

# condições de funcionamento de sete lagoas de estabilização no Estado de São Paulo

CETESB\*

## 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo visa estabelecer critérios para projetos de lagoas de estabilização, conforme contrato firmado entre o BNH e a CETESB.

O levantamento cadastral das lagoas de estabilização, no Estado de São Paulo, confirmou a existência de quarenta e três lagoas, das quais vinte e nove apresentavam condições satisfatórias de funcionamento.

Tendo em vista o levantamento de dados básicos para a realização deste estudo, foram selecionadas sete lagoas em regiões que representam, de maneira geral, as condições geográficas e climáticas do Estado de São Paulo.

Apresentamos os nossos agradecimentos às Prefeituras de Guararapes, Itapira, Pradópolis e Valparaíso pela valiosa colaboração prestada ao desenvolvimento deste estudo.

Agradecemos também à SABESP-Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, pela cooperação nos levantamentos realizados nas lagoas de estabilização de Nhandeara, Mairiporã e Pindamonhangaba.

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos propostos para este estudo constam das seguintes verificações:

2.1. Fluxo dos principais materiais poluidores e vazão de esgoto afluente, parâmetros fundamentais para o dimensionamento de lagoas de estabilização.

2.2. Comportamento das lagoas nos aspectos de operação e manutenção.

2.3. Eficiência do funcionamento de lagoas de estabilização em relação aos fatores ambientais de cada região.

## 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 3.1. Critérios Adotados na Seleção das Lagoas

Com base nas informações, obtidas no levantamento sobre as características construtivas das lagoas, foram selecionadas, para a primeira campanha, cinco lagoas de estabilização. Essas localizam-se nos Municípios de Pradópolis, Itapira, Pindamonhangaba, Guararapes e Nhandeara. As três primeiras são do tipo australiano (anaeróbio-facultativo) e as duas restantes, do tipo facultativo unicelular.

Devido a problemas com a ligação de despejos de matadouro na lagoa de Nhandeara, e de reforma da lagoa de Pindamonhangaba, ambas foram substituídas, na segunda campanha, pelas lagoas de Valparaíso e Mairiporã.

As lagoas foram selecionadas com base na representatividade e em função de alguns critérios apresentados a seguir:

- tipo de sistema: anaeróbia, facultativa;
- condições climáticas: procurou-se distribuí-las nas regiões características do estado de São Paulo;
- localização geográfica: objetivou-se todo o Estado;
- condições de operação e manutenção;
- cargas atuais e tempo de detenção;
- facilidade de acesso;
- tipo de esgoto a tratar, ou seja, esgotos domésticos e esgotos domésticos com águas residuárias industriais;
- tipos de dispositivos de entrada e saída das lagoas.

### 3.2. Coleta de Amostras e Medição de Vazão

As coletas de amostras foram realizadas em dois períodos distintos. A primeira campanha foi desenvolvida durante os meses de outubro e novembro de 1977 e a segunda, em julho e agosto de 1978, a fim de se verificar as interferências dos fatores climáticos no funcionamento da lagoa de estabilização.

Nos sistemas australianos (anaeróbio-facultativa), as amostras foram coletadas na entrada e saída da lagoa anaeróbia e na saída da lagoa facultativa.

No sistema de lagoa facultativa unicelular, as coletas foram efetuadas na entrada e na saída da lagoa.

A amostragem foi efetuada duas vezes por semana, durante seis semanas consecutivas, abrangendo um período mais quente (outubro e novembro) e outro mais frio (julho e agosto).

No período diurno da primeira campanha, das 06:00 às 18:00 horas, as amostras foram coletadas de hora em hora, obtendo-se uma amostra composta a cada 4 horas, portanto, três amostras compostas por ponto de coleta. Na segunda campanha, as amostras diurnas foram coletadas a cada duas horas; somando-se assim 6 amostras por ponto. Além das amostras diurnas foram realizadas amostragens nos períodos diurno e noturno (24 horas), duas vezes na primeira campanha e três

vezes na segunda, a fim de estabelecer a relação de fluxos poluentes existentes nesses períodos. Nas amostragens de 24 horas, as coletas também foram realizadas de hora em hora. Na primeira campanha efetuou-se, a cada quatro horas, uma amostra composta, totalizando-se amostras (3 diurnas e 3 noturnas), por ponto de amostragem; e na segunda campanha, uma amostra composta a cada duas horas, isto é, 12 amostras por ponto.

