

# Curso de Tratamento de Águas Residuárias

ENG. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

Professor Catedrático da Universidade  
de São Paulo

## CAPÍTULO 18 — (FIM DA 2.ª PARTE)

### AUTO-DEPURAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA CURVA DE DEPRESSÃO DE OXIGÊNIO

#### 18.01 — Generalidades

As águas residuárias, tratadas ou não, geralmente são encaminhadas a um corpo d'água receptor.

Um curso d'água funciona como verdadeiro organismo, capaz de ações físicas, químicas e biológicas. As águas de esgotos quando lançadas em um rio, são estabilizadas pela ação de organismos vivos presentes na água e por processos químicos nos quais é utilizado o oxigênio do ar.

Os efeitos combinados desses processos responsáveis pela estabilização das águas de esgotos em um curso d'água denominam-se “Auto-depuração” ou “Auto-purificação”.

#### 18.01 — Zonas de poluição nos cursos d'água

Em um curso d'água que recebe volumes relativamente grandes de águas residuárias, podem ser distinguidas três zonas gerais de poluição, que podem ser descritas:

##### a) Zona de degradação

Na qual têm início as decomposições das matérias orgânicas, sob a atividade bacteriana, tornando-se as águas progressivamente impróprias aos mistéres da vida.

As águas têm aspecto sujo; as plantas verdes são destruídas. Certos organismos se desenvolvem: Sphaerotilus, Leptomitus; pequenos vermes podem ser observados nos lódos: Tubifex, Limnodrilus. O teor de oxigênio dissolvido decresce rapidamente e os peixes emigram ou são destruídos. Os sólidos em suspensão começam a se depositar, constituindo bancos estercoreais. Esta zona se estende desde o ponto de lançamento até o ponto em que a taxa de OD cai a cerca de 40% da saturação.

##### b) Zona de ativa decomposição

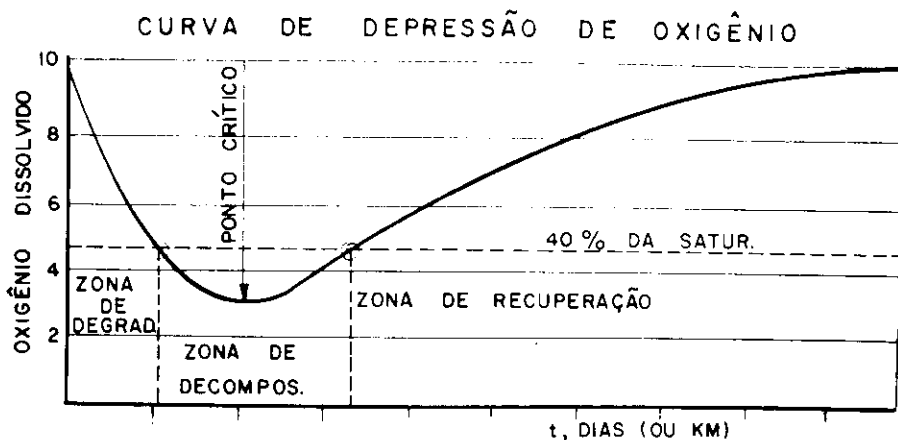
As águas apresentam-se pardacentas ou negras; nota-se o despreendimento de gases e mau cheiro. Na superfície das águas apresentam-se lódos. Nas águas verifica-se intensa decomposição dos compostos orgânicos complexos. O teor

de oxigênio dissolvido cai abaixo de 40% e não raro desce até zero. Os peixes são destruídos.

### c) Zona de recuperação

Na qual o curso d'água readquire gradativamente as suas condições normais em consequência da elaboração dos materiais, à custa do oxigênio cedido pelo ar (aeração superficial) e em parte fornecido pela ação fotosintética de vegetais que liberam o oxigênio.

As águas gradualmente vão se tornando mais claras, vegetais verdes reaparecem; os animais inferiores servem de alimento para os peixes; as substâncias solúveis são oxidadas; o oxigênio dissolvido eleva-se de cerca de 40% até o seu teor normal próximo da saturação.



