

---

# Contribuição ao Projeto de Sistemas de Lagoas Aeradas Aeróbicas para o Tratamento de Esgotos Domésticos.\*

ENG.<sup>o</sup> PEDRO ALEM SOBRINHO (M. Sc, Dr.)\*\*

ENG.<sup>o</sup> MARCELO MUÑOZ RODRIGUES (M.Sc) \*\*

---

## 1. INTRODUÇÃO

Embora já utilizado há bastante tempo em vários países, o processo de lagoas aeradas para o tratamento de águas residuárias não tem merecido a mesma atenção que outros processos biológicos utilizados para este fim, provavelmente por falta de maiores informações e dados que permitam um dimensionamento adequado de sistemas de tratamento que utilizam lagoas aeradas, de modo a se obter um efluente final de boa qualidade.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar informações sobre os aspectos de maior importância, relativos às lagoas aeradas em si, e às unidades de separação de sólidos em suspensão do efluente das referidas lagoas, bem como oferecer alguns parâmetros que permitam um projeto racional de um sistema composto das unidades referidas, para o tratamento de esgotos tipicamente domésticos.

Os trabalhos foram desenvolvidos com esgoto gradeado da ERQ-Pinheiros da SABESP, que embora recebendo também despejos industriais, pode ser considerado como predominantemente de origem doméstica, e é do tipo fraco, em virtude da diluição que sofre pela entrada de água que ocorre no sistema de coleta e transporte desses esgotos.

A maior parte dos trabalhos de testes foi no período de inverno, portanto representando as condições mais desfavoráveis para os processos biológicos, que pode ser encontrada em parte do Estado de São Paulo, sendo portanto os resultados obtidos bastante seguros para a maior parte do Brasil.

## 2. O PROCESSO DE LAGOAS AERADAS

### 2.1. GENERALIDADES

Historicamente as lagoas aeradas foram desenvolvidas a partir de lagoas de estabilização, nas quais, nos períodos críticos como por exemplo, inverno, o oxigênio é fornecido por meios artificiais; foi determinado que logo após os aeradores entrarem em operação as algas desaparecem e a população microbológica presente na lagoa é semelhante a dos "Lodos Ativados".

A experiência tem demonstrado que lagoas aeradas seguidas de separação de sólidos fornecem uma eficiência de remoção de DBO bastante boa mesmo com baixas idades do lodo. A área necessária à instalação deste tipo de lagoa é, em geral da ordem de 1 a 10% daquela necessária para lagoas de estabilização do tipo fotossintético<sup>(21)</sup>.

Este tipo de processo vem se popularizando na última década e, da mesma forma, registra-se uma crescente preocupação pela pesquisa do funcionamento em diferentes condições, tanto em modelo de laboratório, piloto como em lagoa em operação normal.

Os trabalhos iniciais sobre o assunto, foram empreendidos por ECKENFELDER e colaboradores<sup>(9) (10)</sup>, D. J. O'CONNOR<sup>(17)</sup>, McKINNEY<sup>(16)</sup>, E.L. BENJES H. <sup>(5)</sup>, que formularam modelos matemáticos sobre a cinética do processo de lagoas aeradas, com abordagens diferentes em relação aos parâmetros básicos do processo.

### 2.2. TIPO DE LAGOAS AERADAS

Dependendo do grau de turbulência e da concentração de oxigênio dissolvido (O.D.) no interior da lagoa, pode-se ter dois tipos de comportamento: aeróbio e facultativo.

---

\*-- Trabalho desenvolvido na Superintendência de Pesquisas da CETESB, dentro do Convênio DAEE - CETESB.

\*\*-- Gerente da GTB - SPES - CETESB Professor do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da U.S.P.

\*\*\*-- Professor da Escola Politécnica de Quito - Equador.

## Lagoa Aerada Aeróbia

Quando se dispõe de alta turbulência, a lagoa funciona em regime de mistura completa, ou seja toda a biomassa é mantida em suspensão, o oxigênio dissolvido é distribuído por toda a massa de água, garantindo desta maneira um processo completamente aeróbio. Figura nº 1.a.

## Lagoa Aerada Facultativa

Com um grau de turbulência baixo, mas suficiente para manter uma aeração adequada parte da biomassa é decantada, sofrendo no fundo da lagoa uma decomposição anaeróbia, ao contrário da camada superior que tem um comportamento aeróbio. Figura nº 1.b.

Um parâmetro normalmente utilizado para diferenciar entre lagoas aeradas aeróbia e facultativa é a densidade de potência ( $D_p$ ) que pode ser expressa como:

$$D_p = \frac{\text{Potência fornecida à lagoa}}{\text{volume da lagoa}}$$

Vários pesquisadores sugerem determinados valores para o processo aeróbio e facultativo, citados a seguir:

REFERÊNCIA AUTOR	LAGOA AERÓBIA W/m <sup>3</sup>	LAGOA FACULTATIVA W/m <sup>3</sup>
Eckenfelder <sup>(9)</sup>	2,5 - 4,00	0,7 - 1,0
Børsh e Randall <sup>(31)</sup>	20,0	3,0 - 4,0
Bebin J. <sup>(4)</sup>	10,0 - 30,0	3,0
Ramalho <sup>(19)</sup>	> 5,0	1,0 - 5,0

Outro pesquisador, Fleckseder<sup>(2)</sup>, relaciona o volume com a densidade de potência para lagoas de mistura completa, e apresenta os seguintes valores:

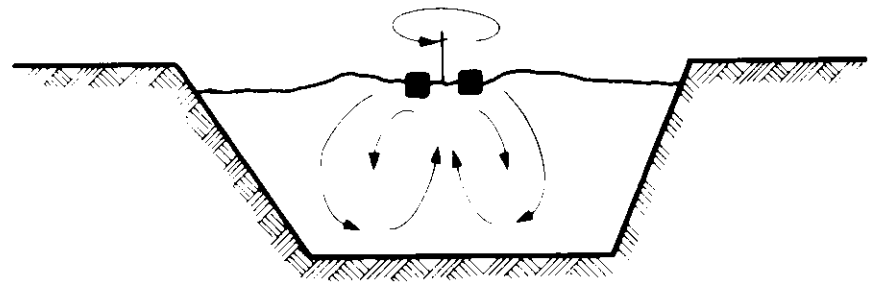
$$20 \frac{W}{m^3} \text{ para volume de lagoa de } 500 m^3$$

$$10 \frac{W}{m^3} \text{ para volume de lagoa de } 2000 m^3$$

Segundo se menciona, na Estação de Tratamento de Esgotos de NETA-NYA<sup>(2)</sup> a lagoa tem uma densidade de potência de  $2,7 \frac{W}{m^3}$  para um volume de  $14.000 m^3$  e funciona como lagoa de mistura completa.

No entanto, analisando o funcionamento de um aerador superficial o qual introduz a energia necessária para manter condições aeróbias e de mistura completa na massa de água por intermédio de um dispositivo em movimento rotatório, observa-se que em

## a) LAGOA AERADA DE MISTURA COMPLETA



## b) LAGOA AERADA FACULTATIVA

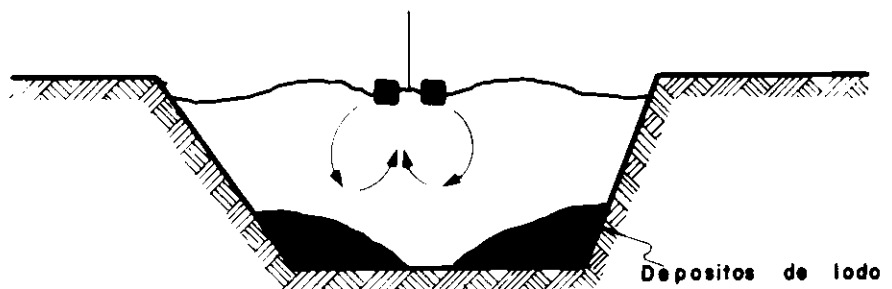


Figura 1 – Tipos de Lagoas Aeradas

conseqüência do movimento rotatório, as partículas em suspensão são afetadas por uma força centrífuga, e por isso tendem a se decantar em direção aos cantos do reator.

Por outro lado, produz-se um vértice central de eixo vertical que origina linhas de fluxo concêntricas dando como resultado um decréscimo no gradiente de velocidade à medida que aumenta o raio das mesmas, e em conseqüência, diminui o grau de turbulência.

Com a soma destes dois fenômenos, um aerador superficial trabalhando isoladamente, apresenta baixa eficiência em termos de mistura, sendo necessária potência adicional para produzir fluxos de interferência e romper o efeito dos fenômenos acima mencionados.

Os fluxos de interferência podem ser conseguidos com a instalação de mais de um aerador, sem necessidade de aumentar a potência, porém diminuindo-se o raio de influência do aerador.

Portanto com a utilização de vários aeradores a densidade de potência necessária para obtenção de regime de mistura completa, é menor que com um só aerador<sup>(30)</sup>.

A utilização de vários aeradores

uniformemente distribuídos tem efeito similar à subdivisão do reator em várias câmaras em série com o fim de se conseguir maior eficiência na mistura. A seguir apresenta-se uma curva experimental<sup>(6)</sup>, em que se relaciona à densidade de potência com o número de câmaras em mistura completa ou, como neste caso, com o número de aeradores, Figura nº 2.

Analisando a Figura nº 6, pode-se observar que, utilizando mais de um aerador, a densidade de potência necessária para se manter mistura completa se reduz consideravelmente apresentando um valor médio em torno de  $4W/m^3$ . Para se obter um bom rendimento, deve-se observar também as seguintes limitações no projeto da lagoa:

Profundidade da lagoa *	≈ 3 - 4 m
Área superficial por aerador *	< 1.599 m <sup>2</sup>
Volume por aerador *	< 6.000 m <sup>3</sup>

\* O catálogos dos fabricantes de equipamentos de aeração devem, obrigatoriamente ser consultados.

Cabe destacar, que um aerador superficial pode ser eficiente no fornecimento de oxigênio mas não ne-

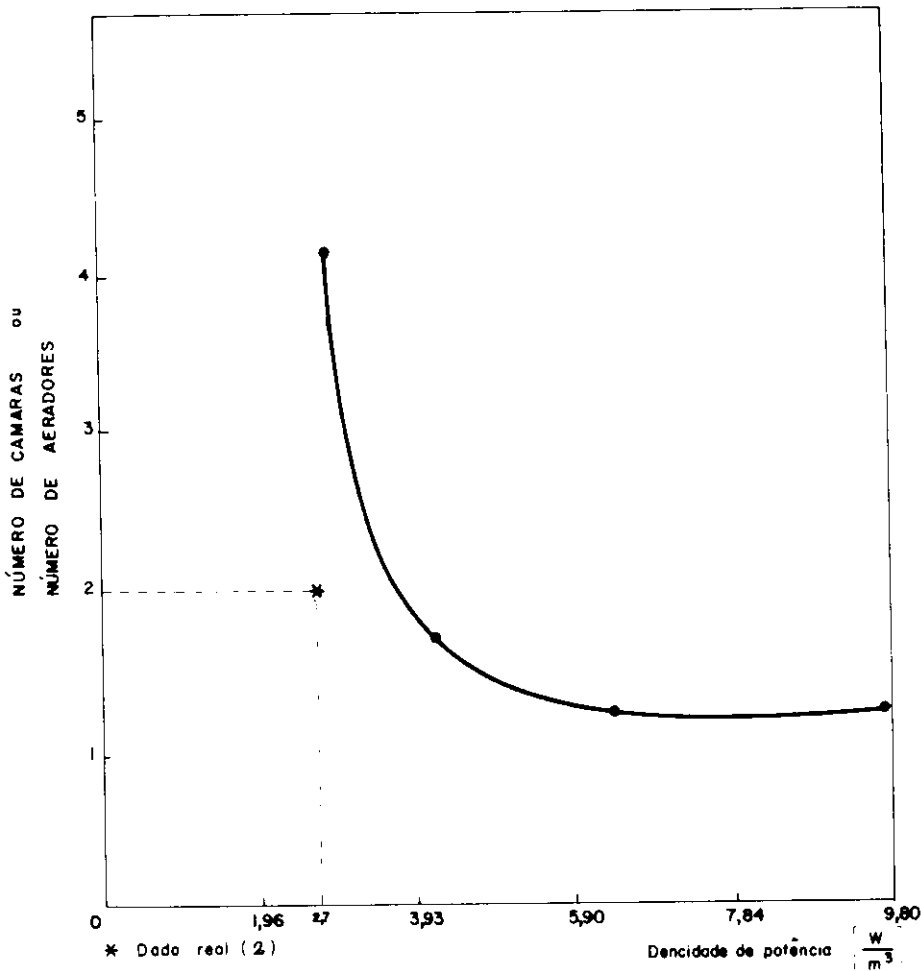


Figura 2 — Densidade de potência, em função do número de aeradores, para se obter o regime de mistura completa (6).

cessariamente eficiente quanto à mistura. Em lagoas aeradas aeróbias para o tratamento de esgoto doméstico, o fator predominante é atingir a condição de mistura completa, pois garantida esta, automaticamente a oxigenação é suficiente, quando o tempo de detenção é maior que 1 dia, pois com tempos de detensões menores a um dia a energia para fornecer o oxigênio que demanda a atividade biológica é maior que a energia necessária para manter os sólidos em suspensão<sup>(5)</sup>.