As medições de vazão dos esgotos afluentes às lagoas de estabilização foram efetuadas a cada meia hora nas lagoas de Guararapes, Pradópolis e Pindamonhangaba, através de medidor tipo "Parshall". A medição de vazão em Valparaíso se fez por Vertedouro triangular; nas de Nhandeara e Itapira, o processo de medição adotado foi o direto, na tubulação.

Na lagoa de Mairiporã, os dados de vazão foram obtidos através do tempo de bombeamento do esgoto afluente.

Para o cálculo da vazão total diária desses afluentes, utilizou-se o processo de integração das áreas, limitadas pelas curvas de vazão em função do tempo. Essas áreas representativas das contribuições de vazão, nos períodos diurno e noturno, determinaram as relações ocorridas nesses períodos. O mesmo tratamento ocorreu aos dados de materiais poluidores tais como DBO, coliformes fecais, etc., a fim de se determinar as contribuições ocorridas em cada período, possibilitando assim, as estimativas dos fluxos diários desses parâmetros.

Com o intuito de verificar a existência da relação entre o funcionamento de lagoas facultativas e a flora microscópica predominante, efetuou-se a análise qualitativa de algas.

### 3.3. Determinação dos Parâmetros

Para as lagoas anaeróbias, os parâmetros analisados nas amostras coletadas foram:  $DBO_{5d}^{20^{\circ}C}$ , DQO, coliformes fecais, resíduo total e fixo, pH, temperatura e vazão; para as lagoas facultativas utilizou-se desses mesmos parâmetros, acrescidos das algas predominantes.

Nas amostras coletadas em regime de 24 horas nos esgotos das lagoas de Guararapes e Valparaíso, foram realizadas duas análises de: nitrogênio Kjeldhal, nitrogênio amoniacal, fósforo total, fosfato solúvel, sílica, ferro, magnésio, cálcio e detergentes.

Os métodos de análise utilizados constam no "Standard Methods"(1).

\* Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Diretoria de Desenvolvimento, Pesquisa, Engenharia e Tecnologia, Superintendência de Pesquisa.

Todas as amostras coletadas nos efluentes das lagoas facultativas foram submetidas a um filtro de algodão, antes de se efetuar as determinações de DBO, a fim de se eliminar interferência nos valores deste parâmetro.

A temperatura d'água foi medida através de termôgrafos, instalações nas lagoas estudadas.

Os dados relativos aos fatores climatológicos, tais como velocidade e direção do vento, temperatura do ar, precipitação pluviométrica etc. foram obtidos nos postos meteorológicos localizados em região próxima às lagoas estudadas.

#### 4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DAS LAGOAS ESTUDADAS

##### 4.1. Lagoa de Pradópolis

###### 4.1.1. Descrição das características de funcionamento

O município de Pradópolis localiza-se a 21° 22' latitude sul, 48° 04' longitude oeste, altitude de 517 m.

A lagoa está em funcionamento desde 1968, situando-se a 2,5 km do centro urbano (não há habitações nas suas proximidades).

O sistema de tratamento é constituído de duas lagoas dispostas em série, sendo uma anaeróbia e outra facultativa. Atende uma população de aproximadamente 4.100 habitantes.

As características principais do projeto são:

- Lagoa anaeróbia;
  - forma: retangular (58 m X 70 m)
  - área: 4 000 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 1,50 m
  - volume: 6 000 m<sup>3</sup>
- Lagoa facultativa;
  - forma: irregular
  - área: 11 000 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 1,0 m
  - volume: 11 000 m<sup>3</sup>

O sistema mantém uma relação de área anaeróbia: facultativa de 1:2,7, sendo a relação entre os volumes de 1:1,8.

A ligação de uma lagoa para outra é feita por três saídas submersas, através de tubos de manilhas cerâmicas.

A entrada do efluente na lagoa anaeróbia é realizada por tubulação submersa, a uma distância de aproximadamente 10 m do dique.

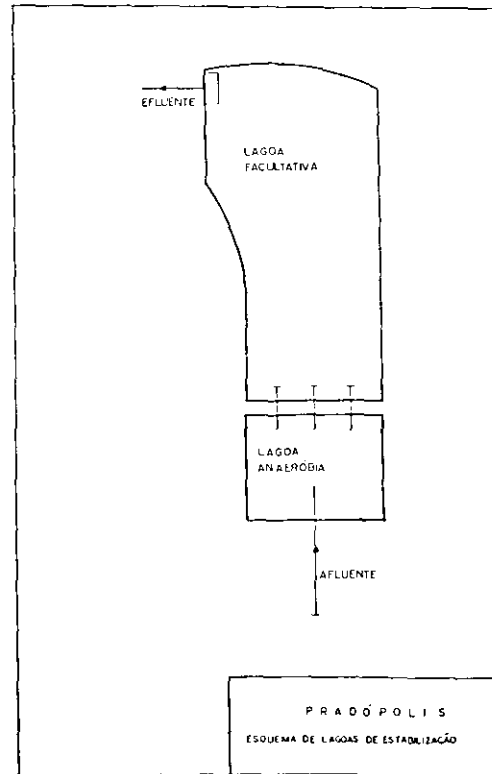
A saída do efluente final, na lagoa facultativa, faz-se por um vertedor ajustável, localizado numa caixa de alvenaria de tijolos.