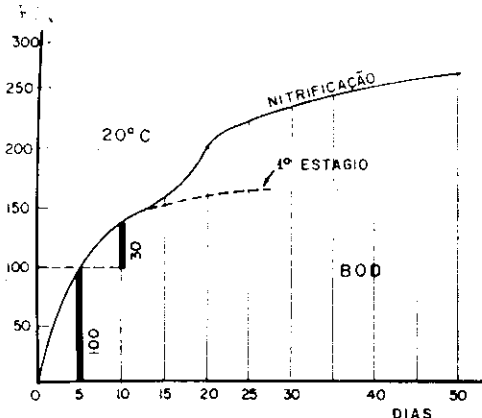
### 18.03 — BOD. Medida da Decomposição Aeróbia

Os processos de decomposição e estabilização da matéria orgânica presente nas águas residuárias, realizam-se com a utilização de oxigênio.

Nesses processos tomam parte ativa bactérias aeróbias e protozoários, verificando-se reações químicas de mineralização. Daí a denominação "Demanda Bioquímica de Oxigênio para a quantidade de oxigênio consumido.

As reações são de natureza enzimática e independem do teor de oxigênio dissolvido presente, desde que haja quantidade suficiente de oxigênio para garantir as condições aeróbias (cerca de 4 ppm ou mais).

A quantidade de oxigênio utilizado mede, portanto, indiretamente, o teor de matéria orgânica; daí a importância do ensaio.



Uma curva relativa à quantidade de oxigênio utilizado, permite distinguir dois estágios.

O primeiro estágio caracteriza-se pela diminuição crescente da quantidade de oxigênio utilizada em cada intervalo de tempo. Assim, nos primeiros cinco dias, são consumidos 100 ppm de oxigênio, ao passo que nos cinco dias seguintes, são necessários cerca de 30 ppm de oxigênio (20°C). (Isto no exemplo figurado).

Esse primeiro estágio corresponde à oxidação dos compostos de carbono e substâncias de mais fácil decomposição.

Depois de decorridos dez ou vinte dias, verifica-se que a demanda de oxigênio acelera-se rapidamente. Esse aumento de demanda corresponde ao início do "ataque" aos campestros de azoto: Nitrificação.

Ao fim de 20 a 30 dias, a demanda de oxigênio passa a ser pequena e relativamente uniforme.

No estudo da poluição dos cursos de água tem mais importância o primeiro estágio.

1º Estágio: o consumo de oxigênio nesse estágio representa um fator negativo para o curso de água. O mesmo não acontece com o 2º estágio: os nitratos são por si uma fonte de oxigênio além de favorecer o desenvolvimento de algas que produzem oxigênio.

O primeiro estágio da decomposição apresenta características ("constância" e "uniformidade") que permitem uma generalização através de uma formulação matemática. Assim, o primeiro estágio pode ser descrito, matematicamente, por uma equação de 1ª ordem:

$$y = L (1 - 10^{-k_1 t})$$

L = demanda total do 1º estágio

y = demanda verificada em um tempo qualquer

$k_1$  = constante da reação.

Como L e  $k_1$  são incógnitas, a utilização dessa equação para fins práticos apenas pode ser feita depois de uma série de observações (ensaios) que permitam determinar esses parâmetros.

O ensaio de BOD consiste em se diluir a água residuária (esgoto ou resíduo industrial) cuja demanda se quer determinar, em um certo volume de água de diluição (adequada) cujo teor de O. D. se conhece. A "perda" ou diferença de oxigênio correspondente à demanda bioquímica.

Se a água residuária tem uma pequena demanda de oxigênio, não é necessária a diluição. Neste caso tomam-se as duas amostras, uma para a determinação de O.D. na hora, e outra para idêntica determinação após cinco dias. No caso contrário em que a demanda é grande e incerta, podem se tornar necessárias várias diluições.

A água para diluição deve ter um pH entre 7,0 e 7,6, teor elevado de O.D. e uma pequena quantidade de Bicarbonato de Sódio.

Se a água residuária for desinfetada, pode tornar-se necessária a "semeadura" de bactérias e microorganismos antes da incubação.

Se a água residuária contiver ainda um agente desinfetante (cloro, p.e.), ou substâncias inibidoras, é indispensável remover esses bactericidas (descloação).

A determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio, além de exigir cinco dias, nem sempre pode ser realizada com precisão. Existem águas residuárias industriais, de natureza química contendo algumas vezes substâncias tóxicas, para as quais o ensaio de B.O.D. não é aplicável.

