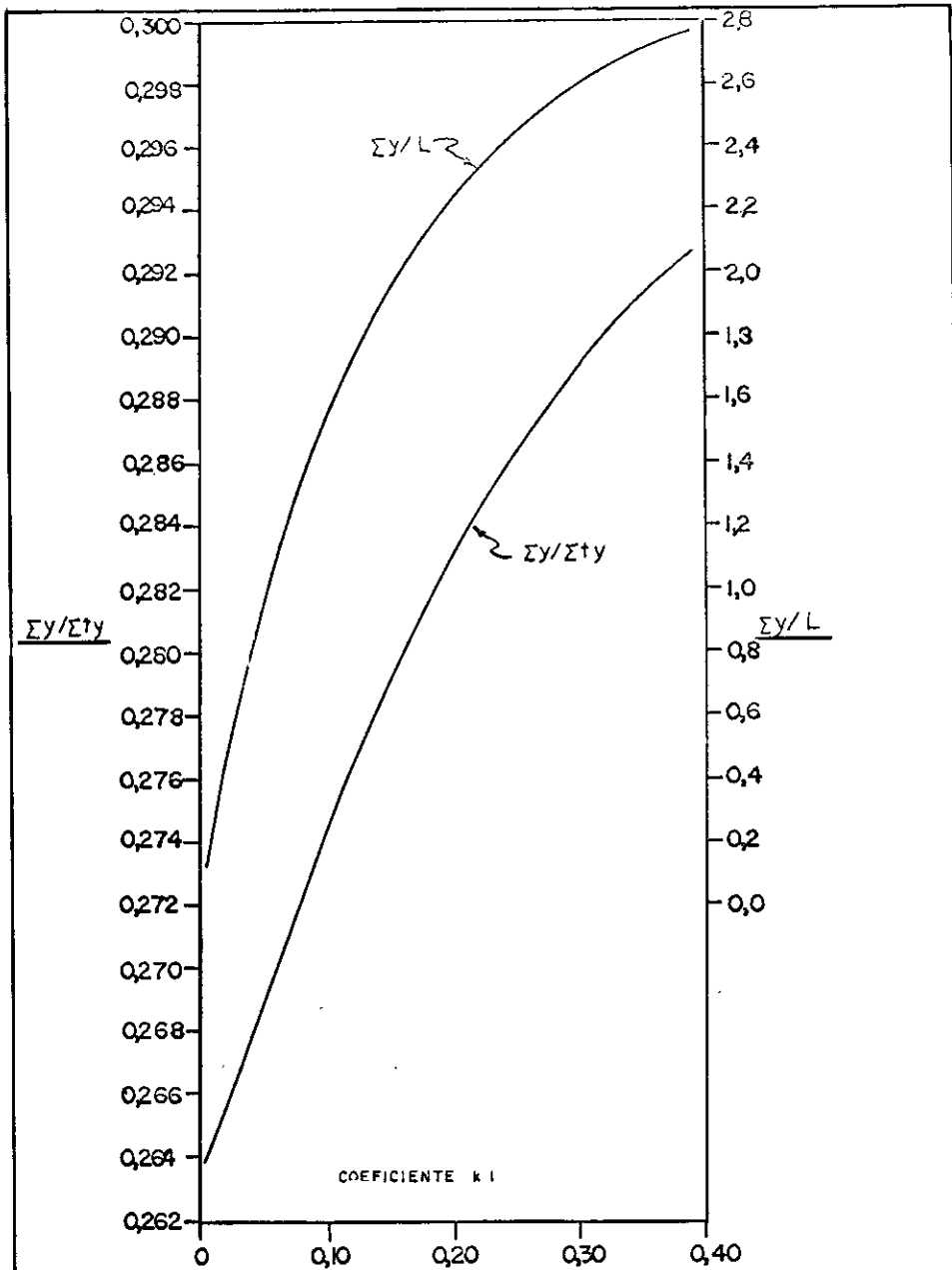
3.3.1. Coeficiente de desoxigenação k_1

Dentre os vários métodos utilizados para determinação de k_1 , podem ser citados além da fórmula clássica, o «log difference», de Fair (1936), o «slop» de Thomas (1937), o do «momento» de Moore (1950) e o método gráfico de Thomas (1950).