Os taludes não recebem nenhum tipo de proteção contra erosão, no entanto, o seu estado de conservação é satisfatório.

Apresenta-se em anexo, o esquema do sistema da lagoa de estabilização existente atualmente na cidade de Pradópolis.

Durante a realização do levantamento na primeira e na segunda campanhas, a lagoa anaeróbia apresentou coloração cinza escura, tendo sido observada a formação de crostas nas proximidades da entrada de esgoto.

Na lagoa facultativa, verificou-se uma coloração verde que se acentuava nas proximidades da saída do efluente final. Na caixa



de saída do efluente final foi observada a formação de espuma. Encontrou-se intensa proliferação de mosquitos.

##### 4.2. Lagoa de Itapira

###### 4.2.1. Descrição das características de funcionamento

O município de Itapira localiza-se a 20° 26' latitude sul, 46° 48' longitude oeste, altitude de 626 m.

A lagoa está em funcionamento desde 1974, localizando-se a 800 m do perímetro urbano (não há habitações nas suas proximidades).

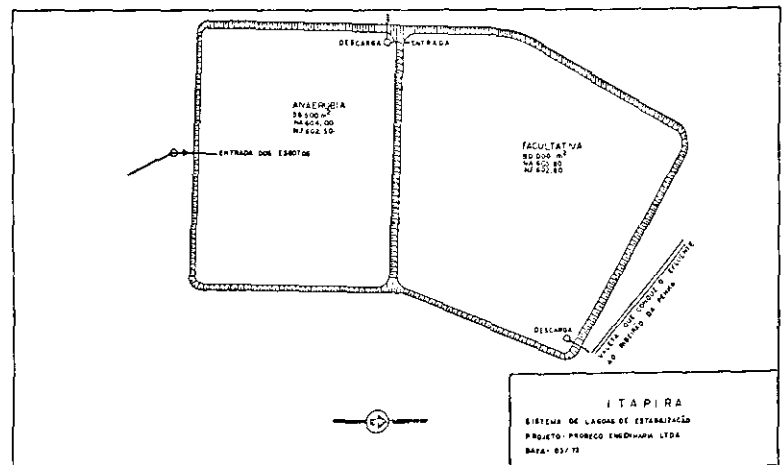
O sistema de tratamento é constituído de duas lagoas dispostas em série, sendo uma anaeróbia e outra facultativa. Atende 80% da população urbana, correspondendo a 33 000 habitantes.

As características principais do projeto são:

- Lagoa anaeróbia
  - forma: retangular (175 m X 220 m)
  - área: 38 500 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 1,50 m
  - volume: 57 750 m<sup>3</sup>
- Lagoa facultativa
  - forma: irregular
  - área: 50 000 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 1,0 m
  - volume: 50 000 m<sup>3</sup>

No projeto original previa-se a construção de duas lagoas facultativas; atualmente, uma se encontra em funcionamento, com capacidade para atender uma população de 37 000 habitantes até o corrente ano. Na segunda etapa, deverá ser constituída a outra lagoa facultativa.

Nas condições atuais, a relação entre as áreas das lagoas anaeróbia e facultativa é de aproximadamente 1:1,2. Porém, em termos de volume, a lagoa anaeróbia é maior do que a facultativa, verificando-se assim,



que aquela lagoa possui tempo de detenção maior do que a última. Grande parte dos esgotos chega às lagoas por gravidade, sendo que o restante é recalcado, passando previamente por um sistema de gradeamento.

A entrada do efluente na lagoa anaeróbia é realizada superficialmente, através de uma tubulação, a uma distância de 1 metro do dique. A ligação de uma lagoa à outra é feita por uma única saída, através de manilhas.

A saída do efluente final se faz por um vertedor ajustável tipo "Stop-log", localizado numa caixa de alvenaria de tijolos. A parte externa dos taludes é protegida por meio de grama tipo Batatais; a interna é revestida de placas pré-moldadas de concreto.