Para evitar essas dificuldades foi proposto um novo tipo de determinação: a Demanda Química de Oxigênio (Chemical Oxygen Demand ou COD), que se realiza com a adição à amostra de um composto oxidante, tal como o dicromato de potássio.

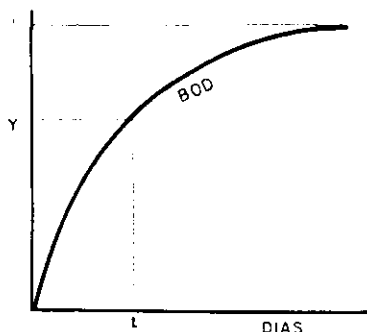
#### 18.04 — Depressão de oxigênio

- (1) Tôdas as águas naturais contêm teores variáveis de oxigênio dissolvido, raramente atingindo a saturação. Nos cursos d'água normais o deficit é relativamente pequeno, estabelecendo-se um equilíbrio entre o oxigênio dissolvido e a atmosfera.

Na tabela anexa encontram-se os valores de saturação.

- (2) O lançamento de efluentes de esgotos nos cursos d'água causa a depressão do oxigênio dissolvido de modo a satisfazer a reação da BOD das águas residuárias.

Se não ocorresse a reaeração a curva de depressão do oxigênio seria a indicada abaixo. A equação de satisfação de BOD seria:



$$y = L (1 - 10^{-k_1 t})$$

em que:

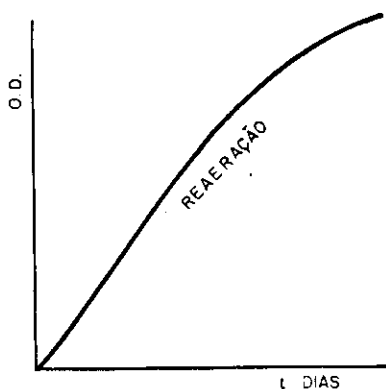
$y$  = BOD satisfeita no tempo  $t$ .

$L$  = BOD total, 1º estágio

$k_1$  = taxa de reação da BOD, admitida constante.

$t$  = tempo expresso em dias.

- (3) A reaeração das águas do curso d'água contudo, na realidade é iniciada juntamente com a depressão, tornando-se tanto mais intensa quanto maior o deficit, isto é, a diferença entre o O.D. real e o valor de saturação. A reaeração se processa de acôrdo com a equação indicada a seguir e isoladamente é mostrada na figura abaixo:



$$D_t = D_a \cdot 10^{-k_2 t}$$

onde:

$D_a$  = Deficit inicial de oxigênio dissolvido.

$D$  = Deficit de O.D. após  $t$  dias.

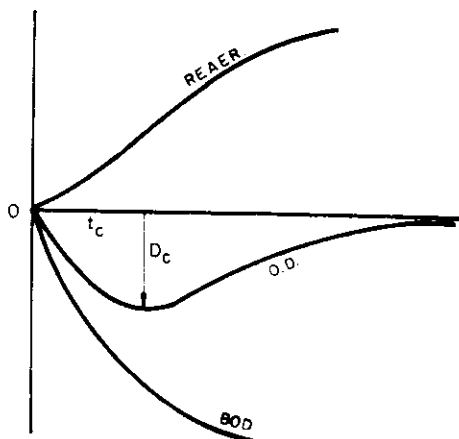
$k_2$  = Constante de reaeração (taxa da equação).

$t$  = tempo expresso em dias.

$D_t$  = Deficit de oxigênio após o tempo  $t$ .

- (4) Esses dois fatos — reação da BOD e reaeração — se verificam simultaneamente. No início a demanda de oxigênio é máxima e vai decrescendo até zero (quando se completam as reações).

A reaeração, ao contrário, praticamente nula no início, vai aumentando com o tempo até que sejam alcançadas as condições normais de equilíbrio. Assim, se forem considerados os dois efeitos combinados chega-se à curva resultante: Curva de depressão de oxigênio ou curva de oxigênio dissolvido:



A equação geral passa a ser:

$$D = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_c 10^{-k_2 t}$$

em que os símbolos empregados têm os mesmos significados.