### 2.3. MODELO MATEMÁTICO PARA LAGOA AERADA AERÓBIA

As considerações teóricas, inicialmente foram desenvolvidas por ECKENFELDER e O'CONNOR<sup>(17)</sup> embora outros pesquisadores também tenham realizado análises a respeito<sup>(14) (12) (3) (26) (21) (5)</sup>. Cabe destacar que todas essas teorias têm uma mesma filosofia ao abordar o problema ou seja tomar como parâmetro básico o tempo de detenção (t) (neste caso tempo de detenção

hidráulico é igual ao tempo de detenção celular ou idade do lodo), e, portanto, o volume de lagoa (V) para uma determinada vazão. Em função disso, os valores a serem determinados serão DBO do efluente (S<sub>e</sub>) e a concentração de sólidos voláteis suspensos (X<sub>v</sub>).

A teoria se baseia em algumas hipóteses das quais são citadas a seguir, as principais.

- A estabilização da matéria orgânica é aeróbia.
- A lagoa é um reator de mistura completa.
- No efluente considera-se somente a DBO solúvel. A DBO devida aos sólidos em suspensão voláteis (SSV) é considerada separadamente.
- Condições ambientais como: chuva, percolação, e evaporação não são considerados no balanço de massas.
- A lagoa é um sistema de equilíbrio contínuo.
- A concentração de biomassa na alimentação é nula.

Esquemáticamente, o sistema de lagoas aeradas aeróbias pode ser representando, da seguinte maneira:

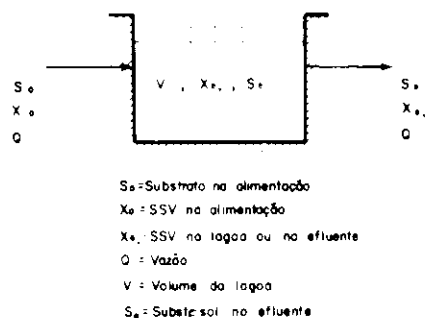


Figura 3 — Esquema com os parâmetros do processo de lagoas aeradas.

#### ● BALANÇO DE SUBSTRATO ATRAVÉS DO SISTEMA

$$\left[ \begin{array}{l} \text{TAXA DE ENTRADA} \\ \text{DE SUBSTRATO NO} \\ \text{SISTEMA} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{TAXA DE SAÍDA} \\ \text{DE SUBSTRATO NO} \\ \text{SISTEMA} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{TAXA DE REMOÇÃO} \\ \text{DE SUBSTRATO NO} \\ \text{SISTEMA} \end{array} \right]$$

$$Q S_0 = Q S_e + V \left( \frac{dF}{dt} \right) \quad (1)$$

$$\text{ou } \frac{Q}{V} (S_0 - S_e) = \frac{dF}{dt} \quad (2)$$

onde:  $\frac{dF}{dt}$  = taxa de utilização (ou remoção) de substrato por unidade de volume.

A taxa de utilização de substrato por unidade de volume tem sido representada, com sucesso, por uma equação similar à de Michaelis-Menten, usada para descrever reações catalizadas por enzimas, conforme apresentada a seguir:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{K X_v S_e}{K_s + S_e} \quad (3)$$

onde: K = máxima taxa de utilização de substrato por unidade de massa de microorganismos (tempo<sup>-1</sup>).

K<sub>s</sub> = constante de saturação, que é a concentração de substrato, para a qual a taxa de utilização é a metade de K (massa/volume).

$$\frac{dF}{dt} = q = \frac{K S_e}{K_s + S} \quad (4)$$

$\frac{dF/dt}{X_V}$  = taxa específica de utilização (ou remoção) de substrato (tempo<sup>-1</sup>) (ou massa de substrato utilizado por unidade de tempo, por unidade de massa de microorganismos).

Combinando-se as equações (2) e (3), e sendo  $V/Q = t$ , tem-se:

$$\frac{S_0 - S_e}{X_V t} = \frac{K S_e}{K_s + S_e} \quad (5)$$

Para o caso particular de  $K_s \gg S_e$ , a taxa específica de utilização de substrato pode ser aproximada para

$$\frac{dF/dt}{X_V} = \frac{K}{K_s} S_e = k S_e \quad (6)$$

onde:  $k$  = coeficiente da taxa específica de remoção de substrato, que para  $S_0$ ,  $S_e$  e  $X_V$  em mg/l e  $t$  em dias,  $k$  é expresso em l/mg x dia.

A equação (6)\* mostra que para  $K_s \gg S_e$ , a taxa específica de remoção de substrato é uma reação de primeira ordem em relação a  $S_e$  e, para este caso particular, tem-se:

$$\frac{S_0 - S_e}{X_V t} = k S_e \quad (7)*$$

A equação (7)\* é o modelo apresentado por Eckenfelder<sup>(9)</sup>, que considera válida a hipótese de que a reação de remoção de substrato é uma reação de primeira ordem em relação a  $S_e$ , especialmente para o caso em  $S_e$  é baixo, como ocorre nos tratamentos biológicos aeróbios operando eficientemente.

Também tem sido utilizado um modelo, que é basicamente o mesmo de Eckenfelder<sup>(9)</sup>, e apresentado como segue:

$$\frac{S_0 - S_e}{t} = k' S_e \quad (8)*$$

onde  $k' = k X_V$  = coeficiente da taxa global de remoção de substrato (tempo<sup>-1</sup>).

OBS.: o símbolo \* junto ao número da equação indica o caso particular de  $K_s \gg S_e$

O Valor de  $k'$  varia com a temperatura e a sua correção pode ser feita através da expressão:

$$k'_{T_2} = k'_{T_1} \theta^{(T_1 - T_2)}$$

onde:  $\theta$  = coeficiente de temperatura.

A tabela 1 apresenta valores de  $k$ ,  $k'$  e  $\theta$ , para esgotos domésticos, segundo diferentes autores.

#### ● BALANÇO DE BIOMASSA ATRAVÉS DO SISTEMA

TAXA DE VARIAÇÃO DA BIOMASSA NO SISTEMA =

= TAXA DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA PELA REAÇÃO DE SÍNTESE

- TAXA DE AUTO DESTRUÇÃO DA BIOMASSA PELA RESPIRAÇÃO ENDÓGENA

- TAXA DE SAÍDA DE BIOMASSA DO SISTEMA

$$\frac{d X_V}{dt} = Y Q (S_0 - S_e) - K_D X_V V - Q X_V \quad (9)$$

onde:  $Y$  = coeficiente de produção de biomassa, ou coeficiente de síntese celular (massa de SSV produzida/massa de substrato removido).

$K_D$  = coeficiente de respiração endógena (tempo<sup>-1</sup>). Se  $t$  em dias,  $K_D$  é dia<sup>-1</sup> (massa de SSV destruídos/massa de SSV do sistema x unidades de tempo).

Para o sistema operando em condições estacionárias, onde a biomassa do sistema permanece constante, a variação da biomassa no sistema é nula e tem-se  $dX_V/dt = 0$ , e a equação (9) pode então ser escrita como segue:

$$Q X_V = Y Q (S_0 - S_e) - K_D X_V V \quad (10)$$

Dividindo-se a equação (10) por  $V$ , tem-se:

$$\frac{X_V}{t} + K_D X_V = \frac{Y}{t} (S_0 - S_e) \quad (11)$$

$$\text{ou } X_V (1 + K_D t) = Y (S_0 - S_e) \quad (12)$$

$$\text{ou } X_V = \frac{Y (S_0 - S_e)}{1 + K_D t} \quad (13)$$

$$\text{ou } \frac{1}{t} = \frac{Y (S_0 - S_e)}{t X_V} - K_D \quad (14)$$

Combinando-se as equações (13) e (5) e isolando-se  $S_e$ , tem-se:

$$S_e = \frac{K_s (1 + K_D t)}{t (Y K - K_D) - 1} \quad (15)$$

$$\text{onde: } t = \frac{K_s + S_e}{Y K S_e - K_D (K_s + S_e)} \quad (16)$$

A equação (15) mostra que  $S_e$  é independente de  $S_0$ , para as lagoas aeradas aeróbias (com mistura completa), porém, o sistema somente terá alguma eficiência quando  $S_e$  for positivo e menor do que  $S_0$ , o que implica por esta equação, que existe um tempo de detenção mínimo para que se obtenha alguma remoção de matéria orgânica do efluente. O tempo de detenção limite mínimo ( $t_{lim-min.}$ ), acima do qual o sistema passa a ter alguma eficiência, é aquele para o qual  $S_e$  tende a  $S_0$ , e pode ser obtido a partir da equação (16), fazendo  $S_e = S_0$ .

$$t_{lim-min.} = \frac{K_s + S_0}{Y K S_0 - K_D (K_s + S_0)} \quad (17)$$

Acima desse valor do tempo de detenção, o valor de  $S_e$  descece com  $t$ , e tende assintoticamente ao valor  $S_e = K_s K_D / (Y K - K_D)$ .

A figura 4 mostra o comportamento típico de  $S_e$  e  $X_V$  em função de  $t$ , descritos pelas equações (15) e (13) respectivamente.

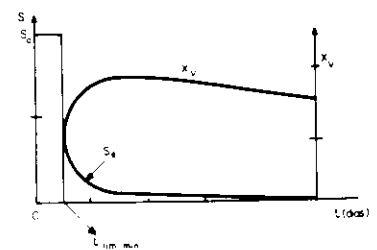


Figura 4 - Variação das concentrações de SSV ( $X_V$ ) e substrato(s) em função do tempo de detenção ( $t$ ) em uma lagoa aerada aeróbia (Equações 13, 15, 17).

Para o caso particular da reação de remoção de substrato de primeira ordem em relação  $S_e$  ( $K_s \gg S_e$ ), o valor de  $S_e$  pode ser obtido da combi-

nação das equações (13) e (7), que fornece:

$$S_e = \frac{1 + K_d t}{Y k t} \text{ ou } S_e = \frac{1}{Y k t} + \frac{K_d}{Y k} \quad (18)^*$$

e ainda para este caso particular,

$$t_{\text{lim. mín.}} = \frac{1}{Y k S_0 - K_d} \quad (19)^*$$

As equações (7)\* e (14) serão utilizadas posteriormente, para a determinação de parâmetros cinéticos, com os dados obtidos a partir de um modelo de laboratório operado pelos autores.

Uma análise da bibliografia técnica a respeito de lagoas aeradas permitiu observar uma ampla variação dos parâmetros, para diferentes tipos de despejos e condições ambientais locais.

A tabela 1, apresenta os parâmetros cinéticos do processo de lagoas aeradas aeróbias, obtidos por diferentes autores.

## 2.4. CONSUMO DE OXIGÊNIO

No processo aeróbio é necessário oxigênio para as atividades de oxidação da matéria orgânica e de respiração endógena. O consumo de oxigênio no processo pode ser expresso pela seguinte relação:

$$R_r = a' (S_0 - S_e) Q + b' X_v V \quad (20)$$

dividindo-se por  $X_v V$

$$\frac{R_r}{X_v V} = a' \frac{(S_0 - S_e)}{X_v t} + b' \quad (21)$$

onde:

$R_r$  = Oxigênio necessário (kg/dia)

$a'$  = coeficiente de utilização na síntese  $\left( \frac{\text{Kg O}_2 \text{ utilizado}}{\text{Kg substrato removido}} \right)$

$b'$  = coeficiente de utilização na respiração endógena

$$\left( \frac{\text{Kg O}_2}{\text{Kg SSV} \cdot \text{dia}} \right)$$

$S_0 - S_e$  = substrato removido ( $\text{Kg/m}^3$ )

$Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )

$X_v$  = SSV na lagoa ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  = volume da lagoa ( $\text{m}^3$ )

TABELA Nº 1 - PARÂMETROS CINÉTICOS DO PROCESSO BIOLÓGICO SEGUNDO VÁRIOS AUTORES.

COEFICIENTE DE TEMPERATURA $\theta$	COEFICIENTE DE TEMPERATURA	$k_{20^\circ\text{C}}$ mg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	$k$ 20 <sup>o</sup> C dia <sup>-1</sup>	$Y$ kg SSV kg DBO remov.	$K_d$ dia <sup>-1</sup>	$a'$ kg O <sub>2</sub> kg DBO <sub>remov.</sub>	$b'$ dia <sup>-1</sup>
METCALF & EDDY <sup>(15)</sup>	1.06 - 1.12	-	2 - 10	0.4 - 0.8	0.04 - 0.025	0.75	-
MANCINI <sup>(13)</sup>	1.06 - 1.18	-	-	-	-	-	-
ECKENFELDER <sup>(9)</sup>	1.035	-	-	-	-	-	-
McKINNEY <sup>(16)</sup>	1.05 - 1.10	0.08	-	0.5	0.2	-	-
VALENCIA <sup>(27)</sup>	-	-	-	0.49 - 0.64	0.075	0.52	-
YANEZ <sup>(29)</sup>	1.06 - 1.10	-	-	0.35 - 0.65	0.08 - 0.14	0.4 - 1.4	-
CENTER R.W.R. <sup>(6)</sup>	1.08	0.21	8	0.65	0.075	0.53	-
BALASHA <sup>(2)</sup>	1.03-1.04	0.031	6.7	0.60	0.06	0.44	0.25
THIRUMURTHI <sup>(25)</sup>	1.035 - 1.041	-	-	-	-	-	-
SORAB <sup>(24)</sup>	1.035	0.017 - 0.038	-	0.5 - 0.7	0.075 - 0.125	0.3 - 0.52	0.05 - 0.14

\* Caso particular de reação de remoção de substrato ser de 1<sup>o</sup> ordem em relação a  $S_e$   $k' = k X_v$

A equação (21) é utilizada para determinação de  $a'$  e  $b'$ , fazendo-se a medição do consumo de oxigênio por unidade de SSV e de tempo do conteúdo da lagoa.