Dos métodos acima citados, foram estudados:

- a) Fórmula clássica

Como método básico para estimar a velocidade de



$\Sigma y/L$ e $\Sigma y/\Sigma (ty)$ Para diversos valores de k_1 e L durante 3 períodos difentes de incubação (2,3 e 5 dias)

Y-D.B.O. em cada período de incubação
 L-D.B.O. final
 t- tempo em dias

GRAFICO-1

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE
 DE k_1 PELO MÉTODO DO MOMENTO

DATA: 13/11/70

DES: W B.

Quadro 1

Características hidráulicas dos
trechos estudados no rio Piracicaba.

DATA	EXTENSÃO	VELOCIDADE DA ÁGUA	TEMPO DE PERCURSO	SUPERFÍCIE DA ÁGUA	VOLUME DA ÁGUA	PROFUND. MÉDIA DA ÁGUA
1969	(m)	(m/s)	(hs)	(m ²)	(m ³)	(m)
T r e c h o d a B a l s a						
06/08	4200	0,19	6,14	294000	743820	2,53
07/08	4200	0,20	5,83	294000	776180	2,64
12/08	4200	0,23	5,07	294000	743820	2,53
13/08	4200	0,23	5,07	294000	743820	2,53
T r e c h o d e M o n t e A l e g r e						
21/07	2700	0,30	2,50	164700	472689	2,87
23/07	2700	0,35	2,14	164700	489159	2,97
28/07	2700	0,32	2,34	164700	458454	2,82

oxidação da matéria orgânica, vem sendo utilizada, desde há muito tempo, a equação da reação monomolecular:

$$\frac{L_t}{L_0} = 10^{-k_1 t} \dots (1)$$

onde:

L_0 = D.B.O. inicial

L_t = D.B.O. após o tempo t

k_1 = Coeficiente de desoxigenação

b) Método do momento

Este método foi escolhido, tendo em vista a simplicidade do cálculo em relação aos demais, embora segundo Moore (1950) não apresente o mesmo, qualquer superioridade de precisão dos resultados. O método permite calcular o coeficiente de desoxigenação, através dos resultados de D.B.O. obtidos em diferentes períodos de incubação e com o auxílio de gráficos apropriados; foram feitas incubações

de 2, 3 e 5 dias tendo se recorrido ao gráfico el anexo.

- c) Método gráfico de Thomas
O método que utiliza a construção de gráficos baseados nos valores de D.B.O., obtidos das amostras submetidas a diferentes períodos de incubação, foi também testado. Entretanto, uma vez que somente pequeno número de resultados obtidos das análises efetuadas no rio Piracicaba, puderam ser aproveitados, a discussão sobre o método será postergada para o futuro.

3.3.2. Coeficiente de reaeração (f ou k_2)

Para determinação de f ou k_2 foram estudados os seguintes métodos:

a) método direto

Esse método foi utilizado no estudo do Estuário do Tâmisia (1964). Consiste na medição do coeficiente (f) de troca de oxigênio do ar para a água ou vice-versa, através da dife-

rença das concentrações do oxigênio e da reação bio-química exercida durante o tempo de percurso delimitado pelos dois pontos de coleta. Tem-se assim,

$$\frac{dc}{dt} = f \frac{A}{V} (C_s - C) - b \quad (2)$$

A fórmula integrada é:

$$\ln \frac{(C_s - C_1) - b}{(C_s - C_2) - b} = f \frac{A}{V} t \quad (2)$$

onde:

f = coeficiente de troca de oxigênio (mg/cm /ppm/h ou cm/h)

(C_s - C) = valor de deficit de oxigênio (mg/l)

b = valor da variação de oxigênio processado pelas reações bioquímicas. (mg/l)

A = Superfície da água de determinado trecho (m²)

V = volume da água de determinado trecho (m³)