Evidentemente há um ponto de máxima depressão onde é mínimo o oxigênio dissolvido: é o "Ponto crítico".

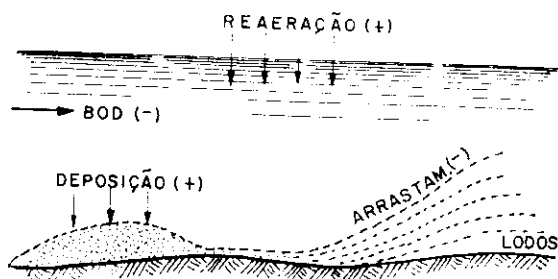
O ponto crítico ocorre após  $t_c$  dias ("tempo crítico"):

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

O deficit crítico é dado por:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot L_a \cdot 10^{-k_2 t_c}$$

- (5) Para se manter a vida aquática a taxa de oxigênio dissolvido nunca deverá cair abaixo de um certo limite. Duas e meia partes por milhão é o mínimo para a vida dos peixes (experiências do Ipiranga), porém nessas condições os peixes ficam sujeitos a doenças e degeneram, podendo ocorrer a substituição dos mais fracos pelos mais resistentes. Estabelece-se por isso como "limite sanitário" um pouco mais, 3,5 ou 4,0 ppm sendo valores comuns mínimos.
- (6) Além dos dois fatores já considerados em (2), reação da BOD ou taxa de desoxigenação, e (3) reaeração das águas, um terceiro fenômeno poderá ser levado em conta quando se investiga um certo trecho de um curso d'água: É o efeito da deposição ou do arrastamento de lodos.



Fenômenos de deposição e arrastamento

Se as condições forem tais que permitam a sedimentação e formação de depósitos de lodos, haverá uma redução no BOD que favorece o equilíbrio do oxigênio. Se, ao contrário, em um certo trecho do curso d'água e em determinadas condições de vazão e velocidade ocorrer o arrastamento e a elevação de materiais previamente depositados, resultará uma demanda adicional de oxigênio, não prevista nas equações já indicadas. Daí a necessidade de uma terceira equação que tem sido apresentada por Thomas na seguinte forma: Taxa de remoção ou de reintrodução de BOD devido à deposição ou arrastamento =  $2,3 k_r \cdot L$

mente depositados, resultará uma demanda adicional de oxigênio, não prevista nas equações já indicadas. Daí a necessidade de uma terceira equação que tem sido apresentada por Thomas na seguinte forma: Taxa de remoção ou de reintrodução de BOD devido à deposição ou arrastamento =  $2,3 k_r \cdot L$

onde:

$k_1$  = constante que depende da composição dos resíduos e das condições hidráulicas do curso d'água, e relativa à deposição e arrastamento lódos.

$L$  = BOD total, 1º est., das águas poluídas, no ponto em consideração.

Se considerarmos um longo trecho ou percurso do rio o valor de  $k_1$  será nulo; portanto a sedimentação e o arrastamento são fenômenos locais que se compensam.

Nos estudos de lançamento em que se analisa a capacidade de auto-depuração, geralmente tem sido desprezado este terceiro efeito, fazendo-se  $k_1 = 0$ .

Tal prática é justificável: Se ocorrer a sedimentação em um certo trecho do curso d'água  $k_1$  será positivo, o que freqüentemente vem a favor da segurança.

Por outro lado, o arrastamento dos materiais depositados geralmente se verifica quando a vazão do curso d'água se eleva, o que também é favorável (aumento de vazão).

#### 18.05 — Estudo das condições de lançamento

Na prática ocorrem os seguintes problemas-tipos quando se estuda o lançamento de águas residuárias nos cursos d'água \*:

Problema I: Determinação da depressão de oxigênio.

Problema II: Determinação do grau de tratamento requerido.

Problema III: Determinação da população máxima cujos despejos poderão ser recebidos por um curso d'água.

**Problema I — Determinação da depressão de oxigênio. Traçado da curva. Marcha de cálculo.**

##### 1 — Fixar a vazão média dos esgotos:

No estudo das condições de lançamento (em projeto) considerar a vazão média admitida no cálculo do sistema, ou seja a capacidade nominal da futura estação de tratamento. Para o estudo dos efeitos iniciais do lançamento considera-se a vazão média inicial correspondente à população servida existente.