Em lagoas aeradas pode-se expressar a quantidade de oxigênio em função de um coeficiente global de utilização ( $a$ ). Normalmente este tem um valor de  $a = 1.5$  (29).

$$R_r = a (S_0 - S_e) Q \quad (3.13)$$

Em todo caso, pode-se afirmar que se uma lagoa aerada tratando efluentes domésticos está funcionando em regime de mistura completa, o fornecimento de oxigênio está garantido, uma vez que nestas condições, em geral, a energia necessária para manter os sólidos em suspensão produz uma aeração suficiente para manter o nível de oxigênio necessário para o processo biológico aeróbio.

## 2.5. SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS DO EFLUENTE

É indispensável a separação de sólidos do efluente para que se tenha alta eficiência de tratamento.

A unidade de separação de sólidos, por lagoas de decantação, deve ser projetada tendo em consideração os seguintes cuidados:

- O tempo de detenção deve ser suficientemente longo para permitir a remoção desejada dos sólidos em suspensão.
- Deve ser previsto um volume adequado para o armazenamento e digestão do lodo.
- O desenvolvimento de algas deve ser minimizado.
- A produção de odor proveniente da decomposição do lodo sedimentado deve ser minimizada.

Na elaboração do projeto, porém, esses pontos citados nem sempre são

compatíveis. Por vezes, os baixos tempos de detenção, necessários para inibir o crescimento de algas, acabam sendo muito pequenos para se obter a sedimentação desejada. Também, deve-se manter um volume adequado de líquido sobre o depósito de lodo, durante todo o tempo, para evitar o escape dos gases mal cheirosos da decomposição do lodo sedimentado. Portanto, o volume destinado à estocagem de lodo não deve ser considerado para sedimentação. As condições ambientais do local do tratamento influirão significativamente na unidade de separação dos sólidos do efluente da lagoa aerada. O desenvolvimento de algas e a liberação de produtos de fermentação do lodo para o líquido, por exemplo, são bem mais intensos em climas quentes do que em climas frios.

Para a maioria dos casos, Adams e Eckenfelder<sup>(9)</sup> recomendam que o projeto de lagoas de decantação siga as seguintes linhas gerais:

a) Um tempo de detenção mínimo de um dia é desejável para a sedimentação da maioria dos sólidos em suspensão do efluente da lagoa aerada. Portanto, o lodo sedimentado não deve acumular até a alturas que possam ocasionar um tempo de detenção do sobrenadante inferior a um dia. O tempo de detenção do sobrenadante, calculado em um dia, pode em alguns casos ser pequeno para uma boa separação dos sólidos se ocorrer uma distribuição muito irregular dos sólidos e se canais preferenciais de escoamento ocorrerem.

b) Se o potencial de crescimento de algas é o problema, o tempo de detenção máximo de um a dois dias é recomendado. Este curto período de detenção deve minimizar o problema e impedir a floração de água ("bloom"). O crescimento de algas pode ocasionar a queda da qualidade do efluente durante certos períodos do ano. Conseqüentemente, quando a lagoa de decantação está vazia

de lodo, o máximo tempo de detenção deve ser de dois dias, para o controle de algas.

c) Para o controle de odores, é recomendado que a altura máxima de água a ser mantida sobre os depósitos de lodo seja de um metro. Em climas não muito quentes, esta camada líquida é suficiente para oxidar os sulfetos de hidrogênio e sulfatos, destruindo assim os compostos mal cheirosos. Ainda, uma camada líquida de um metro propicia condições para oxidação dos compostos orgânicos solúveis, gerados durante a decomposição anaeróbia do lodo sedimentado. No caso de verão com temperaturas elevadas (como é o caso da maioria das cidades brasileiras), ou concentrações altas de sulfetos, pode ser necessário se manter uma camada líquida de dois metros, para se evitar o desenvolvimento de problemas de odor.

Sob condições anaeróbias, cerca de 40% a 60% dos sólidos em suspensão voláteis depositados são degradados a cada ano.

Quando existir problemas de disponibilidade de área para a construção de lagoas de decantação, outras soluções para a separação dos sólidos em suspensão, como decantadores convencionais ou flotação, também poderão ser utilizados, porém, nesses casos, será necessário uma unidade de digestão do lodo, mesmo porque a tendência moderna do projeto de la-

goas aeradas é a de se trabalhar com pequenas idades do lodo, não permitindo portanto uma estabilização aeróbia do lodo.

Outra solução também utilizada é a implantação de lagoas facultativas após as lagoas aeradas, porém neste ano, o efluente final apresenta considerável quantidade de algas, o que piora a qualidade do efluente, no que se refere a DBO e SS.

### 3. TRABALHO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO PELOS AUTORES, NA CETESB.

#### 3.1. MODELO DE LABORATÓRIO

O objetivo de usar um modelo, é reproduzir em laboratório, o mais fielmente possível, os fenômenos envolvidos no processo. No caso de tratamento biológico, o modelo representa uma porção do protótipo e geralmente é desprezado o efeito de escala, que poderia originar alguma variação nos parâmetros pesquisados, mas em todo caso, assume-se que tal efeito seja desprezível.

Neste trabalho com lagoas aeradas aeróbias, o modelo utilizado é constituído basicamente por um reator com aeração suficiente para manter a oxigenação e mistura completa do conteúdo do reator, sendo que as demais partes constituem a infraestrutura para permitir as várias condições de operação inerentes à pesquisa. A Figura 5

apresenta um esquema geral do sistema de laboratório utilizado neste trabalho.

As partes constitutivas do modelo são a seguir descritas.

#### Sistema de Alimentação

O sistema empregado na alimentação consta de uma câmara de nível constante na entrada, que mantém esgoto sempre fresco, e uma bomba peristáltica, como se pode observar na Figura 5.

#### Modelo da Lagoa

O modelo da lagoa é representado por um tanque com aeração com volume total de 75 l e volume útil de 54 l e agitação suficiente para manter as condições aeróbias e de mistura completa.

#### Sistema de Aeração e Mistura

Utilizou-se o sistema de aeração por difusores distribuídos uniformemente no tanque em número de 4. Com este sistema aliado a uma vazão de ar superior a 5 l/minuto, foi possível manter a mistura completa no processo.

O nível de oxigênio dissolvido apresentou sempre valores superiores a 6 mg/l, o que significa ter sido necessária uma energia adicional para manter toda a biomassa em suspensão, em relação aos 2 mg/l de oxigênio dissolvido recomendados para processos biológicos aeróbios.

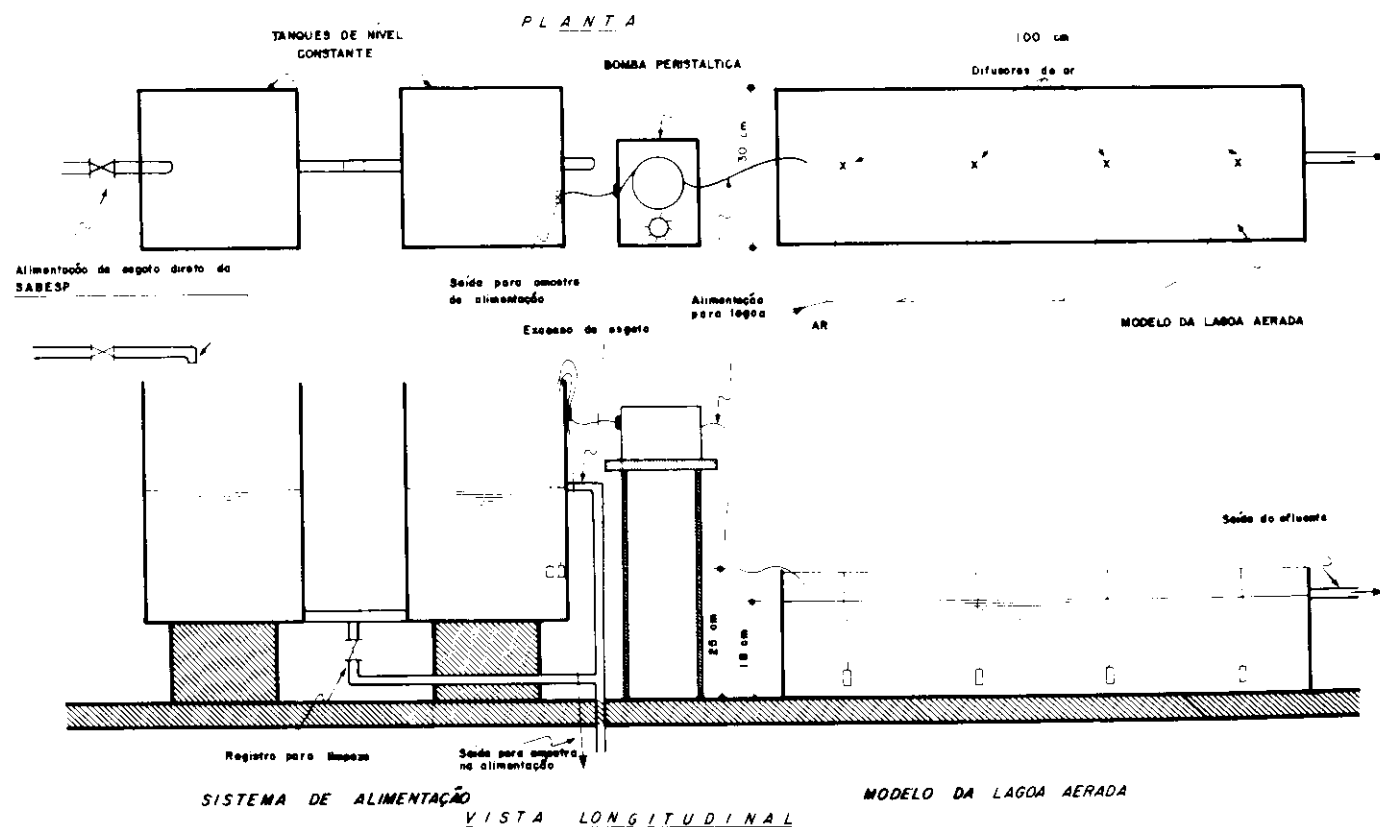


FIG. 5 - Modelo de Laboratório da Lagoa Aerada.

## Sistemas Paralelos

Com o objetivo de se obter maior número de dados sobre o efluente, instalou-se reatores semi-contínuos de mistura completa que operavam com tempos de detenção mais longos.

### 3.2. SUBSTRATO UTILIZADO

O substrato usado na alimentação do processo foi esgoto predominantemente doméstico, proveniente da estação de tratamento de esgotos de Pinheiros, da SABESP.

O fornecimento foi contínuo de modo que a alimentação era constituída por esgoto fresco.

Os principais parâmetros desse esgoto, tais como DBO, DQO, SS, SSV, pH, N são apresentados na Tabela 2 e indicam que o substrato utilizado é esgoto tipicamente doméstico, embora possa ser considerado do tipo esgoto fraco.

### 3.3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Foram programados ensaios com tempo de detenção entre 1 e 4 dias com um período inicial de aclimação de 3 a 4 vezes o respectivo tempo de detenção<sup>(28)</sup> para se atingir o regime de equilíbrio contínuo, em que foram operados entre 2 e 4 semanas.

De cada ensaio foram obtidos dados necessários para a determinação dos parâmetros cinéticos e a observação do comportamento do processo.

As determinações analíticas foram efetuadas de acordo com o seguinte esquema:

#### i) Da Alimentação

A frequência de análises foi de duas vezes por semana, sendo a amostra coletada muito próximo do local de sucção da bomba peristáltica, por meio de uma mangueira instalada para esse fim.

As determinações analíticas realizadas foram:

- Demanda Química de Oxigênio Global (material orgânico dissolvido mais em suspensão), DQO.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio Global (material orgânico dissolvido mais suspensão), DBO (5 dias, 20°C).
- Sólidos em suspensão, SS.
- Sólidos em suspensão voláteis, SSV.
- Temperatura, T.
- pH.

#### ii) Do Efluente da Lagoa

A frequência de análises foi de duas vezes por semana, sendo a amo-

stra coletada diretamente do interior da lagoa.

As determinações analíticas realizadas foram: DQO, DQO<sub>sol</sub>, DBO, DBO<sub>sol</sub>, SS, SSV, T e pH.

Foi programada outra série de ensaios e determinações analíticas sem frequência definida, realizados em datas criteriosamente escolhidas:

- Separação de sólidos do efluente da lagoa por decantação, com determinação de DQO, DBO, SS, SSV, do líquido clarificado.
- Separação de sólidos do efluente da lagoa por flotação com ar dissolvido com determinação de DQO, DBO, SS, SSV do líquido clarificado.
- Observações microscópicas no conteúdo da lagoa.
- Coliformes totais na alimentação e no efluente da lagoa.
- Nitrogênio na alimentação e no efluente da lagoa.