Apresenta-se em anexo, o esquema do atual sistema de lagoas de estabilização existente atualmente na cidade de Itapira.

O estado de conservação é altamente satisfatório. A limpeza das margens é realizada freqüentemente, a fim de se evitar o desenvolvimento de vegetação e impedir a proliferação de mosquitos.

Em ambas as épocas do levantamento de dados, a lagoa anaeróbia apresentava uma coloração escura em grande parte de sua área. Verificou-se, eventualmente, a proliferação de algas em local próximo à saída para a lagoa facultativa, causada, provavelmente, pelo longo tempo de detenção de esgoto naquela lagoa.

Durante o inverno, registrou-se problemas de mau cheiro caracterizando a presença de gás sulfídrico.

A lagoa facultativa sempre apresentou, no período de levantamento, coloração verde bem acentuada em toda a sua área.

Na valeta que conduz o efluente, dessa lagoa ao córrego receptor, constatou-se formação de espuma.

Há grande proliferação de pernilongos embora sejam ótimas as condições de conservação em ambas as lagoas.

#### 4.3. Lagoa de Pindamonhangaba

##### 4.3.1. Descrição das características de funcionamento

Localiza-se a 22° 55' latitude sul, 45° 27' 22" longitude oeste, altitude de 532 m.

A lagoa encontra-se em funcionamento desde 1973. Localiza-se ao Norte da cidade, a 2 quilômetros do centro urbano.

O sistema de tratamento é constituído de duas lagoas, dispostas em série, sendo uma anaeróbia e outra facultativa.

As características principais do projeto são:

- Lagoa anaeróbia:
  - forma: retangular (58 X 180 m)
  - área: 10 400 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 3,0 m
  - volume: 31 200 m<sup>3</sup>
- Lagoa facultativa:
  - forma: retangular (180 m X 240 m)
  - área: 43 200 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 0,9 m
  - volume: 38 880 m<sup>3</sup>

No projeto original, previu-se a construção de dois sistemas australianos (anaeróbia-

-facultativa) em duas etapas, com capacidade para atender 30 000 habitantes em cada etapa.

Nas condições atuais, a relação entre as áreas das lagoas anaeróbia e facultativa é de aproximadamente 1:4 e, a relação entre os volumes é de aproximadamente 1:1,2.

Os esgotos que chegam à Estação de Tratamento, provenientes das bacias do Tapanhon e do Paraíba, são recalcados à estação elevatória, para uma capacidade de 180  $\ell/s$  até o fim do plano, sendo que, a vazão média prevista para cada etapa foi da ordem de 90  $\ell/s$ . A entrada do efluente na lagoa é realizada superficialmente, através de uma tubulação que dista aproximadamente dez metros do dique.

A interligação entre as duas lagoas é feita por meio de quatro tubulações submersas eqüidistantes, de aproximadamente 0,2 m de diâmetro.

A saída do efluente final é efetuada por um vertedor ajustável, instalado numa caixa de alvenaria de tijolos. A parte externa e interna dos taludes (até a linha d'água) são protegidas por grama tipo Batatais.

Apresenta-se em anexo, o esquema do atual sistema da lagoa de estabilização existente na cidade de Pindamonhangaba.

O estado de conservação é satisfatório. Efetua-se, freqüentemente, limpeza das margens para evitar o desenvolvimento de vegetação e impedir a proliferação de mosquitos.

Durante a realização da primeira campanha de levantamento de dados, a lagoa anaeróbia apresentava uma coloração cinza escura em grande parte de sua área.

Observou-se também, a formação de crostas junto ao local da tubulação de saída dos esgotos, abrangendo uma área considerável da lagoa. No entanto, não foram registrados problemas de mau cheiro e proliferação de mosquitos. Notou-se acentuado assoreamento na proximidade da entrada do esgoto da lagoa anaeróbia.

A lagoa facultativa apresentou intensa coloração verde em quase toda a sua área, notadamente nas proximidades da saída do efluente final.