##### 2 — Estabelecer as características das águas de esgoto:

a) BOD;

b) O D;

Essas características poderão ser verificadas, no caso de cidades já dotadas de serviços de esgotos ou estimadas quando se tratar de cidades que ainda não contam com redes sanitárias tendo-se por base observações em cidades vizinhas que se assemelham. Geralmente o valor de OD é zero.

##### 3 — Determinar as características do curso d'água:

a) Vazão média, vazão mínima e vazão mínima para cálculo (\*\*)

b) Velocidade média das águas.

c) BOD das águas do rio.

(\*) Notas: Embora freqüentemente indicamos simplesmente "rios" ou "cursos d'água" como corpos receptores, o problema não deverá perder o seu caráter geral ocorrendo casos em que devem ser investigadas as condições de lagoas, represas etc.

(\*\*) Um dos critérios mais adotados consiste em se considerar a vazão mínima semanal dos cursos d'água.

d) OD.

e) Investigar a existência de afluentes importantes a jusante, bem como verificar se o curso d'água em consideração aflui para outro rio não muito distante.

Nos cursos d'água que não receberam despejos a BOD é devida a "debris", fôlhas em putrefação etc., e geralmente está abaixo de 5 mg/l, sendo freqüentemente admitida igual a zero. Para esses casos o OD pode ser estimado com base nas Tabelas de solubilidade, adotando-se por exemplo 90% da saturação.

4 — Admitir as temperaturas para o estudo.

Por exemplo:

Condições extremas de verão .....	25° C
Condições extremas de inverno .....	15° C
Condições médias .....	20° C

5 — Determinar ou estabelecer os valores das constantes:

$k_1$  = constante de BOD

$k_2$  = constante de reaeração

$k_3$  = constante relativa aos depósitos (deposição e arrastamento).

O valor de  $k_1$  geralmente adotado é 0,1. O valor de  $k_2$  depende das características do curso d'água. Frequentemente o valor de  $k_3$  é zero.

Temperatura 20° C	$k_2/k_1$	$k_3$ (*)
Pequenas lagôas, pequenos lagos e remanços	0,50 a 1,0	0,05 a 0,10
Rios de escoamento muito lento, grandes lagos e represas	1,0 a 1,5	0,10 a 0,15
Grandes rios de velocidade baixa	1,5 a 2,0	0,15 a 0,20
Grandes rios de velocidade normal	2,0 a 3,0	0,20 a 0,30
Rios de escoamento rápido, córregos	3,0 a 5,0	0,30 a 0,50
Corredeiras, cascatas e quedas d'água	5,0	0,50

(\*) Para  $k_1 = 0,1$ .

Para o caso muito freqüente de rios caudalosos com velocidade normal para estudos preliminares costuma-se tomar  $k_2 = 0,24$ .

Os valores das constantes  $k_1$  e  $k_2$  podem ser convertidos para outras temperaturas, aplicando-se as seguintes expressões:

$$k_{1,t} = k_{1,20^{\circ}\text{C}} \times 1,047^{(t-20)}$$

$$k_{2,t} = k_{2,20^{\circ}\text{C}} \times 1,0159^{(t-20)}$$

6 — Verificar a BOD total 1° est. das águas de esgoto e das águas receptoras antes do lançamento:

BOD total 1° est. = coefic. x BOD 5 dias

coefic. = Dado em tabela (= 1,46 para 20° C)

7 — Determinar a BOD total 1° est. das águas do curso d'água logo após receberem os esgotos (mistura):

$$L_s = \frac{Q_{\text{esg.}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. esg.}} + Q_{\text{rio}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. rio}}}{Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}}$$

- 8 — Calcular o deficit de oxigênio no ponto de lançamento (mistura):

$$D_s = OD_{sat.} - \frac{(Q_{rio} \times OD_{rio} + Q_{esg.} \times OD_{esg.})}{Q_{rio} + Q_{esg.}}$$

Na prática algumas vezes se admite  $D_s = 0$  (Quando as condições forem muito favoráveis).