(C_s - C₁) = deficit de oxigênio no 1º ponto (mg/l)

(C_s - C₂) = deficit de oxigênio no 2º ponto (mg/l)

t = tempo de percurso de determinado trecho (hora)

Para correção da temperatura, empregou-se o fator 1.024 (T-20)

onde: T = temperatura da água das amostras k₂

$$= 0,104 \frac{f}{H}$$

H — profundidade média hidráulica do trecho do rio em estudo (m).

b) método «pré-estimado»
Streeter — Phelps (1925) observaram que o coeficiente de reaeração varia com a velocidade e profundidade da água, estabelecendo a seguinte relação:

$$k_2 = n_1 U n_2 / Z^2 \quad (3)$$

onde:

n₁ e n₂ = constantes empíricas dependendo da condição hidráulica, declividade e grau de irregularidade do leito do rio.

U = velocidade média da água.

Z = profundidade hidráulica.

Baseando-se nesse conceito, foram elaboradas diversas fórmulas simplificadas para pré-estimar o coeficiente de reaeração. Dentre estas, foram escolhidas duas fórmulas consideradas as mais representativas na determinação do coeficiente da reaeração.

b.1) fórmula de Dobbins — O'conner

$$K_2 = 3.9 U^{1/2} H^{-3/2} 1,0183^{(T-20)} \quad (4)$$

onde:

U = velocidade média da água (m/s)

H = profundidade hidráulica (m)

T = temperatura da água (°C)

K₂ = 2,3 k₂

b.2) fórmula de Churchill

$$K_2 = \frac{5V}{R^{3/5}} \times 1.024^{(T-20^\circ\text{C})} \quad (5)$$

onde:

V = velocidade média da água (pés/s)

R = raio hidráulico (pés)

$K_2 = 2,3 k_2$.

-se a produção de oxigênio pelas algas em 0,66 mg de O_2 /1/dia.

4.3. Coeficiente de desoxigenação

A velocidade de oxidação da matéria orgânica na água depende das características físicas e bioquímicas, da concentração e do tipo de microrganismos que participam da decomposição dessa matéria orgânica.

Therriault (1927) verificou que o valor de k_1 é relativamente constante em face da variação da concentração da matéria orgânica, apresentando valor médio de $k_1 = 0,1$ ($K_1 = 0,23 k_1$). Porém, investigações posteriores a respeito da velocidade de oxidação feita em esgoto doméstico constataram que k_1 , varia de 0,07 a 0,3/dia/20°C, Ruchhoft e colaboradores (1948) encontraram também uma faixa de variação de k_1 da ordem de 0,07 a 0,25/dia/20°C dependendo da condição física e bioquímica do curso d'água. Por outro lado, Iwai e colaboradores (1961) observou que o valor de k_1 aumenta proporcionalmente com a variação da concentração da matéria orgânica na água.

Abaixo estão discriminados os valores estimados sugeridos por Fair e colaboradores (1968) para aplicação no efluente do esgoto municipal, nas situações em que não existam dados já determinados.

	k_1 (dia/20°C)	L(mg/l)
Esgoto concentrado ..	0,17	250
Esgoto diluído	0,15	150
Efluente de tratamento primário	0,15	75 - 150
Efluente de tratamento secundário	0,05 - 0,1	15 - 75

No presente trabalho, são apresentados os valores de k_1 determinados pelo método do momento (quadro 2). Os valores médios respectivamente 0,16/dia/20°C no trecho da Balsa e 0,15/dia/20°C no trecho de Monte Alegre, são considerados razoáveis tendo em vista a discussão acima exposta e a qualidade da matéria orgânica que no rio Piracicaba é constituída em grande

4. Resultado e discussão

4.1. Dados hidráulicos

No quadro 1, consta os dados hidráulicos dos dois trechos estudados, obtidos nos dias de coleta das amostras.

4.2. Condições físico e bioquímicas.

a) Trecho da Balsa.