### 3.4. MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises foram feitas de acordo com as normas da CETESB que se baseiam no "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" da American Public Health Association — 14ª edição.

#### NORMA L5.120:

Demanda Bioquímica de Oxigênio.  
Método de diluição e incubação (20°C, 5 dias).

#### NORMA L5.121:

Demanda Química de Oxigênio.  
Método de oxidação por dicromato de potássio em meio ácido sulfúrico.

#### NORMA L5.148:

Determinação de resíduos em águas.  
Métodos gravimétricos.

#### NORMAS L5.137-L5.138-L5.139:

Para determinação de nitrogênio.

— Observações microscópicas.

### 3.5. ENSAIOS REALIZADOS PARA SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

#### 3.5.1. Separação de Sólidos em Suspensão, por Decantação.

Foi utilizado um bequer de 1000 mL como tanque de decantação com tempo de residência de uma hora, sendo as amostras para análise do sobrenadante, retiradas

ao final do teste, por sifonamento.

#### 3.5.2. Separação de Sólidos em Suspensão por Flotação com Ar Dissolvido

Foi utilizada uma unidade de flotação de laboratório simulando um sistema com recirculação de líquido. O tempo de detenção na câmara de flotação foi fixado em 10 minutos, após ensaios preliminares em que se observou que, passado este tempo, praticamente todo o ar havia sido liberado da massa de água saturada.

Este ensaio para separação de sólidos, é mais sofisticado que o anterior. Para compreender melhor os parâmetros usados, os fundamentos teóricos do processo de flotação serão apresentados em anexo a este trabalho.

### 3.6. TEMPERATURA DURANTE O TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios foram realizados no período compreendido entre os meses de abril e setembro de 1980, época em que se registram as temperaturas mais baixas do ano. Como a diminuição da temperatura origina uma queda na taxa de remoção da matéria orgânica, considera-se este período de testes como crítico para funcionamento de uma lagoa aerada no Estado de São Paulo.

A temperatura média do conteúdo da lagoa aerada, durante o período de testes, foi de 16°C.

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. RESULTADOS GERAIS DA OPERAÇÃO

Os valores das determinações analíticas para os diferentes tempos de detenção ensaiados, são apresentados na Tabela 2.

### 4.2. REMOÇÃO DO SUBSTRATO

Tomando os valores médios dos dados obtidos nos ensaios, apresentados na Tabela nº 2, calculou-se as porcentagens da remoção de carga orgânica, expressa em termos de DQO e DBO<sub>5</sub>, para os diferentes tempos de detenção.

Os resultados são apresentados nas Tabelas nº 3 e 4 e nas Figuras nºs 6 e 7.

A partir de ensaios adicionais





TABELA Nº 3 – EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DBO.

TEMPO DE DETENÇÃO τ (dias)	ALIMENTAÇÃO So	EFLUENTE			EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)		
		Se	Se <sub>S</sub>	Se <sub>D</sub>	$\frac{So - Se}{So}$	$\frac{So - Se_S}{So}$	$\frac{So - Se_D}{So}$
1	149	97	13	20	34,9	91,3	86,6
2	111	78	9	15	29,7	91,2	86,5
2,7	141	60	7	13	57,5	91,0	90,8
4,0	189	64	3	12	66,1	98,4	93,7

So = DBO<sub>5</sub> Global da Alimentação (mg/l).  
 Se = DBO<sub>5</sub> Global do Efluente da Lagoa (mg/l).  
 Se<sub>S</sub> = DBO<sub>5</sub> Solúvel do Efluente da Lagoa (mg/l).  
 Se<sub>D</sub> = DBO<sub>5</sub> Global do Líquido clarificado da decantação (mg/l).

TABELA Nº 4 – EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DQO

TEMPO DE DETENÇÃO t (dias)	ALIMENTAÇÃO So	EFLUENTES (mg/l)			EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO (%)		
		Se	Se <sub>S</sub>	Se <sub>D</sub>	$\frac{So - Se}{So}$	$\frac{So - Se_S}{So}$	$\frac{So - Se_D}{So}$
1	406	255	130	140	37,2	68,0	65,5
2	278	170	101	82	38,8	63,7	70,5
2,7	294	184	64	93	37,4	78,2	68,4
4,0	427	193	78	130	54,8	81,7	69,6

So = DQO Global da Alimentação (mg/l).  
 Se = DQO Global do efluente da lagoa (mg/l).  
 Se<sub>S</sub> = DQO Solúvel do efluente da lagoa (mg/l).  
 Se<sub>D</sub> = DQO Global do líquido clarificado da decantação (mg/l).

da lagoa, representam uma porcentagem bem significativa da DBO global do mesmo. Isto é mostrado a seguir.

Na Figura nº 9 pode-se observar que os SSV (X<sub>v</sub>) tem uma grande participação na DBO global do efluente da lagoa, podendo ser esta DBO global avaliada através da seguinte expressão:

$$DBO_{e\text{ global}} = DBO_{e\text{ solúvel}} + 0,46 X_v$$

Na Figura nº 10 tem-se correlação entre a DBO<sub>e global</sub> em função dos sólidos suspensos (X):

$$DBO_{e\text{ global}} = DBO_{e\text{ solúvel}} + 0,287X$$

A partir da correlação apresentada na Figura nº 11 observa-se que os SSV (X<sub>v</sub>) representam 75% dos SS existentes no efluente da lagoa.

Deve-se ter em conta que as correlações apresentadas nas figuras 9, 10 e 11 foram obtidas para tempos de detenção na lagoa entre 1 e 3, 6 dias, não podendo serem extrapoladas para tempos de detenção bem mais longos.

Do exposto, verifica-se que é indispensável dispor de um sistema

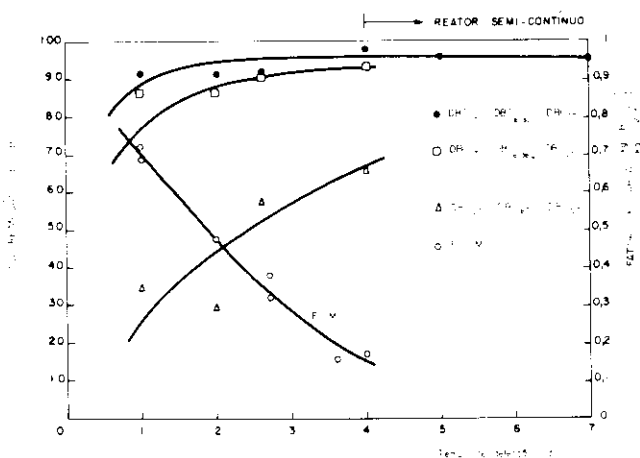


Fig. 6 – Remoção da DBO<sub>5</sub> em função do tempo de detenção

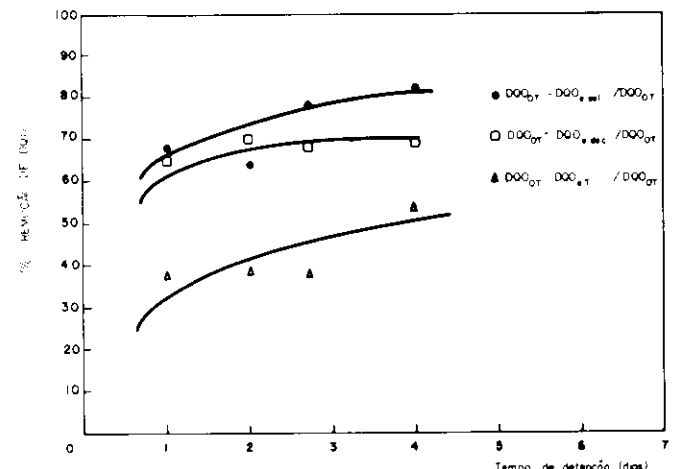


Fig. 7 – Eficiência da remoção da DQO em função do tempo de detenção.

realizados em reatores semi-contínuos, com tempos de detenção de 5,7 e 10 dias observou-se que a DBO<sub>5</sub> solúvel do efluente foi de 3 mg/l. Os resultados são apresentados na Figura nº 8.

A remoção da DBO mostrou-se em geral mais eficiente que a remoção da DQO (resultados apresentados nas Figuras nºs 10 e 11), atingindo valores máximos da ordem de 95% e 80% respectivamente, com 4 dias de tempo de detenção.

As várias curvas apresentadas nas Figuras nºs 6 e 7 mostram a eficiência de remoção da matéria orgânica, considerando DBO e DQO global, solúvel e do sobrenadante dos testes de decantação. Observa-se que a eficiência da remoção tendo por base a DBO global do efluente, apresenta valores muito baixos, atingindo um máximo do 55%. No entanto, a DBO do sobrenadante da decantação do efluente, apresenta uma remoção de 90%, o que leva à conclusão que os SSV presentes no efluente

de remoção dos SS após a lagoa de mistura completa. Este sistema de remoção de SS, pode ser uma lagoa de decantação, um decantador convencional ou um sistema de flotação. O uso de uma lagoa facultativa também é uma solução, porém apresenta um inconveniente de requerer maior área e produzir um efluente com grandes quantidades de algas.

No sistema de flotação, como para o decantador convencional é preciso que se disponha de um processo de tratamento do lodo produzi-

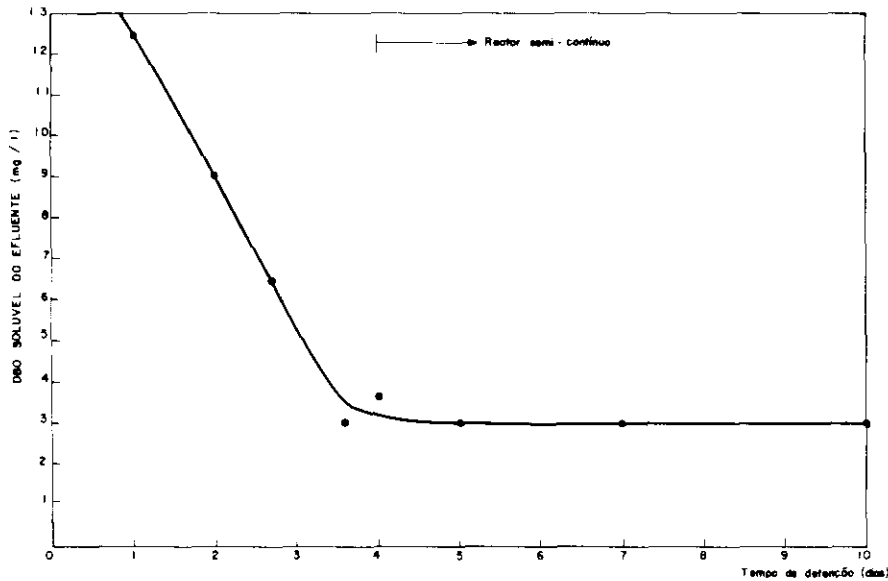


Fig. 8 - DBO<sub>5</sub> solúvel do efluente em função do tempo de detenção.

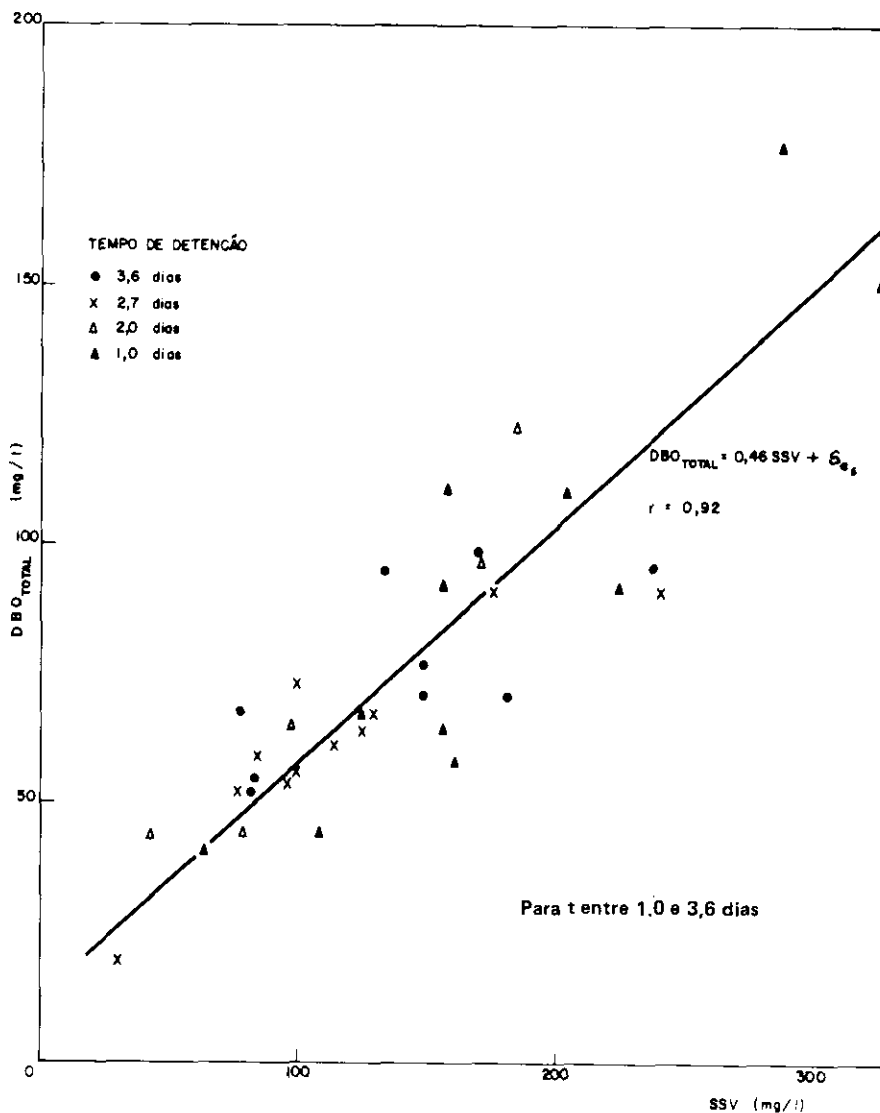


Fig. 9 - DBO<sub>5</sub> Total do efluente da lagoa em função dos SSV.

do, enquanto que nos outros dois, não é necessário.