- 9 — Calcular o valor do deficit de oxigênio para diversos valores de  $t$  (tempo em dias):

$$D = \frac{k_1 L_s}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D 10^{-k_2 t}$$

O cálculo pode ser feito para 1, 2, 3, 5, 10 e 15 dias ( $t = 1, t = 2, \text{etc.}$ )

## Problema II — Determinação do grau de tratamento requerido.

### Marcha do cálculo

- 1 — Fixar a vazão média dos esgotos (V. Problema I).
- 2 — Estabelecer as características das águas de esgoto (V. Problema I).
- 3 — Determinar as características do curso d'água (V. Problema I).
- 4 — Admitir temperaturas para o estudo (V. Problema I).
- 5 — Estabelecer os valores das constantes (V. Problema I).
- 6 — Fixar as condições mínimas ou limites sanitários para o curso d'água, tendo em vista as leis e regulamentos em vigor, os usos atuais e prováveis das águas, as características da região à jusante etc.

Costuma-se limitar o OD a um mínimo compreendido entre 3,0 e 4,5 ppm (4,0 sendo um valor comum).

- 7 — Determinar o deficit crítico permissível de oxigênio, deficit máximo correspondente ao ponto crítico:

$$D_c = OD_{sat.} - OD_{min. \text{ estab.}}$$

- 8 — Calcular o deficit do oxigênio no ponto de lançamento (mistura).

$$D = OD - \frac{(Q_{rio} \times OD_{rio} + Q_{esg.} \times OD_{esg.})}{Q_{rio} + Q_{esg.}}$$

- 9 — Se o valor  $D_s$  for igual a zero ou praticamente tomado igual a zero, calcular o tempo crítico pela expressão:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_s (k_2 - k_1)}{L_s \cdot k_1} \right]$$

expressão essa que no caso se reduz a

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1}$$

- 10 — Traçar a curva, de preferência em papel milimetrado. Conhecendo-se a velocidade média das águas pode-se indicar no mesmo gráfico as distâncias quilométricas a partir do ponto de lançamento.

- 11 — Verificações: Deve-se verificar o ponto crítico em que o deficit de oxigênio é máximo, e mínimo o oxigênio dissolvido:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_s (k_2 - k_1)}{L_s \cdot k_1} \right]$$



$$D = \frac{k_2}{k_1} \cdot L \cdot 10^{-k_1 t_c}$$

A distância a que ocorrem as condições críticas será:

$$\text{Dist.} = t_c \times 86\,400 \times V_{\text{med m}^3/\text{s}} \text{ (metros)}$$

12 — Verificar o teor mínimo de OD nas águas receptoras (ponto crítico):

$$\text{OD}_{\text{min}} = \text{OD}_{\text{sat}} - D_c$$

Esse valor deverá satisfazer as condições mínimas ou limites sanitários estabelecidos em leis e regulamentos ou fixados com bases nos usos atuais ou prováveis das águas receptoras.

O mínimo admitido geralmente está compreendido entre 3,0 e 4,5 ppm.

**Observação:** Se o curso d'água receber um afluente importante ou então, se êle próprio afluir para um rio caudaloso, será necessário considerar trechos independentes, tendo em vista as variações de vazão e de oxigênio dissolvido, procedendo-se aos cálculos da maneira indicada.

10 — Calcular a carga máxima em  $\text{BOD}_{\text{total 1.º estágio}}$  que o curso d'água poderá receber, satisfazendo-se as condições limites mínimas:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot L_k \cdot 10^{-k_1 t_c}$$

$$\therefore L_k = \frac{k_2}{k_1} \cdot 10^{k_1 t_c} \cdot D_c$$

11 — Determinar o  $\text{BOD}_{\text{total 1.º estágio}}$  das águas de esgoto:

$$\text{BOD}_{\text{total 1.º est.}} = \text{Coef.} \times \text{BOD}_5 \text{ dias}$$

Coefic. dado em Tabela (= 1,46 para 20°C)

12 — Verificar o  $\text{BOD}_{\text{total 1.º est.}}$  das águas do curso d'água logo após receberem os esgotos (mistura):

$$L = \frac{Q_{\text{esg.}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. esg.}} + Q_{\text{rio}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. rio}}}{Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}}$$

13 — Investigar a necessidade de tratamento: sob o ponto de vista de auto-depuração, e com base nos padrões estabelecidos, será necessário o tratamento de esgotos se:  $L > L_k$ .