Durante o período de estudos verificaram-se valores de D.B.O., variando entre 2 a 5 mg/l. As principais matérias poluentes são constituídas de despejos provenientes da indústria de papel e esgotos das cidades, com características de efluentes de tratamento primário devido aos lançamentos no referido rio ocorrerem através dos ribeirões afluentes (mapa 1). A água apresentava sempre coloração ligeiramente marrom e o índice de pH foi quase sempre neutro. A produção de oxigênio pelas algas foi significativa, estimando-se em 0,74 mg de O_2 /1/dia.

b) Trecho de Monte Alegre

Foram registradas concentrações mais elevadas de D.B.O., variando entre 6 e 27 mg/l nos dias de estudo. A montante deste trecho existem indústrias de papel e usinas de açúcar que lançam seus despejos diretamente ao rio. Notaram-se algumas vezes no referido trecho a passagem de grandes massas de espuma proveniente da indústria de papel. A água apresentava cor marrom clara e, o pH levemente ácido. Estimou-

QUADRO 2

Valores de k_1 (dia^{-1} a 20°C) determinado pelos métodos: do momento e fórmula clássica

DISCRIMINAÇÃO	TRECHO ESTUDADO	
	BALSA	M. ALEGRE
MÉTODO DO MOMENTO		
N.º de observações	19	22
Intervalo da variação de k_1	$0,05 < k_1 < 0,34$	$0,04 < k_1 < 0,37$
Valor médio de k_1	0,16	0,15
Intervalo da variação de k_1 com 95% de confiança.	$0,12 < k_1 < 0,20$	$0,11 < k_1 < 0,19$
FÓRMULA CLÁSSICA		
N.º de observações	10	5
Intervalo da variação de k_1	$0,38 < k_1 < 0,90$	$0,44 < k_1 < 3,21$
Valor médio de k_1	0,70	1,58
Intervalo da variação de k_1 com 95% de confiança *	—	—

* Obs.: Não foi calculado o intervalo da variação de confiança devido à insuficiência do número de observações.

parte por esgoto doméstico e despejo das usinas de açúcar, passíveis de sofrer oxidação.

Por outro lado, os valores de k_1 calculados pela fórmula clássica de um modo geral aparecem bastante elevados estando completamente desviados dos valores discutidos anteriormente. Uma das maiores dificuldades na aplicação prática dessa fórmula é que: a água do rio que contém matéria orgânica sedimentável ou flutuante devido à revolução do lodo, sofrerá uma redução ou aumento de quantidade dessa matéria orgânica, que não é devido a oxidação real processada durante o percurso considerado. Assim em um trecho do rio onde haja considerável sedimentação, pode ser encontrado um valor de k_1 bastante alto em consequência da remoção da matéria orgânica por essa sedimentação. Contrariamente onde ocorra o efeito da flutuação da matéria orgânica, os valores de k_1 serão mais baixos do que o real havendo até a possibilidade de apresentar valor negativo. A correção exata da influência desses

fenômenos da referida equação, constitui um trabalho de quase impossível realização, nas condições naturais.

Tem-se como certo que os valores elevados de k_1 obtidos no rio Piracicaba através da fórmula clássica foram devidos aos efeitos da sedimentação da matéria orgânica. No trecho da Balsa, surgiram alguns resultados de valor negativo, devido ao teor da D.B.O., no ponto de coleta situado à jusante, ser mais elevado do que a montante. Até o presente trabalho não existem outros dados que permitam esclarecer as causas de tal fato, embora haja suspeita do efeito provocado pela flutuação da matéria orgânica.

Os lançamentos de despejos das indústrias açúcareiras, que são consideradas como sendo um dos maiores contribuintes de material poluente no rio Piracicaba, variam consideravelmente de acordo com a hora e o dia, o que parece ter dificultado ainda mais a aplicação da fórmula clássica.

Outrossim, o método do momento permite determinar o valor de k_1 no laboratório, e em diferentes períodos de

incubação sem levar em conta o tempo de percurso da massa de água entre os dois pontos determinados. Portanto, os valores de k_1 encontrados por esse método representam a velocidade de oxidação da matéria orgânica existente na água naquele local do rio em que foram coletadas as amostras e onde a matéria orgânica estava sofrendo constantemente a variação bioquímica, sem haver na determinação a interferência de problemas oriundos da decantação e flutuação da matéria orgânica.