Observa-se, nas mesmas Figuras nºs 6 e 7, que com tempos de detenção maiores de 4 dias, a remoção de

DBO e DQO permanece praticamente constante. Pode-se notar que na Figura nº 8, que com tempo de detenção de 4 dias, atingiu-se o menor valor de DBO solúvel do efluente (3 mg/l) que permaneceu cons-

tante para tempos de detenção maiores.

Nas Tabelas nºs 2 e 3, pode-se observar a variação que apresenta a concentração da matéria orgânica na alimentação. No entanto constatase que essa variação da DBO na alimentação praticamente não tem influência na DBO solúvel do efluente, para um mesmo tempo de detenção.

#### 4.3. PARÂMETROS CINÉTICOS

Dos dados apresentados na tabela 2, foram determinados os valores médios de DBO afluente e DBO solúvel do efluente para cada tempo de detenção na lagoa e construiu-se a tabela 5, cujos dados foram utilizados para a determinação de k, Y e K<sub>d</sub>.

Para a determinação do coeficiente da taxa específica de remoção de substrato (k) foi construída a figura 12, tendo como base a equação (7)\*. O valor determinado pela regressão linear foi k = 0,0517 l/mg x dia, para uma temperatura de 16°C, e com um coeficiente de correlação r = 0,998.

A correção de k para 20°C pode ser feita utilizando-se a expressão:

$$K_{T_2} = k_{T_1} \theta^{(T_2 - T_1)}$$

com T<sub>1</sub> = 16°C (temperatura média do período de ensaio)

$$T_2 = 20°C$$

$$\theta = 1,035 \text{ (valor comumente usado - Tabela 1)}$$

∴ K<sub>20°C</sub> = 0.0593 l/mg x dia, que está bem dentro da faixa de resultados apresentados na tabela 1.

Para a determinação do coeficiente de síntese celular (Y) e o coeficiente de respiração endógena (K<sub>d</sub>), foi construída a figura 13, tendo por base a equação (14).

Na figura 13 são apresentados duas curvas, uma levando em consideração os valores obtidos em todos os tempos de detenção ensaiados, e a outra excluindo os valores de tempo de detenção de 1 dia, quando a influência dos sólidos em suspensão voláteis no afluente (que foi esgoto apenas gradeado) pode ter sido razoável na concentração de SSV do reator, que

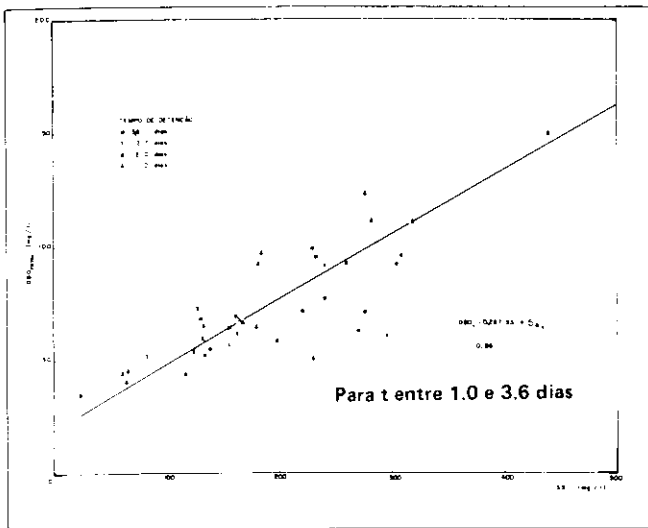


FIG. 10 – DBO<sub>5</sub> total do efluente da lagoa em função dos SS.

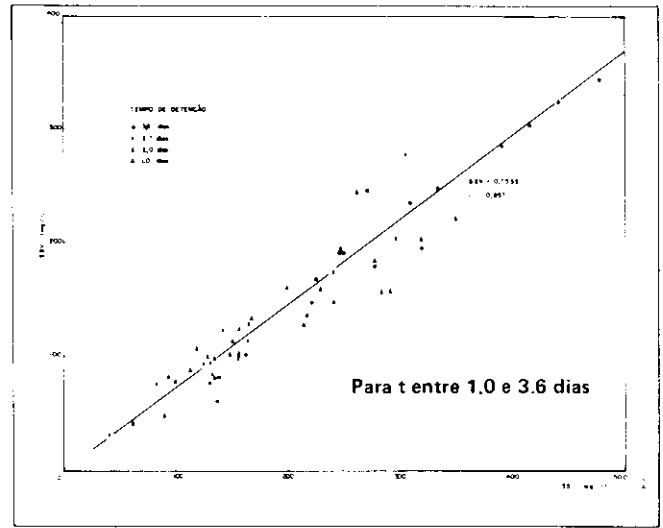


Fig. 11 – SSV em função dos SS no efluente da lagoa.

TABELA Nº 5 – TABELA AUXILIAR PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS

t dias	So DBO mg/l	Se <sub>S</sub> DBO <sub>e, sol</sub> mg/l	X <sub>v</sub> mg/l	$\frac{So - Se_S}{X_v \cdot t}$	F $\left[ \frac{KgDBO}{M \cdot KgSSV \cdot dia} \right]$	l/t
1 <sub>I</sub>	166	13	232	0,66	0,72	1
1 <sub>II</sub>	106	12	153	0,62	0,69	1
2	92	9	89	0,47	0,52	0,5
2,7 <sub>I</sub>	124	7	113	0,38	0,41	0,37
2,7 <sub>II</sub>	176	6	195	0,32	0,33	0,37
3,6	76	3	130	0,16	0,16	0,28
4,0	197	3,6	289	0,17	0,17	0,25

I, II, ensaios em diferentes épocas para um mesmo tempo de detenção.

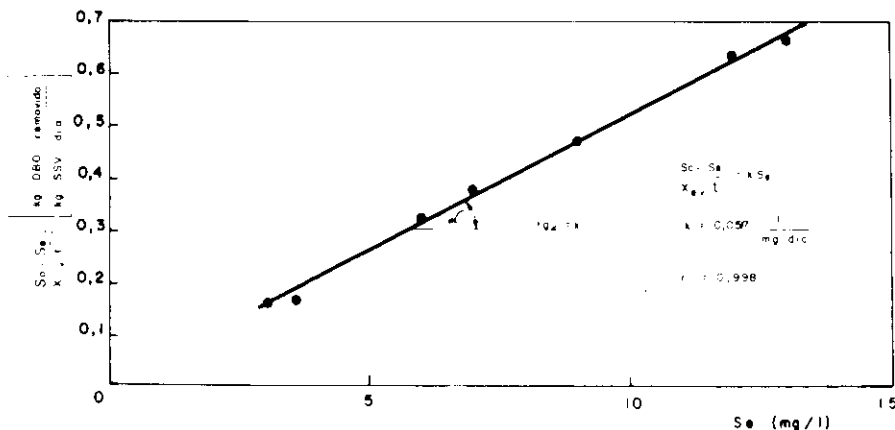


Fig. 12 – Determinação gráfica da taxa de remoção específica do substrato K.

é considerado representativo da biomassa na equação.

A reta I inclui os dados referentes a 1 dia de tempo de detenção fornecendo um valor de  $Y = 1,52 \text{ kgSSV produzidos} / \text{kgDBO removido}$  enquanto que a reta II exclui esses dados, dando

$$Y = 0,697 \frac{\text{kgSSV produzidos}}{\text{kgDBO removidos}}$$

Pode-se observar também que a correlação da reta II, ou seja, considerando os tempos de detenção entre 2 e 4 dias, é melhor que a correlação da reta I, que inclui o tempo de detenção 1 dia.

O coeficiente de produção determinado a partir da reta I (Figura nº 13) estaria indicando que o tempo de detenção de 1 dia é demasiadamente curto, de tal modo que os SSV presentes na lagoa são em boa

parte os que entraram na alimentação e que não representam a biomassa da lagoa. Já o coeficiente de produção encontrado a partir da reta II ( $Y = 0,697$ ), pode-se considerar um valor representativo, uma vez que os pontos da curva a partir do ponto de retenção de 2 dias mostram uma tendência linear constante, o que equivale dizer que os tempos de detenção são suficientemente longos, para permitir a utilização de quase toda a matéria orgânica biodegradável que entra na lagoa na forma de material em suspensão, sendo os SSV então mais representativos da biomassa para os tempos de detenção superiores a 2 dias.

Duncan Mara recomenda t maiores que 2 dias para se obter um floco de melhor qualidade, o que encontra suporte nas observações desta pesquisa.

No que se refere ao coeficiente de respiração endógena ( $K_d$ ), a correlação apresentada na Figura nº 13, não permite determinar um valor representativo deste parâmetro, porque na lagoa aerada a concentração da biomassa é muito pequena tornando-se nestas circunstâncias, um coeficiente difícil de ser avaliado. Para fim de estimativa da produção de lodo, recomenda-se usar  $K_d = 0,08 \text{ dia}^{-1}$ , conforme determinado por Alem<sup>(31)</sup> para esgotos domésticos.

#### 4.4. SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO POR DECANTAÇÃO

Os valores médios da remoção dos SS na decantação do efluente da lagoa são apresentados na Tabela nº 6. A decantação foi feita em um bequer de 1 l por um período de 1 hora. Tam-

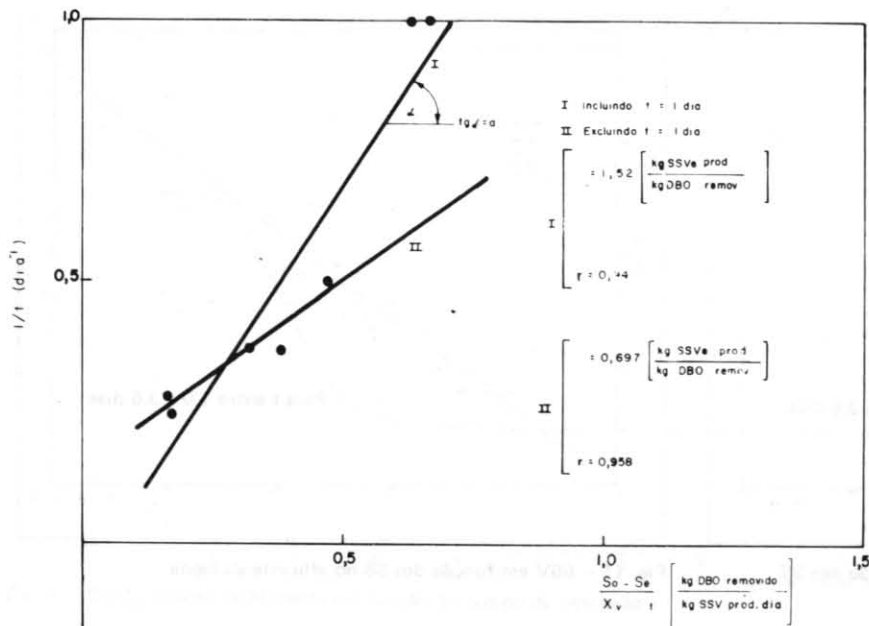


Fig. 13 - Determinação gráfica dos parâmetros  $Y$  e  $K_d$  segundo equação (14).

**TABELA Nº 6 - REMOÇÃO DOS SS DO EFLUENTE DA LAGOA EM 1 HORA DE TEMPO DE DECANTAÇÃO PARA OS DIFERENTES ENSAIOS**

t dias	SS NA LAGOA	SS NO SOBRENADANTE	% REMOÇÃO
$1_I$	304	36	88,2
$1_{II}$	199	15	92,5
2	113	18	84,1
2,7	145	14	90,3
4	380	30	92,1

$1_I, 1_{II}$ , diferentes ensaios para um mesmo tempo de detenção.

**TABELA Nº 7 - SS REMANESCENTES NO SOBRENADANTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE DECANTAÇÃO**

TEMPO DE DECANTAÇÃO minutos	TEMPO DE DETENÇÃO 2,7 dias		TEMPO DE DETENÇÃO 4 dias	
	ENSAIO I SS Sobrenadante mg/l	ENSAIO II SS Sobrenadante mg/l	ENSAIO I SS Sobrenadante mg/l	ENSAIO II SS Sobrenadante mg/l
0	165	134	318	546
5	-	-	112	148
10	77	75	-	-
15	-	-	66	104
30	33	40	30	38
60	16	28	30	10

bém foram medidos os SS remanescentes no líquido clarificado em função do tempo de decantação e os resultados constam na Tabela nº 7 e Figura nº 14.