14 — Se o tratamento fôr necessário, calcular o máximo  $\text{BOD}_{\text{tot. 1.º est.}}$  permissível no efluente de esgoto para não sobrecarregar o curso d'água (acima dos limites fixados).

$$L = \frac{Q_{\text{esg.}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. efl.}} + Q_{\text{rio}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. rio}}}{Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}}$$

O valor de  $L_k$  é conhecido (item 10)

$$\therefore \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. efl.}} = \frac{(Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}) L_k - Q_{\text{rio}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. rio}}}{Q_{\text{esg.}}}$$

15 — Determinar o grau de tratamento requerido:

$$\% = \frac{\text{BOD}_{\text{total 1.º est. efl.}}}{\text{BOD}_{\text{total 1.º est. esg.}}} \times 100$$

Compara o resultado acima com as eficiências dos diversos processos de tratamento. Para seleção e adoção do processo de tratamento deverão ser ponderadas as condições técnicas e econômicas, investigando-se também os possíveis fatores adversos. (Por exemplo: a existência de certos resíduos industriais prejudiciais a determinados processos de tratamento, dificuldades no suprimento de energia elétrica etc.)

- (9') Se o valor de  $D_a$  for diferente de zero (curso d'água com alguma poluição anterior), admitir um certo BOD para o efluente da estação de tratamento, isto é, assumir um certo grau de tratamento e uma redução de BOD correspondente para as águas de esgoto.
- (10') Verificar o  $BOD_{total\ 1.0\ est.}$  das águas de esgoto e das águas receptoras antes do lançamento.

$$BOD_{total\ 1.0\ est.} = \text{Coef.} \times BOD_s \text{ dias}$$

Coefic.: Dado em tabela (= 1,46 para 20°C)

- (11') Determinar o  $BOD_{total\ 1.0\ est.}$  das águas do curso d'água logo após receberem os esgotos (mistura):

$$L_a = \frac{Q_{\text{esg.}} \times BOD_{\text{tot. 1.0 est. esg.}} + Q_{\text{rio}} \times BOD_{\text{tot. 1.0 est. rio}}}{Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}}$$

- (12') Calcular o tempo crítico. Aplica-se a expressão:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_a (k_2 - k_1)}{L_a \cdot k_1} \right]$$

- (13') Calcular o deficit crítico de oxigênio, resultante das condições admitidas em (9'):

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot L_a \cdot 10^{-k_1 t_c}$$

- (14') Se esse valor de  $D_c$  coincidir com o limite permissível (item 7) o grau de tratamento admitido em (9') é aquele que se deverá ter. No caso contrário deverá ser admitido outro BOD para o efluente da estação de tratamento, ou seja, outro grau de tratamento, repetindo-se os cálculos dos itens (10') a (13') até que por tentativas seja obtido um resultado satisfatório.

**Problema III** — Determinação da população máxima cujos despejos poderão ser recebidos por um curso d'água, obedecidos os limites de poluição tolerável.

- 1 — Estimar o volume médio das águas de esgoto por habitante em 24 horas. Para isso, pode-se basear em dados disponíveis relativos à comunidade em consideração (se já houver sistema de esgotos) ou referentes a cidades próximas e semelhantes.

Pode-se também estimar esse volume partindo-se do consumo de água:

$$\text{vo. esg./hab.dia} = \text{Vol.}_{\text{p.}} \times \text{coef. red.} + \text{Infiltração}$$

Coefic. red.: 0,70 a 1,00. Geralmente 0,75 a 0,85.

- 2 — Estabelecer as características das águas de esgoto (V. Problema I).  
 3 — Determinar as características do curso d'água (V. Problema I).  
 4 — Admitir temperaturas para o estudo (V. Problema I).  
 5 — Estabelecer os valores das constantes (V. Problema I).  
 6 — Verificar o  $BOD_{\text{tot. 1.0 est.}}$  das águas de esgoto e do rio (V. Problema I).  
 7 — Calcular o valor máximo de  $L_a$  ( $BOD_{\text{tot. 1.0 est.}}$  das águas do curso d'água logo após o ponto de lançamento — mistura —):

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

8 — Determinar a maior vazão dos esgotos que o curso d'água poderá receber:

$$L = \frac{Q_{\text{esg.}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est.}} + Q_{\text{rio}} \times \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. rio}}}{Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}}$$

$$\therefore Q_{\text{esg.}} = \frac{L_a Q_{\text{rio}} - \text{BOD}_{\text{tot. 1.º est. rio}}}{\text{BOD}_{\text{total 1.º est. esg.}} - L_a}$$

9 — Estimar a população máxima cujos despejos poderão ser lançados, a partir de  $Q_{\text{esg.}}$ .