4.4. Coeficiente de reaeração (f ou k_2)

O método de determinação do coeficiente de trocas de oxigênio entre ar e água representado na equação (2) foi elaborado, baseado na teoria de Adney (1928) referente ao deficit de oxigênio dissolvido na água isto é, a taxa de redução do deficit de oxigênio dissolvido na água devido à reaeração é proporcional ao deficit de oxigênio naquele momento, sendo que este deficit expressa-se através da diferença entre a concentração da saturação e o teor de oxigênio dissolvido existente na água. Em rios contaminados existem vários fatores que interferem no equilíbrio da concentração de oxigênio na água. Na equação 2 o coeficiente de troca de oxigênio (f) é determinado através da variação dos valores relativos do deficit de oxigênio, em dois pontos ($C_s - C_1$ e $C_s - C_2$) com o tempo de percurso adequado (t), causada pelas reações bio-químicas (b) e reaeração, em função dos fatores volumétricos da massa da água

$$\left(\frac{A}{V} \right).$$

Dados de C_1 , C_2 e b podem ser obtidos através do processo dos frascos opacos e transparentes «in loco» e A , V e t , pelo levantamento hidráulico realizado no trecho do rio em estudo. Portanto, o coeficiente da troca de oxigênio (f) ou seja o valor do coeficiente da reaeração (k_2) obtido por esse método representa um valor próximo ao real nas condições naturais, uma vez que são determinados diretamente no rio todos os efeitos envolvidos na reaeração como por exemplo, os efeitos das matérias poluentes, agentes adesivos, etc.

Entretanto, a esse método são feitas algumas restrições, tais como:

- a) o processo de determinação de cada parâmetro é trabalhoso e exige precisão técnica.
- b) há necessidade de escolher um trecho do rio com significativa diferença na concentração de oxigênio nos dois pontos extremos.
- c) o efeito do vento complica a determinação do coeficiente, sendo difícil eliminar essa interferência.

Por outro lado, as fórmulas apresentadas por Dobbin's-O'conner e Churchill são simples, permitindo a determinação do referido coeficiente pelo conhecimento da profundidade e velocidade média no trecho do rio em estudo.

Essa equação embora tenha sua eficiência comprovada por vários testes apresenta algumas deficiências, isto é, os vários elementos físicos e hidráulicos que influem na reaeração da água limpa são correlacionados através de alguns fatores, a saber, velocidade, profundidade e temperatura da água do rio, não se levando em conta a reação bioquímica, a alteração da tensão superficial por agentes poluidores, etc. Segundo Kehr (1938), o valor da constante da reaeração na água corrente diminui consideravelmente pela adição de efluente de esgoto sedimentado e, por diversas substâncias existentes nos despejos.

Gameson, Truesdale e Dowing (1956) examinaram os efeitos de detergentes sintéticos, mostrando exercerem estes significativa influência na reaeração conforme o tipo e quantidade do produto. Por outro lado, segundo Churchill, a produção de oxigênio resultante da adição fotossintética, também constitui um dos fatores importantes que contribuem para a reaeração.

Como foi exposto anteriormente, notaram-se nos trechos em estudo a presença de significativas concentrações de matéria orgânica e atividade fotossintética bem como espuma proveniente da indústria de papel, principalmente no trecho de Monte Alegre, o que impede a difusão de oxigênio do ar na água.

Além disso, algumas substâncias originadas do efluente da mesma indústria tais como fenol, cloro, sulfeto, etc., conforme as concentrações poderiam

afetar o processo da demanda bioquímica do oxigênio. É necessário portanto, efetuar a correção destes fatores, ao se aplicar os métodos citados, tarefas que é bastante complexa.

A influência do vento na reaeração é também considerável. Em experiência realizada no estuário do Tâmis, notou-se um aumento desse coeficiente de 2 cm/h para 35 cm/h quando havia aceleração da velocidade do vento de 3 m/s para 10 m/s.