#### 4.4. Lagoa de Guarapés

##### 4.4.1. Descrição das características de funcionamento

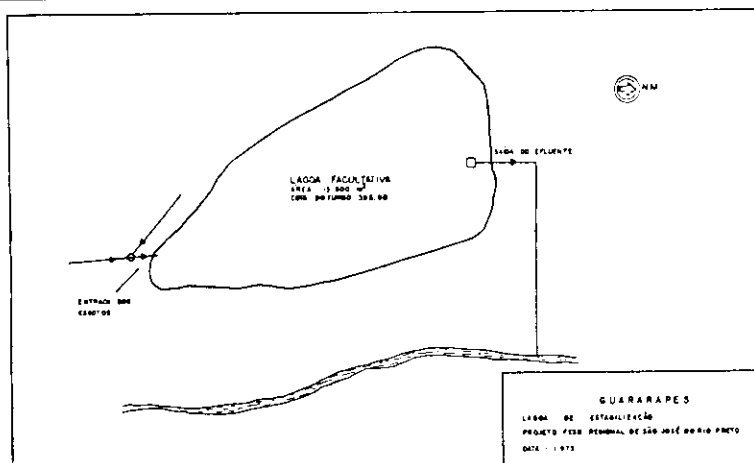
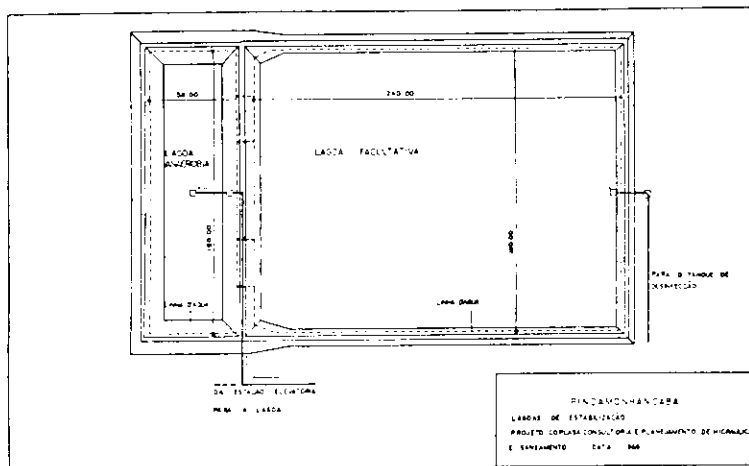
Localiza-se a 21° 51' latitude sul, 50° 30' longitude oeste, altitude 405 m.

A lagoa, em funcionamento desde 1974, está localizada dentro do perímetro urbano (há habitações nas suas proximidades).

O sistema de tratamento é constituído de uma única lagoa do tipo facultativa e atende uma população de aproximadamente 5 750 habitantes, que corresponde a 40% da população urbana.

As características principais do projeto são:

- forma: irregular
- área: 13.000 m<sup>2</sup>
- profundidade: 1,6 m
- volume: 20 800 m<sup>3</sup>



A entrada do efluente é realizada por uma calha de alvenaria de tijolos de aproximadamente 5,0 m de comprimento, precedida de gradeamento e de medidor Parshall.

A saída do efluente final se faz por um vertedor ajustável, localizado numa caixa de alvenaria de tijolos.

Apresenta-se em anexo, o esquema do atual sistema de lagoa de estabilização existente na cidade de Guararapes.

O estado de conservação é satisfatório, sendo efetuada, a freqüente limpeza das margens.

A parte externa e interna dos taludes, até a linha d'água, são protegidas contra a linha d'água, são protegidas contra a erosão por grama tipo Batatais.

Durante a realização das campanhas de levantamento de dados, notadamente na época do frio, a lagoa apresentava coloração ligeiramente acinzentada nas proximidades da saída do efluente final, face à proliferação de algas. Não foram registrados problemas de mau cheiro e proliferação de mosquitos.

Houve problema de espuma nas proximidades da entrada do esgoto, embora em nível bastante limitado.

#### 4.5. Lagoa de Nhandeara

##### 4.5.1. Descrição das características de funcionamento

Localiza-se a 20° 42' latitude sul, 50° 03' longitude oeste, altitude de 524 m.

A lagoa está em funcionamento desde 1960. Localiza-se a 1,5 km do centro urbano não havendo habitações nas suas proximidades.

O sistema de tratamento constitui-se de uma única lagoa do tipo facultativa e atende uma população de aproximadamente 4 200 habitantes, correspondendo a 60% da população urbana.

As características do projeto são:

- forma: irregular
- área: 7.200 m<sup>2</sup>
- profundidade: 0,9 m
- volume: 6.480 m<sup>3</sup>

No projeto original, foi prevista a construção de duas lagoas. A que se encontra em funcionamento é do tipo facultativa que deverá atender, até 1979, uma população de 8 200 habitantes.