As características da decantabilidade dos sólidos suspensos do efluente da lagoa aerada, sob as condições dos testes realizados em laboratório, segundo observado nos resultados da Tabela

nº 6, não acusaram praticamente nenhuma diferença com os tempos de detenção ensaiado acima de 2 dias, o que está de acordo com as observações microscópicas dos flocos. Cabe destacar também que os valores da remoção de sólidos suspensos obtidos (Tabela nº 6) nas condições de ensaio, não representam a remoção que realmente ocorreria na prática. Em todo caso, analisando a figura nº 14, pode-se ter uma idéia da qualidade da decantabilidade, pois observa-se que a maior quantidade dos SS decanta em um tempo inicial relativamente curto, sugerindo que uma alta porcentagem dos sólidos têm boas condições de decantação.

Na prática, para lagoas de decantação um período de decantação de um dia tem sido recomendado, prevenindo-se também um volume adicional para depósito e digestão do lodo. Para as condições climáticas do Estado de São Paulo, recomenda-se uma profundidade mínima de 3 metros, para a lagoa de decantação com o propósito de se evitar problemas de maus odores. Tempos de detenção maiores que 2 dias propiciam o aparecimento de algas na lagoa de decantação.

É recomendável que existam pelo menos duas células de decantação, para se permitir a remoção do lodo, em geral a intervalos de tempo superiores a 4 ou 5 anos.

Em experimentos desenvolvidos em paralelo, observou-se que o aumento da DBO solúvel do efluente, em sistema de laboratório simulando lagoa de decantação, devido à incorporação de produtos da digestão anaeróbia dos lodos depositados, foi sempre inferior a 5 mg/l.

#### 4.5. SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO POR FLOTAÇÃO COM AR DISSOLVIDO

Os resultados dos ensaios de flotação estão apresentados na Tabela 8.

A figura 15 apresenta os valores de SS para o líquido clarificado em função de A/Z (ar utilizado/SS do efluente da lagoa.)

A remoção dos sólidos suspensos do efluente por meio de um sistema de flotação, mostrou ser independente dos tempos de detenção igual ou superior a 2 dias, conforme os resultados apresentados na Tabela nº 8.

Observou-se que para concentrações de sólidos suspensos entre 100 e 450 mg/l no efluente submetido a ensaios, e eficiência da flotação de-

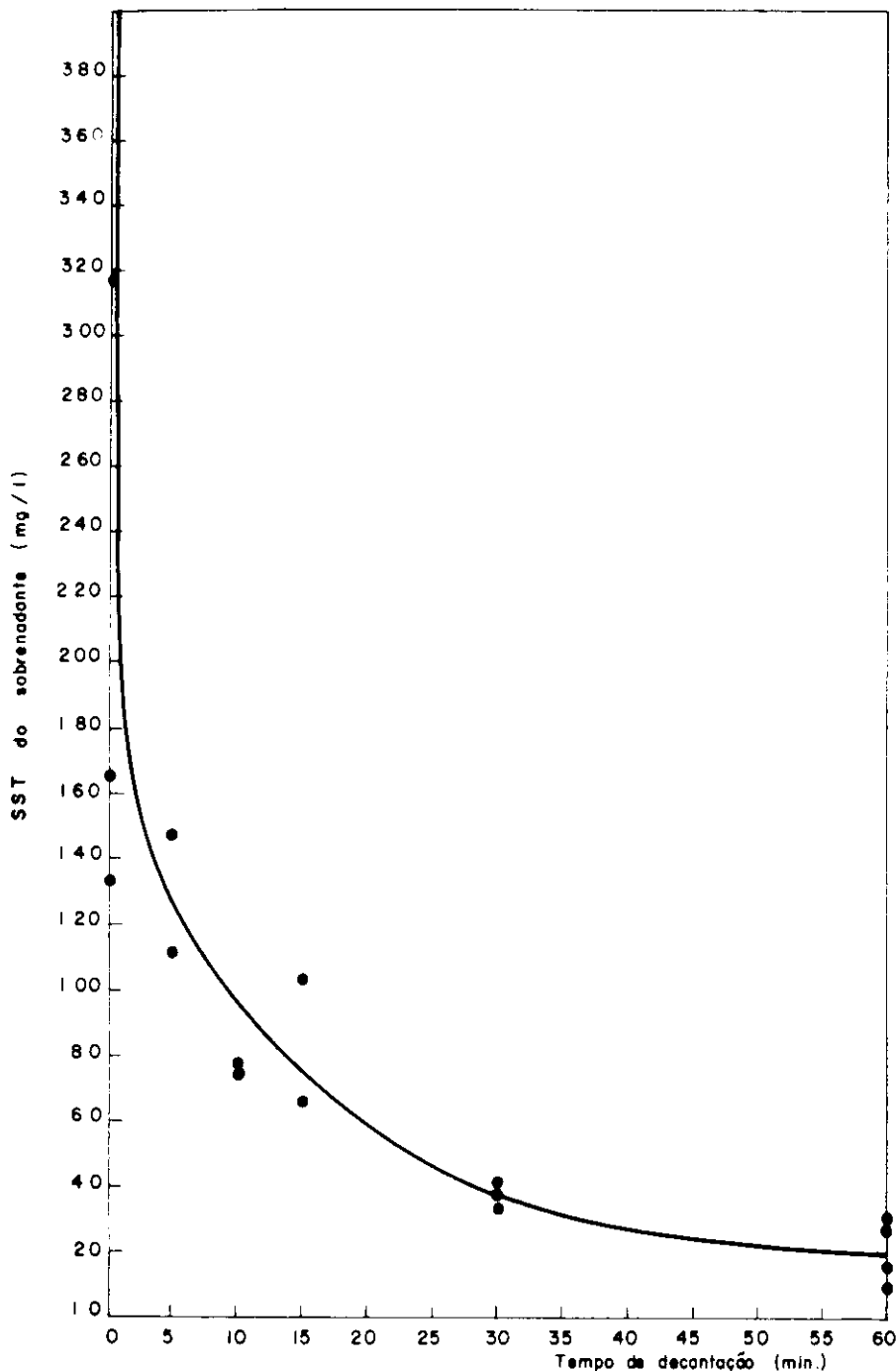


FIG. 14 – SST Remanescentes no sobrenadante em função do tempo de decantação.

pende da relação ar/sólidos, e portanto depende da pressão ( $P_1$ ) e da porcentagem da recirculação ( $q/Q$ ). Com pressões entre 3 e 4  $\text{Kg/cm}^2$  e porcentagem de recirculação entre 20 e 30%, foram obtidos valores entre 90 e 97% de remoção dos sólidos suspensos.

A curva apresentada na Figura 15, fornece o parâmetro de dimensionamento ( $\frac{A}{Z}$ ) em função dos sólidos

suspensos remanescentes no líquido clarificado. Pode-se observar que, com valores de  $\frac{A}{Z} < 0,06 \frac{\text{Kgar}}{\text{KgSS}}$ , a con-

centração dos SS, no líquido do clarificado é maior que 25  $\text{mg/l}$ , ou seja, a remoção de sólidos é relativamente baixa. Já, com valores

de  $\frac{A}{Z} > 0,10 \frac{\text{Kgar}}{\text{KgSS}}$  a concentração dos

SS remanescentes situa-se entre 5 e 10  $\text{mg/l}$ , o que indica não serem necessários valores de  $\frac{A}{Z} > 0,10 \frac{\text{Kgar}}{\text{KgSS}}$

Então a relação  $\frac{A}{Z}$  estaria entre os valores 0,06 e 0,10  $\frac{\text{Kgar}}{\text{KgSS}}$  para concentrações de SS no líquido clarificado

entre 25 e 10  $\text{mg/l}$  respectivamente.

Observou-se também, que o lodo sobrenadante, produto da flotação, tem um conteúdo de sólidos de 6%.

#### 4.6. NITRIFICAÇÃO

Dos resultados apresentados na Tabela nº 9, observa-se que permanecendo a temperatura dentro do reator mais ou menos constante (em torno de  $16^\circ\text{C}$ ) o grau de nitrificação é maior conforme aumenta o tempo de detenção, sendo que com tempo de detenção de 4 dias consegue-se uma boa nitrificação. Constatou-se também, que com os valores da temperatura em torno de  $20^\circ\text{C}$  ou mais e tempo de detenção maior de 3 dias, ocorre desnitrificação com produção de gás nitrogênio e o lodo acumulado no decantador instalado após a lagoa, sobe à superfície, em consequência das bolhas de gás contidas na massa do lodo. Por um lado, com este fenômeno da desnitrificação, reduz-se o conteúdo em nutrientes do efluente da lagoa, porém, por outro lado pode ocorrer problemas de operação na unidade de remoção de sólidos suspensos. Em todo caso, este aspecto deve ser considerado no projeto geral do sistema de tratamento.

#### 4.7. OBSERVAÇÕES AO MICROSCÓPIO

O tipo de microfauna presente na lagoa aerada é semelhante à que se desenvolve no processo de lodos ativados, no entanto as concentrações de microorganismos são bem menores.

Enquanto, a biomassa na lagoa apresenta uma concentração da ordem de 100 a 400  $\text{mg/l}$ , a biomassa atuante no processo de lodos ativados situa-se na faixa de 1.500 a 4.000  $\text{mg/l}$ . Pelo fato da microfauna alimentar-se de bactérias, uma concentração menor de sólidos suspensos voláteis leva a menores concentrações de microfauna. A microfauna caracterizou-se pela presença dos seguintes grupos de organismos: ciliados livres, ciliados pedunculados, flagelados, rizópodes, rotíferos e anelídios.

Os resultados de contagem da microfauna são apresentados na tabela nº 10.

Observou-se também que os flocos formados apresentam uma tendência a uma configuração adensada.

TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL NA CÂMARA DE FLOTAÇÃO =  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ .

t na lagoa dias	V <sub>r</sub> ml	V <sub>a</sub> ml	r	P <sub>1</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	ΔS* mg/l	X mg/l	A/Z	EFLUENTE CLARIFICADO				
								SS mg/l	TURB. UT	DQO mg/l	DBO mg/l	REMOÇÃO DE SS %
1	150	450	33	4	91,0	440	0,065	-	-	116	13	95 95,1
	150	450	33	4	91,0	260	0,11	-	-	142	18	
	150	450	33	4	91,0	276	0,11	-	-	63	9	
	150	450	33	4	91,0	180	0,16	9	18	112	-	
	150	450	33	4	91,0	184	0,16	9	13	-	-	
4	150	450	33	4	91,0	318	0,10	5	11	35	-	98,4
	150	450	33	4	91,0	414	0,074	18	13	95	8	95,7
	150	450	33	4	91,0	248	0,12	8	11	93	6	96,8
	150	450	33	4	91,0	458	0,07	20	14	102	10	95,6
2,7	150	450	33	4	91,0	244	0,12	6	-	73	-	97,5
	150	450	33	4	91,0	304	0,10	13	12	128	-	95,7
	100	500	20	4	91,0	156	0,11	10	12	84	11	94,9
	50	550	9	4	91,0	156	0,053	22	16	-	-	85,9
	100	500	20	3	67,8	240	0,057	40	22	130	20	83,3
	100	500	20	3	67,8	296	0,046	44	23	62	22	85,1
	100	500	20	4	91,0	296	0,062	20	16	-	-	93,2
	100	500	20	3	67,8	165	0,082	15	13	-	-	90,9
1	100	500	20	2	44,6	169	0,053	40	25	-	-	76,3
	100	500	20	3	67,8	169	0,08	26	17	-	-	84,6
	100	500	20	3	67,8	70	0,19	15	14	-	-	78,6
	100	500	20	3	67,8	70	0,19	15	14	-	-	78,6

TABELA Nº 8 - ENSAIO DE FLOTAÇÃO

\* temperatura na água da recirculação 25°C

V<sub>r</sub> = Volume "recirculado"

V<sub>a</sub> = Volume da amostra

$$r = \frac{V_r}{V_a} = \text{razão de recirculação}$$

P<sub>1</sub> = Pressão na câmara de compressão

X = SS

A/Z = Relação ar/sólidos.

As características morfológicas dos flocos não mostraram maiores diferenças para os diferentes tempos de detenção, (em especial acima de 2 dias), notando-se unicamente uma ligeira melhora para os tempos de detenção mais longos. Em nenhum momento ocorreu a presença de número significativo de organismos filamentosos.

#### REMOÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS

Os coliformes totais foram determinados na alimentação e no efluente da lagoa, para os diferentes tempos de detenção, usando-se o método de contagem em placas. Os dados obtidos

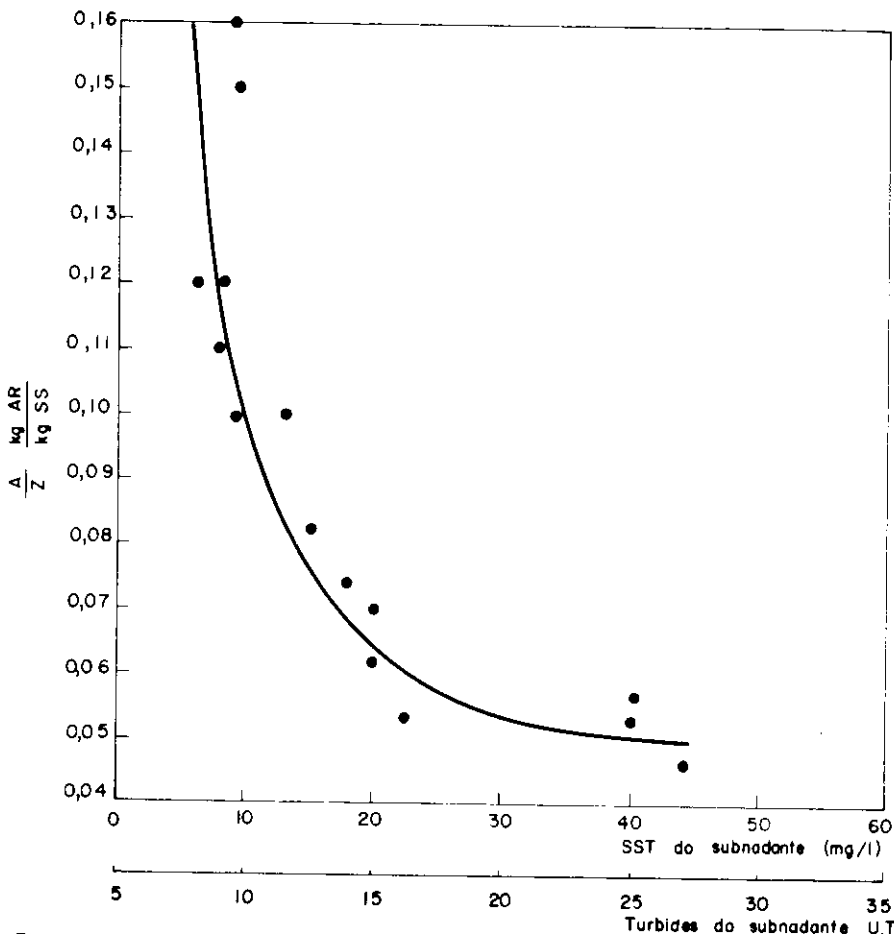


Fig. 15 - Valores de A/Z em função dos SST remanescentes no líquido clarificado com taxa de aplicação superficial no tanque de flotação =  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$ .

**TABELA Nº 9 – NITROGÊNIO NA ALIMENTAÇÃO E NO EFLUENTE**

DATA	ALIMENTAÇÃO			EFLUENTE DA LAGOA AERADA			
	N <sub>T</sub> (mg/l)	t dias	temp. °C	N <sub>T</sub> (mg/l)	N amoniacal (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)
18/06/80	36,4	2	14	17,50	11,80	2,60	2,50
25/06/80	47,0	4	—	5,58	2,48	12,50	1,90
02/07/80	28,0	4	15	5,34	1,84	12,60	0,84
09/07/80	33,6	4	—	4,37	1,85	8,50	0,90
16/07/80	30,0	2,7	15	9,00	7,40	5,50	0,45
23/07/80	39,0	1	—	15,00	12,00	3,30	0,40
30/07/80	20,0	1	16	12,00	8,00	4,10	1,10
06/08/80	24,0	1	—	18,00	14,00	2,50	0,66
14/08/80	15,0	1	—	20,0	13,8	2,90	0,70
20/08/80	34,0	1	—	22,0	15,6	2,80	1,45
27/08/80	17,0	1	—	20,0	19,0	3,30	0,39
03/09/80	11,0	1	18	17,0	16,0	3,00	0,75
10/09/80	9,50	1	—	16,0	10,4	4,40	1,18
17/09/80	47,0	1	—	70,0	21,0	5,34	0,66

**TABELA Nº 10 – VALORES MÉDIOS DE ORGANISMOS/m<sup>3</sup> EM FUNÇÃO DO TEMPO DE DETENÇÃO**

t dias	INº DE ORGANISMOS/ml x 10 <sup>2</sup>						
	Ciliados Livres	Ciliados Pedunculados	Flagelados	Rizópodes	Rotíferos	Nematóides	Anelídeos
1,0	11,2	4,8	32,1	4,1	3,1	0,1	1,3
2,0	2,4	4,5	9,5	2,4	5,3	—	1,2
2,7	3,4	1,9	14,9	2,3	2,3	0,1	0,3
4,0	3,3	0,5	1,2	2,6	5,5	0,5	1,5

**TABELA Nº 11 – DADOS DE COLIFORMES TOTAIS PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO**

DATA DA INOCULAÇÃO	TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	No (colif/ml)	Ne (colif/ml)
27/5	1	8,5 x 10 <sup>5</sup>	2,0 x 10 <sup>5</sup>
28/5		5,4 x 10 <sup>5</sup>	1,2 x 10 <sup>5</sup>
2/6		3,3 x 10 <sup>5</sup>	1,1 x 10 <sup>5</sup>
3/6		5,6 x 10 <sup>5</sup>	2,4 x 10 <sup>5</sup>
6/5	2	2,87 x 10 <sup>5</sup>	1,93 x 10 <sup>4</sup>
7/5		1,3 x 10 <sup>5</sup>	1,91 x 10 <sup>4</sup>
8/5		1,2 x 10 <sup>5</sup>	7,2 x 10 <sup>2</sup>
9/5		2,7 x 10 <sup>5</sup>	2,2 x 10 <sup>4</sup>
16/5	2,7	1,0 x 10 <sup>5</sup>	4,5 x 10 <sup>3</sup>
15/4		4,7 x 10 <sup>4</sup>	1,2 x 10 <sup>4</sup>
16/4		2,2 x 10 <sup>4</sup>	4,6 x 10 <sup>3</sup>
24/4		1,8 x 10 <sup>3</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>
25/4	4	3,0 x 10 <sup>4</sup>	1,0 x 10 <sup>2</sup>
26/4		1,5 x 10 <sup>4</sup>	4,3 x 10 <sup>2</sup>
24/6		2,7 x 10 <sup>5</sup>	3,1 x 10 <sup>4</sup>
25/6		2,8 x 10 <sup>5</sup>	2,6 x 10 <sup>4</sup>
26/6	10	1,4 x 10 <sup>5</sup>	2,5 x 10 <sup>4</sup>
1/7		2,9 x 10 <sup>5</sup>	3,5 x 10 <sup>4</sup>
26/8		2,0 x 10 <sup>5</sup>	6,3 x 10 <sup>4</sup>
29/8		8,7 x 10 <sup>5</sup>	9,9 x 10 <sup>4</sup>
3/9	10	5,5 x 10 <sup>5</sup>	4,4 x 10 <sup>4</sup>
4/9		1,3 x 10 <sup>6</sup>	1,6 x 10 <sup>4</sup>

No = nº de coliformes Totais/ml presentes na alimentação

Ne = nº de coliformes Totais/ml presentes no efluente

são apresentados na Tabela nº 11, e os valores da remoção de coliformes totais podem ser observados na Tabela nº 12 e Figura nº 16.

Utilizou-se o índice de coliformes totais como indicador da possibilidade da presença de microrganismos

patogênicos, por ser o índice de uso mais freqüente, e de fácil determinação. Além disso, o propósito desta análise é tão somente o de se ter uma idéia da eficiência do sistema de lagoas aeradas na remoção de organismo de origem fecal como um aproveitamento paralelo do sistema.

Obteve-se uma porcentagem máxima de remoção 89% para tempos de detenção superior a 4 dias conforme resultados apresentados na Figura nº 16, o que equivale a uma fração remanescente de coliformes totais da ordem de 11%, o que em termos absolutos, representa um valor muito alto do ponto de vista de Saúde Pública. Conseqüentemente, será necessário prover o sistema de um processo adicional de desinfecção para a remoção dos organismos de origem fecal, no caso em que se pretenda fazer reuso do efluente ou que comprometa a qualidade do corpo receptor.

### 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA PROJETO

- O processo de lagoa aerada aeróbia mostrou ser eficiente no tratamento de esgotos domésticos, para tempos de detenção superiores a 2 dias, desde que se faça uma separação eficiente

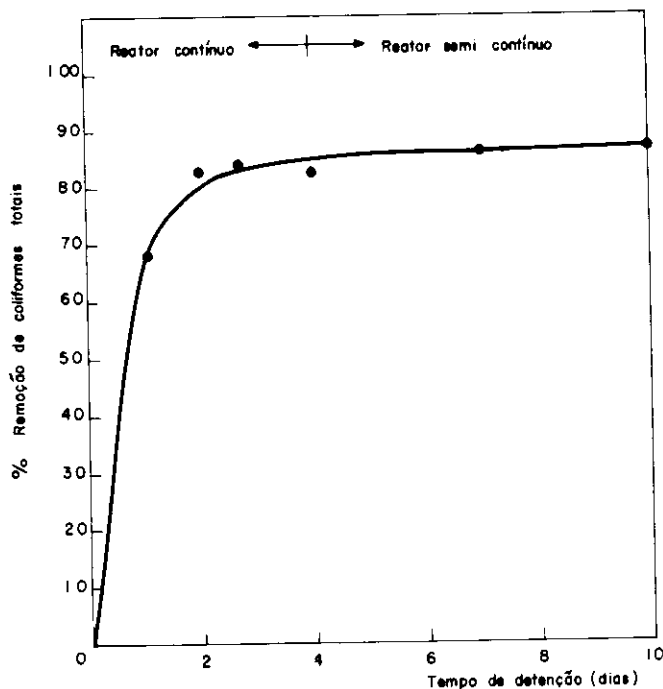


Fig. 16 – Remoção de coliformes totais em função do tempo de detenção.

dos sólidos em suspensão do efluente final. O valor mínimo da DBO solúvel do efluente foi de 3 mg/ e observado para tempos de detenção igual e superior a 4 dias.

- De modo a se ter uma boa eficiência do processo, um lodo que se separe facilmente do efluente final por

**TABELA Nº 12 – REMOÇÃO MÉDIA DE COLIFORMES TOTAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE DETENÇÃO**

TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	No (colif/ml)	Ne (colif/ml)	MÉDIA DE REMOÇÃO DE COLIF. TOTAIS
1	570000	169750	68,7%
2	184600	13124	87,1%
2.7	23580	3598	89,4%
4	246250	29550	87,2%
10	745750	55750	87%

No = Média de coliformes Totais/ml presentes na alimentação

Ne = Média de coliformes Totais/ml presentes no afluente

decantação e minimizar os efeitos de desnitrificação na unidade de separação de sólidos por decantação, recomenda-se que as lagoas aeradas aeróbias sejam projetadas com tempos de detenção próximos a 3,0 dias para locais com temperaturas semelhantes às da Região de São Paulo. Para climas mais quentes, é recomendável um tempo de detenção entre 2,0 e 3,0 dias. As lagoas devem ser projetadas para construção em etapas ou de modo a permitir operação com tempos de detenção não muito superiores aos indicados, mesmo no início de operação das mesmas. Se for desejado um efluente bem nitrificado, o tempo de detenção na lagoa aerada deverá ser igual ou superior a 5 dias.

● Para se conseguir mistura completa em lagoas aeradas, é melhor se utilizar de um número maior de aeradores de menor potência do que um número pequeno de aeradores de grande potência, pois para aquela situação, a densidade de potência necessária para mistura completa é menor. Para se estabelecer as dimensões finais da lagoa, com sua profundidade e área de influência de cada aerador, os catálogos dos fabricantes desses equipamentos devem ser obrigatoriamente consultados.

● A remoção de coliformes totais nas lagoas aeradas é pobre, deixando uma concentração remanescente no efluente muito alta.

● Para fins de estimativa da produção de lodo na lagoa (Equação 13), recomenda-se os seguintes parâmetros:

– Coeficiente de síntese celular  $Y = 0,7 \frac{\text{kg SSV produzido}}{\text{DBO removida}} / \text{kg}$

– Coeficiente de respiração endógena  $K_d = 0,008 \text{ dia}^{-1}$

● Para tempos de detenção na lagoa aerada aeróbia entre 2 e 4 dias, devem ser esperadas aproximadamente as seguintes relações:

$$SS = 0,75 \text{ SSV}$$

$$\text{DBO}_{\text{efluente}} (\text{mg/l}) = \text{DBO}_{\text{efluente solúvel}} (\text{mg/l}) + 0,46 X_v$$

$$\text{DBO}_{\text{efluente}} (\text{mg/l}) = \text{DBO}_{\text{efluente solúvel}} (\text{mg/l}) + 0,29 X$$

$$X_v = \text{SSV em mg/l} \quad \text{e} \quad X = \text{SS em mg/l}$$

● É indispensável a remoção dos SS do efluente da lagoa aerada aeróbia, para que se obtenha um efluente final de boa qualidade. A remoção dos SS pode ser feita através da utilização de lagoas de sedimentação, de sistemas de flotação ou ainda através de lagoas facultativas, sendo que a escolha do método mais conveniente depende de uma avaliação das condições locais onde se situe a estação de tratamento. O uso de decantadores convencionais ou de sistemas de flotação, implica em necessidade de unidades separadas de digestão de lodo.