Embora não tenha sido possível medir a velocidade do vento em três dias de coleta, respectivamente a 06/06/69 no trecho da Balsa e 23 e 28/07/69 no trecho de M. Alegre foram registrados ventos relativamente fortes com direção inversa à da correnteza da água, e que causaram pequenas turbulências na superfície da mesma.

Os valores do coeficiente de reaeração determinadas pelo método direto (quadro 3 e 4) apresentam variações significativas conforme os dias de coleta, havendo coeficientes de reaeração maiores nos dias em que se registrou com intensidade a influência do vento. Comparando os resultados obtidos pelas três fórmulas nos dias em que não houve a influência do vento, nota-se a existência de uma correlação entre os valores dos coeficientes de reaeração medidos através do método direto e do pré-estimado pela fórmula de Dobbins-O'conner, enquanto que os obtidos com a aplicação da fórmula de Churchill se apresentam consideravelmente pequenos. Com referência a este fenômeno, Edward (1961) verificou, em experiências realizadas nos rios da Inglaterra cuja correnteza é lenta que, com a fórmula de Churchill resultaram valores muito mais baixos do que os determinados com o uso do método direto. O'conner (1962) relata que, nos seus cálculos comparativos em diversas velocidades e profundidades da água, existe concordância razoável entre os valores de k_1 , pré-estimado pelas duas fórmulas no intervalo da velocidade da água de 0,45 a 0,60 m/s. Porém, a medida que essa velocidade diminui a fórmula de O'conner apresenta maiores valores do que a de Churchill. Tais observações bem como os resultados obtidos no rio Piracicaba demonstram

uma restrição, na aplicabilidade da fórmula de Churchill para baixas velocidades da água.

Embora não tenha sido possível analisar a influência na reaeração, de cada fator acima referido, oriundos da reação bioquímica, pela análise dos dados obtidos verifica-se que existe uma razoável aplicabilidade da fórmula de Dobbins-O'conner nas condições hidráulicas e bioquímicas existentes nos trechos estudados.*

5. CONCLUSÃO

O método do momento mostrou boa aplicabilidade, ao passo que os dados obtidos pela fórmula clássica apresentaram resultados incoerentes devido à deficiência de constituição da fórmula. Observou-se, ainda, boa correlação entre os valores de coeficientes da reaeração obtidos através dos métodos diretos e da fórmula de Dobbins-O'conner, embora alguns fatores tenham interferido no efeito da reaeração.

A fórmula de Churchill demonstrou uma restrição na aplicação para baixas velocidades da água.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ADENEY, W. E. — *The dilution method of sewage disposal*. Cambridge Univer-Press, 1928. p. 64-87.
- CAMP, T. R. — *Water and its Impurities*. New York, Reinold Book, p. 287-316, 1963.
- CHURCHILL, M. A. ELMORE, H. L. and BUCKINGHAM, R. A. — *The prediction of Stream reaeration rates: advances in water pollution research*, p. 89-126, 1962.
- EDWARDS, R. W., OWENS, M. and GIBBS, J. W., — *J. Instr. Engr.* 15:394-405, 1961.
- FAIR, G. M. — *The log-difference method of estimating the constants of the 1st-stage B.O.D. demand curve*. *Sewage Works J.* 8:430-434, 1936.
- FAIR, G. M., GEYER, J. C. and OKUS, D. A. — *Water and Wastewater Engineering* — New York, John Wiley, v. 2.
- GAMESON, A. L. H. and BARNETT, M. J. — *Oxidation, Reaeration, and Mixing in the Thames Estuary oxygen relationship in streams*. Cincinnati, Robert A. Taft Sanit. Engng. Cent. 1958 (Technical Report W58-2).
- GAMESON, A. L. H., TRUESDALE, G. A. and DOWING, A. L. — *Reaeration studies in a lake land beck*. *J. Instr. Wat. Engrs.* 9:571-594, 1956.