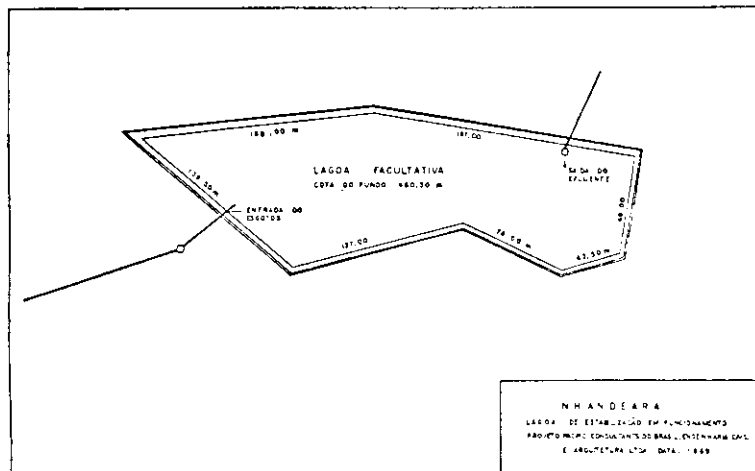
Numa segunda etapa deverá ser construída uma lagoa do tipo anaeróbia, implantando-se assim, um sistema australiano para o final do plano (1989).

A entrada do efluente é feita através do conduto livre, superficialmente, por uma tubulação, a uma distância de aproximadamente dez metros do dique.

A saída do efluente final é feita por um vertedor ajustável, localizado numa caixa de alvenaria de tijolos.

Apresenta-se em anexo, o esquema do atual sistema da lagoa de estabilização existente na cidade de Nhandeara.

O estado de conservação é satisfatório, embora não haja qualquer tipo de proteção sobre os taludes. Efetua-se freqüentemente a limpeza das margens, a fim de se evitar



o desenvolvimento de vegetação e a proliferação de mosquitos.

Durante a realização de dados, a lagoa apresentava uma coloração esverdeada, exceto no local próximo à entrada do esgoto, onde houve formação de crosta.

Não foram registrados problemas relativos a mau cheiro e proliferação de mosquitos.

#### 4.6. Valparaíso

##### 4.6.1. Descrição das características de funcionamento

Localiza-se a 21° 14' de latitude sul 50° 51' de longitude oeste, altitude de 400 m.

A lagoa está em funcionamento desde 1972. Localiza-se a 2,2 km do centro urbano, longe de habitações.

O sistema de tratamento é constituído de uma lagoa de estabilização do tipo facultativa. Recebe os esgotos domésticos provenientes da bacia sul além de despejos de indústrias de laticínios, cuja vazão é muito limitada, correspondendo cerca de 10% de esgotos. Atende a 2 275 habitantes e suas características construtivas são:

- forma: irregular
- área: 8 575 m<sup>2</sup>
- profundidade: 0,9 m
- volume: 7.718 m<sup>3</sup>

A entrada dos esgotos é feita afastada das margens, por tubulação situada acima do nível d'água, apoiada em colunas de alvenaria de tijolos.

A saída do efluente final dá-se por um vertedor regulável, localizado numa caixa de saída construída em alvenaria de tijolos.

Apresenta-se em anexo, o esquema do atual sistema da lagoa de estabilização existente na cidade de Valparaíso.

O estado de conservação é satisfatório, sendo a proteção dos taludes feita por grama do tipo Batatais.

Durante a realização do levantamento de dados na segunda campanha (julho e agosto de 1978), a lagoa apresentava formação de espumas junto à entrada dos esgotos; no entanto, foi observada coloração verde intensa na maior parte da área da lagoa.

Não foram registrados problemas de mau cheiro e proliferação de moscas e mosquitos.

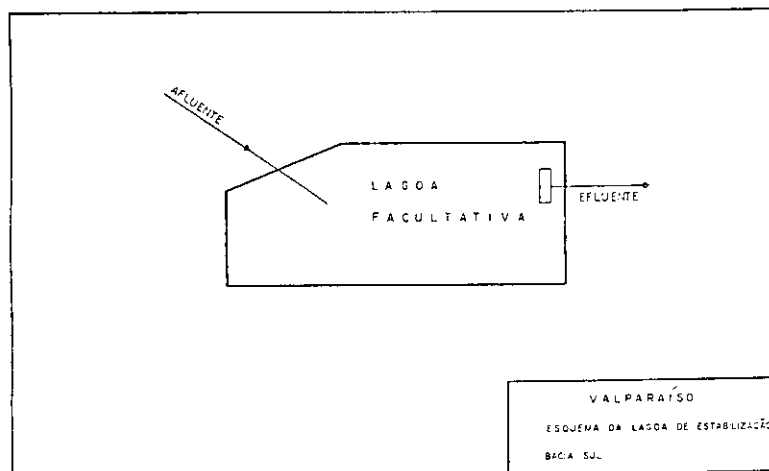
#### 4.7. Mairiporã

##### 4.7.1. Descrição das características de funcionamento

Localiza-se a 23° 19' latitude sul, 46° 35' longitude oeste, altitude de 775 m.