● É viável a separação dos SS do efluente da lagoa por decantação, sendo que em condições de laboratório obteve-se boa remoção dos SS, dando um efluente clarificado com DBO entre 10 e 20 mg/l. No entanto, como na prática as condições de operação são diferentes, estes valores são apresentados simplesmente com o propósito de dar uma idéia da tendência dos SS a se decantar.

● O uso de lagoas de decantação

para separação dos SS do efluente das lagoas aeradas é uma solução muito atraente, pois não implica em necessidade de digestão do lodo em separado, necessita uma área relativamente pequena e é de operação e manutenção bastante simples. A DBO solúvel adicional ao efluente final, devido à liberação de produtos da digestão anaeróbia é inferior a 5 mg/l. Recomenda-se que as lagoas de lodo sejam projetadas com tempo de detenção de 2 dias (incluindo o volume destinado ao armazenamento e digestão do lodo) e com profundidade útil entre 3,5 e 4,0 m (3,0 m é aceitável, também). A camada de água mínima a ser mantida sobre o lodo, na lagoa de decantação deve ser 2,0 m, para minimizar os problemas de mal cheiro. Deve-se projetar pelo menos duas lagoas de decantação, para facilitar as operações de remoção de lodo, que normalmente ocorre a intervalos superiores a 4 ou 5 anos.

● O projeto e a operação das lagoas de decantação deve ser de tal modo a impedir que o tempo de digestão seja superior a 2 dias, mesmo para a população de início de plano do sistema de tratamento.

Os sistemas de entrada e saída da lagoa de decantação deverão ser projetados de modo a minimizar o aparecimento de caminhos de fluxo preferenciais, evitando assim a criação de "zonas mortas" na lagoa. As saídas da lagoa deverão ser protegidas por "cortinas" para evitar que os sólidos que sobem à superfície da lagoa saiam com o efluente final. Durante a operação das lagoas de decantação, deve-se "quebrar" as placas de lodo que sobem à superfície, para que as mesmas liberem os gases a ela presos e voltem ao fundo da lagoa.

● Para estimativa do acúmulo de lodo na lagoa de decantação, que permitirá estimar o período entre duas operações de remoção de lodo, pode-se considerar que de 40% a 60% dos sólidos voláteis depositados são degradados a cada ano.

● A flotação mostrou ser eficiente na remoção dos SS do efluente da lagoa aerada, sendo que a eficiência do processo é bastante dependente da relação  $\frac{\text{ar}}{\text{sólidos}} (A/Z)$ .

Os ensaios de flotação permitiram determinar que para as condições de teste de:

Pressão de saturação na câmara de compressão  $P_1 = 4,0 \text{ Kg/cm}^2$ .

$$\text{Relação de recirculação } \frac{q}{Q} = 20\%$$



Taxa de aplicação superficial de  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ , a relação  $\frac{A}{Z} = 0,06$  a  $0,10 \frac{\text{Kg ar}}{\text{Kg SS}}$  é recomendada, fornecendo um efluente clarificado com SS entre 10 a 20 mg/l (ver Figura 15).

O lodo produto da flotação apresentou uma concentração de sólidos de aproximadamente 6%.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, C. & ALEM, P. Fundamentos teóricos dos reatores biológicos e sua aplicação ao tratamento de águas residuárias. Rev. D.A.E., (113): 53-61, 1977.
- BALASHA, E. & SPERBER, H. Treatment of domestic waste in an aerated lagoon and polishing pond. Wat. Res., 9: 43-9, 1975.
- BARTSH, E.H. & RANDALL, C.W. Aerated lagoons: a report on the state of the art. J. Wat. Pollut. control Fed., 43: 699-708, 1971.
- BEBIN, J. Aerated lagging. Delft, Holland, Delft University of Technology, 1973.
- BENJES Jr., H. Theory of aerated lagoons. (Apresentado ao Second International Symposium of Waste Treatment Lagoons, Kansas City, Miss., 1970).
- CENTER FOR RESEARCH IN WATER RESOURCES. Desinguides for biological wastewater treatment process. Austin, Texas, 1971.
- CHIU, S.Y. et al. ATP pools in activated sludge. J. Wat. Pollut. control Fed., 45: 1976, 1974.
- ECKENFELDER Jr., W.W. Industrial water pollution control. Nova York, McGraw-Hill, 1966.
- ECKENFELDER Jr., W.W. & ADAMS Jr., C.L. Process design techniques for industrial waste treatment. New York, associated Water & Air Resources Engineers, 1974.
- ECKENFELDER Jr., W.W. & McCabe, B.J. Biological treatment of sewage and industrial wastes. New York, Reinhold Publishing, 1958.
- HAWKES, A.M. The ecology of waste water treatment. New York, Pergamon Press, 1963.
- KORMARIK, R.A. Design of two stage aerated laggon. J. Wat. Pollut. control Fed., 44: 451, 1972.
- MANCINI, L. J. & BARNHART, L.E. Industrial waste treatment in aerated lagoons. In: Gloyna, E.P. & ECKENFELDER Jr., W.W., e cols. Advances in water quality improvement. Austin, University of Texas Press, 1968. p. 313-24.
- METCALF, L. & EDDY, H. Tratamento y depuración de las aguas residuales. Barcelona, España, Editora Labor, 1977.
- METCALF, L. & EDDY, H. Wastewater engineering treatment disposal. 2nd ed. New Delhi Ta-McGraw-Hill, 1979.
- McKINNEY, R.E. State of the art of

aerated lagoons. (Apresentado ao Second International Symposium for Waste Treatment Lagoons, Kansas City, Miss., 1970).

- O'CONNOR, D.J. & ECKENFELDER, Jr., W.W. Treatment of organic wastes in aerated lagoons. J. Wat. Pollut. control Fed., 32: 365, 1960.
- POHL, F. A rational approach to the design of aerated lagoons. (Apresentado ao Second International Symposium of Wastes Treatment Lagoons, Kansas Miss., 1970).
- RAMALHO, R.S. Introduction to waste treatment process. New York, Academic Press, 1977.
- RICH, G. Low-maintenance mechanically simple wastewater treatment systems. New York, McGraw-Hill, 1980.
- SANYER, C.N. New concepts in aerated lagoon design and operation. In: GLOYNA, E. F. & ECKENFELDER Jr., W.W. Advances in water quality improvement. Austin, University of Texas Press, 1968, v. 1., p. 325-35.
- SCHOEDER, E. Water and waste water treatment. New York, McGraw-Hill, 1977.
- SIMPSON, R.J. Some aspects of the biochemistry of aerobic organic waste treatment. In: Symposium on waste treatment, Newcastle upon Tyne, England, 1959. Newcastle upon Tyne, University of Newcastle upon Tyne, 1959. p. 1-30.
- SORAB, A. Waste treatment methods.

Delft, Holland, Delft University of Technology, 1973.

- THIRUMURTHI, D. Design criteria for aerobic aerated lagoons. J. Environ. Engin. Div., 105: 135-48, 1979.
- TIKHE, M. L. Aerofac aerated lagoons. J. Wat. Pollut. control Fed., 47: 626-9, 1975.
- VALENCIA M.; G. Conceptos generales de tratamiento biológico. Lima, Peru, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1976.
- WHITE, S. How, to design aerated lagoon systems to meet 1977 effluent standards. Wat. Sew. Wks, 123: 85-7, mar.; 123: 82-3. April; 123: 88-9 may; 123: 90-2 jun.; 1976.
- YANEZ, F. Lagunas aeradas. Lima, Peru, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1976.
- YOUNG, R. & CHEREMISINOFF, P. Pollution engineering practice handbook. Michigan, Ann arbor Science Publishers, 1975.
- ALEM Sobrinho, P. - "A influência de Idade do Lodo e das Características Hidráulicas do Tanque de Aeração no Desempenho do Processo de Lodos Ativados. Determinação dos Parâmetros de Crescimento Biológico para Esgoto Predominantemente Doméstico". São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1951 (Tese de Doutorado).

## ANEXO

### FUNDAMENTO TEÓRICOS DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO, COM RECIRCULAÇÃO DE LÍQUIDOS

O diagrama esquemático do processo é representado na Figura A.1.

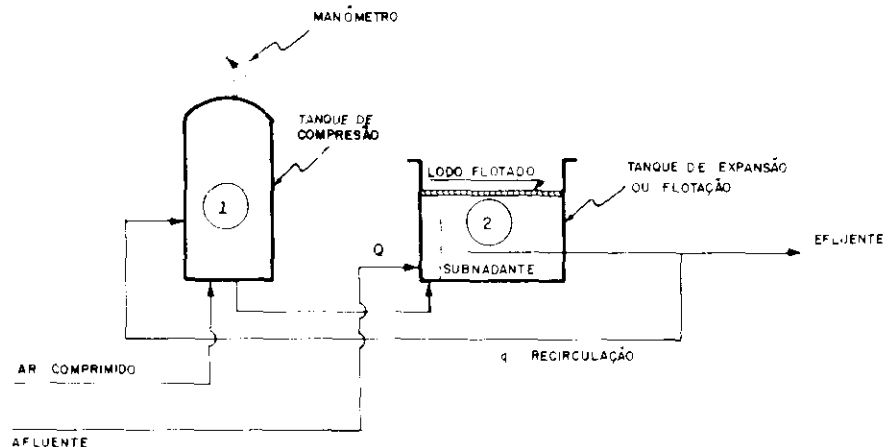


Figura A.1 – Esquema de unidade de flotação com recirculação

AR LIBERADO NO PROCESSO

$$S_1 = \alpha P_{abs1}$$

$S_1$  = solubilidade do ar em água em (1) (mg/l);

$$S_2 = \alpha P_{abs2}$$

$S_2$  = solubilidade do ar em água em (2) (mg/l);

$$P_{abs} = \text{Pressão absoluta (Kg/cm}^2\text{)}$$

E, sendo a solubilidade proporcional à pressão:

onde  $\alpha$  é um coeficiente de proporcionalidade

A concentração de ar liberada  $\Delta S$  na câmara de expansão será:

$$\Delta S = S_1 - S_2$$

ou  $\Delta S = \alpha P_{abs_1} - \alpha P_{abs_2}$

$$\Delta S = \alpha (P_{abs_1} - P_{abs_2}) \quad (A.1)$$

a solubilidade do ar ( $S_a$ ) à pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) é:

$$S_a = \alpha P_{atm} \quad (A.2)$$

dividindo (5.1.) por (5.2.)

$$\frac{\Delta S}{S_a} = \frac{P_{abs_1} - P_{abs_2}}{P_{atm}}$$

mas,

$$P_{abs_2} = P_{atm}$$

$$P_{abs_1} = P_1 + P_{atm}$$

onde  $P_1$  = pressão manométrica em (1)

$$\therefore \frac{\Delta S}{S_a} = \frac{P_1 + P_{atm}}{P_{atm}} - 1$$

$$\frac{\Delta S}{S_a} = \frac{P_1}{P_{atm}} \quad (A.3)$$

Em condições reais multiplica-se o valor de  $S_1$  por um coeficiente que depende da qualidade do líquido onde se faz a saturação do ar, chamado fração de solubilidade ( $f$ ).

$$\text{Logo, } \Delta S = S_a \left[ f \left( \frac{P_1}{P_{atm}} + 1 \right) - 1 \right] \quad (A.4)$$

Em condições de laboratório com o líquido clarificado que retorna à câmara de compressão de boa qualidade, pode-se adotar  $f = 1$ .

Os valores de  $S_a$  em água encontram-se tabelados em função da temperatura do líquido e da pressão<sup>(9)</sup>.

#### RELAÇÃO DE RECIRCULAÇÃO

A recirculação de parte do líquido clarificado alimenta o tanque de compressão onde é saturado com ar dissolvido o qual depende da pressão aplicada e da temperatura.

A vazão de recirculação é uma fração da vazão de alimentação do sistema, sendo esta relação expressa como segue:

$$r (\%) = \frac{q}{Q} \cdot 100 \quad (A.5)$$

onde:

$r$  = relação de recirculação (%)

$q$  = vazão de recirculação submetida à saturação de ar

$Q$  = vazão de alimentação ao sistema de flotação.

Sendo o aparelho de laboratório projetado para uso em ensaios descontínuos, pode-se empregar a relação em termos de volume.

$$r (\%) = \frac{V_r}{V_a} \cdot 100 \quad (A.6)$$

onde:

$V_r$  = volume saturado de ar com pressão de ensaio ( $P_1$ )

$V_a$  = volume de amostra

Então a quantidade de ar (A) liberado no sistema será:

$$A = \Delta S \cdot q \quad (A.7)$$

ou

$$A = \Delta S \cdot V_r \quad (A.8)$$

e a quantidade de sólidos (Z) no afluente será

$$Z = X \cdot Q \quad (A.9)$$

ou

$$Z = X \cdot V_a \quad (A.10.)$$

onde  $X$  = Concentração de SS no afluente ao sistema

Definidos estes parâmetros foram programados ensaios para diferentes níveis de pressão e diferentes relações de recirculação.

O tempo de detenção na câmara de flotação para os ensaios realizados, foi fixado em 10 minutos, após ensaios preliminares em que se verificou que após esse tempo, praticamente todo o ar havia sido liberado da massa de água saturada.