Quadro 3

Valor de f e k₂ medidos e
pré-estimadas no trecho da Balsa
no rio Piracicaba

D A T A	MEDIDOS (20°C)		PRÉ-ESTIMADOS (20°C)	
	f (cm ⁻¹ h ⁻¹)	k ₂ (dia ⁻¹)	Form. Dobbins - O'Connor k ₂ dia ⁻¹	Form. de Churchill k ₂ dia ⁻¹
06/08/69	12,97	0,535	0,152	0,040
	8,39	0,346		
	12,69	0,523		
	10,85	0,447		
	11,03	0,454		
	10,99	0,452		
07/08/69	3,80	0,150	0,156	0,039
	3,77	0,147		
	4,27	0,174		
	2,32	0,091		
	3,67	0,140		
12/08/69	4,81	0,191	0,176	0,048
	—	—		
	4,45	0,176		
	—	—		
13/08/69	4,96	0,196	0,176	0,048
	5,19	0,214		
	5,31	0,219		
	5,81	0,240		
	5,77	0,238		
2,82	0,124			
MÉDIA	6,52	0,266	0,165	0,044

Quadro 4

Valores e f e K_2 medidos e
pré-estimados no trecho de M. Alegre
no rio Piracicaba

D A T A	MEDIDOS (20°C)		PRÉ-ESTIMADOS (20°C)	
	f(cm ⁻¹ n ⁻¹)	k ₂ (dia ⁻¹)	Form.Dobbins -O'Connor k ₂ (dia ⁻¹)	Fórm. de Churchill k ₂ (dia ⁻¹)
21/07/69	7,24	0,265	0,196	0,051
	8,11	0,296		
	8,97	0,336		
	6,75	0,245		
	4,50	0,163		
	4,40	0,163		
23/07/69	12,06	0,422	0,191	0,057
	11,50	0,402		
	11,34	0,392		
	11,64	0,553		
	6,59	0,231		
28/07/69	18,37	0,669	0,200	0,056
	9,56	0,349		
	10,60	0,378		
	14,84	0,533		
	11,72	0,426		
MÉDIA	9,89	0,364	0,196	0,055

GRA-BRETANIA. DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH - *Effects of polluting discharges on the Thames Estuary.* London, Her Majesty's Stationary Office, 1964, p. 204-207.

IWAI, S. and NAMBU, Y. - *Study about oxygen equilibrium in the stream.* Doboku-gattkal, 72:9. 1961.

KEHR, R. W. - *Measures of natural oxidation in polluted streams: IV Effect of sewage on atmospheric reaeration rates under stream-flow condition.* Sewage Works J. 10:225-240, 1938.

KLEIN, L. - London, Butterworths - *River Pollution: causes and effects.* p. 224-253, 1962.

- MOORE, E. W., THOMAS, H. A. and SNOW, W. B. — *Simplified method for analysis of B.O.D. data.* Sewage Industrial Wastes. 22:1343-1455, 1950.
- O'CONNOR, D. J. and DOBBINS, W. E. — *The mechanism of reoeration in natural streams.* Proceedings of ASCE, Sanit. Divis., 82. Paper n.º 115, p. 1-30, 1956.
- RUCHHOFT, C. C., PLACAK, O. R. and ETTINGER, M. B. — *Correction of B. O. D. velocity constants for nitrification.* Sewage Works J. 20:832-40, 1948.
- STREETER, H. W. — *Article in Modern Sewage Disposal on Disposal of sewage in inland waterways.* New York, Federation of Sewage Works Association, 1938. p. 195.
- STREETER, H. W. and PHELPS, E. B. — *Study of the pollution and natural Purification of the Ohio River.* Bull. U. S. Publ. Hlth Serv., 1925.
- THERIAULT, E. J. — *The oxygen demand of polluted waters.* U. S. Public Health Service, Bull., p. 173, 1927.
- THOMAS, H. A. — *Grafical determination of B.O.D. curve constants.* Wat. sewage Works. 97:P.123-4, 1950.
- THOMAS, H. A. — *The "slope" method of evaluating the constants of the 1st-stage B.O.D. curve.* Sewage Works J. 9:425-430, 1937.