A lagoa encontra-se em funcionamento desde 1972. Localiza-se no perímetro urbano.

O sistema é constituído de dois sistemas australianos, ligados em paralelo. Atualmente



te, encontra-se em operação somente uma célula anaeróbia e uma facultativa com ligação em série. Atende cerca de 4.125 habitantes e suas características principais de projeto são:

- Lagoa anaeróbia
  - forma: retangular (36 m X 71 m)
  - área: 2 556 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 3,0 m
  - volume: 7 668 m<sup>3</sup>
- Lagoa facultativa
  - forma: retangular (94 m X 124 m)
  - área: 11 656 m<sup>2</sup>
  - profundidade: 1,0 m
  - volume: 11 656 m<sup>3</sup>

A alimentação, do esgoto afluente para a lagoa anaeróbia, é feita através de bombeamento intermitente, distribuindo-o próximo à margem por três tubulações submersas, assentadas no dique.

A ligação entre a lagoa anaeróbia e facultativa também se faz por três tubulações submersas, assentadas no dique de partição, ligadas a uma caixa de passagem com vertedor regulável.

A saída do efluente tratado da lagoa facultativa é efetuada através de três vertedores reguláveis, localizados nas caixas de saída. O efluente, após passar por estas caixas, é encaminhado a um medidor Parshall e, posteriormente, para um tanque de cloração.

Apresenta-se em anexo o esquema do atual sistema de lagoas existentes na cidade de Mairiporã.

O sistema encontra-se em excelente estado de conservação, estando com seus taludes perfeitos no tocante à estabilidade e proteção.

Durante a realização do levantamento de dados na segunda campanha, a lagoa anaeróbia apresentava uma coloração cinza escura na maior parte de sua área, verificando-se também, intenso mau cheiro no período de levantamento. A lagoa facultativa apresentava uma coloração esverdeada, devido ao intenso desenvolvimento de algas.

Encontrou-se formação de espuma na saída desta lagoa.

## 5. INFLUÊNCIA DE FATORES CLIMATOLÓGICOS NO FUNCIONAMENTO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Sendo a lagoa de estabilização um sistema de tratamento, baseado principalmente nos processos naturais, as condições climatológicas constituem-se num dos fatores importantes no seu funcionamento.

A influência dos vários fatores climatológicos se exerce, na maioria dos casos, em conjunto. Assim, cada fator não atua independentemente no funcionamento das lagoas de estabilização.

Uma das influências mais relevante da temperatura é como regulador da ação biológica, processo esse fundamental para a decomposição de materiais poluentes neste sistema. Ela é regida pela magnitude do coeficiente  $\Theta$ , da ordem de 1,072, mostrando que haverá aproximadamente uma dupli-

cação na velocidade para cada aumento de 10°C, dentro da faixa de temperatura propícia à realização da reação biológica. Além desse aspecto, a temperatura, associada à ação do vento, afeta a estrutura vertical da massa líquida, alterando as características físicas das águas contidas nas lagoas de estabilização.

A influência da radiação solar no funcionamento da lagoa, mesmo no sistema facultativo, é apenas indireta, mediante o fornecimento de calor que regula a variação da temperatura, notadamente nas regiões tropicais e subtropicais, como no caso do Estado de São Paulo.

A intensidade da radiação nestas regiões é, na maioria das vezes, acima do necessário para a ação fotossintética, não se constituindo num fator crítico no funcionamento das lagoas. No entanto, a temperatura atuará de forma restrita na ação fotossintética, impossibilitando absorção de energia solar disponível pelas algas no seu nível de saturação, em qualquer época do ano.

A mistura da massa líquida, essencialmente no sentido vertical, é um fator bastante importante em qualquer condição da lagoa de estabilização, principalmente no caso de lagoa facultativa. A falta de mistura pode afetar a distribuição de algas e oxigênio da camada superior para a camada inferior e, conseqüentemente, a capacidade de oxidação de materiais poluentes na lagoa facultativa.