**BOD NORMAL: RELAÇÕES PARA QUALQUER NÚMERO DE DIAS E DIFERENTES TEMPERATURAS**

Base: BOD<sub>5</sub>dias, 20.ºC = 1,00

Tempo	10.ºC	15.ºC	20.ºC	25.ºC
6 horas	0,04	0,06	0,08	0,11
12 horas	0,08	0,11	0,16	0,21
18 horas	0,12	0,17	0,24	0,32
1 dia	0,15	0,22	0,30	0,41
1,5 dia	0,22	0,31	0,43	0,56
2 dias	0,29	0,40	0,54	0,71
3	0,42	0,56	0,73	0,93
4	0,51	0,68	0,87	1,11
5	0,60	0,79	1,00	1,23
7	0,74	0,95	1,18	1,40
10	0,91	1,10	1,33	1,52
15	1,04	1,22	1,42	1,58
20	1,12	1,28	1,46	1,61
25	1,14	1,30	1,46	1,61
1.º estágio	1,17	1,32	1,46	1,61

**VALORES DE  $10^{-kt}$**

t, dias	k = 0,10	k = 0,125	k = 0,20	k = 0,24	k = 0,25
1	0,7943	0,7499	0,6310	0,5754	0,5624
2	0,6310	0,5623	0,3981	0,3311	0,3162
3	0,5012	0,4217	0,2512	0,1906	0,1778
4	0,3981	0,3162	0,1585	0,1097	0,1000
5	0,3162	0,2371	0,1000	0,0631	0,0562
7	0,1995	0,1334	0,0398	0,0209	0,0178
10	0,1000	0,0750	0,0100	0,0040	0,0032
15	0,0316	0,0133	0,0010	0	0
20	0,0100	0,0032	0	0	0

**TABELA DE SOLUBILIDADE DO OXIGÊNIO, CALCULADA PARA A ALTITUDE DE S. PAULO E PARA O NÍVEL DO MAR, COM DIFERENTES GRAUS DE SALINIDADE**

temp. °C	água doce nível do mar	água doce São Paulo	Água salgada, nível do mar (mg/l de ClNa)				
			5 000	10 000	15 000	20 000	30 000
10	10,92	9,95	10,37	9,83	9,28	8,74	7,64
11	10,67	9,73	10,14	9,60	9,07	8,54	7,47
12	10,43	9,51	9,91	9,39	8,86	8,34	7,30
13	10,20	9,30	9,69	9,18	8,67	8,16	7,14
14	9,98	9,10	9,48	8,98	8,48	7,98	6,99
15	9,76	8,90	9,27	8,78	8,30	7,81	6,83
16	9,56	8,71	9,08	8,60	8,13	7,65	6,69
17	9,37	8,54	8,90	8,43	7,96	7,50	6,56
18	9,18	8,37	8,72	8,26	7,80	7,34	6,43
19	9,01	8,21	8,56	8,11	7,66	7,21	6,31
20	8,84	8,06	8,40	7,96	7,51	7,07	6,19
21	8,68	7,91	8,25	7,81	7,38	6,94	6,08
22	8,53	7,78	8,10	7,68	7,25	6,82	5,97
23	8,38	7,64	7,96	7,54	7,12	6,70	5,87
24	8,25	7,52	7,84	7,42	7,01	6,60	5,77
25	8,11	7,39	7,70	7,30	6,89	6,49	5,68
26	7,99	7,28	7,59	7,19	6,79	6,39	5,59
27	7,86	7,16	7,47	7,07	6,68	6,29	5,50
28	7,75	7,06	7,36	6,97	6,59	6,20	5,42
29	7,64	6,96	7,26	6,88	6,49	6,11	5,35
30	7,53	6,86	7,15	6,78	6,40	6,02	5,27