Durante o período em que há ausência de vento e elevação da temperatura há forte descontinuidade da temperatura na profundidade logo abaixo da superfície d'água (10 a 15 cm de profundidade), impedindo a troca de massa líquida da camada superior para a inferior e vice-versa. Neste ambiente há produção excessiva de oxigênio, em conseqüência da intensa ação fotossintética na camada superior, ocorrendo a perda de uma parte deste gás para o ar, dependendo do

equilíbrio de repartição entre as fases líquida e gasosa. Abaixo desta profundidade de descontinuidade, entretanto, existe apenas o processo de respiração de microrganismos, dada à falta de iluminação, conservando as condições anaeróbias. Assim, a espessura da camada de oxidação é limitada apenas a alguns centímetros.

A mistura da massa líquida promovida pelo vento, permite a ampliação da camada oxidante, contribuindo, conseqüentemente, para o aumento da eficiência da lagoa facultativa.

A medida em que ocorre diminuição na frequência e grau de formação de estratificação térmica na época de inverno, observa-se maior intensidade de circulação da massa líquida. Em lagoas facultativas bem projetadas, no período de inverno, a camada oxidante pode atingir até aproximadamente um metro de profundidade na região do Estado de São Paulo (2).

A precipitação e evaporação em nível excessivamente elevado podem afetar não só o processo biológico mas também a estrutura do sistema da lagoa de estabilização.

A precipitação de 100 mm em 24 horas, por exemplo, que se observa de forma esporádica na época da chuva em algumas das regiões do Estado de São Paulo, pode ocasionar cerca de 10% de diluição e a mesma ordem de redução de tempo de detenção na lagoa com profundidade de um metro, o que poderia afetar o equilíbrio biológico e a velocidade de reação.

De acordo com as características da condição climatológica da região do Estado de São Paulo, Köppen (3) subdividiu-na em dois grupos: clima tropical quente e úmido e climas mesotérmicos, havendo ainda dois sub-grupos no primeiro e quatro sub-grupos no segundo tipo citado.

As lagoas de estabilização aqui selecionadas, localizam-se em três sub-grupos da classificação de Köppen, como se verifica na

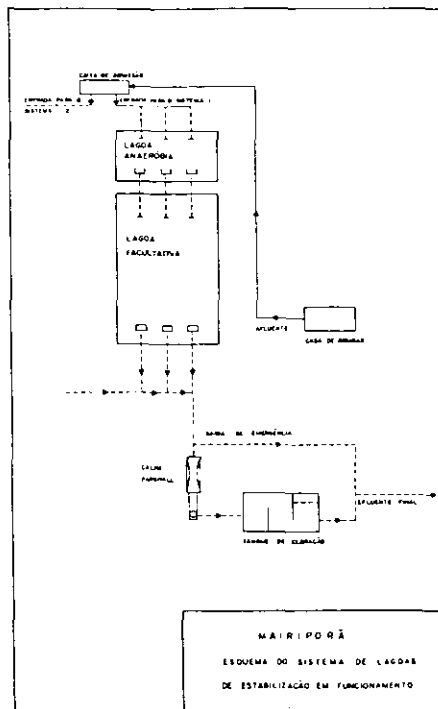


figura 1, abrangendo a maioria das áreas do Estado de São Paulo.

Os dados climatológicos, coletados nos últimos dez anos nas estações meteorológicas mais próximas das lagoas de estabilização em estudo, constam do quadro 1.

As regiões onde se localizam as lagoas de estabilização de Nhandeara e Valparaíso, apresentam temperaturas mais elevadas em relação às demais, variando de 19°C a 25°C, com média mensal de 23°C. As temperaturas registradas na região da lagoa de Mairiporã foram as mais baixas entre as lagoas selecionadas. A diferença de temperatura

verificada entre as regiões mais altas e mais baixas foi cerca de 4° na média anual.

Com exceção da região de Araçatuba, onde se localizam as lagoas de estabilização de Nhandeara, Guararapes e Valparaíso, em todas as regiões estudadas os valores da precipitação média anual são bem superiores aos da evaporação. Na primeira região citada, os valores destes dois parâmetros são praticamente iguais.

A direção do vento, predominante em todas as regiões estudadas ao longo do ano, foi de sul-este e, como predominância secundária, foram registrados ventos de direção

norte, sul-este e norte-leste, de acordo com a região do levantamento.

As maiores velocidades do vento ocorrem nas regiões de Itapira e Mairiporã (valores médios de 4,1 m/s e 3,7 m/s respectivamente) e as menores, nas regiões de Pradópolis e Pindamonhangaba (2,6 m/s e 2,1 m/s respectivamente). Observou-se uma tendência do maior valor deste parâmetro ocorrer entre o fim do inverno e o início do verão, em todas as regiões estudadas, exceto Mairiporã. Nesta última região, a velocidade do vento foi praticamente constante durante o ano todo.

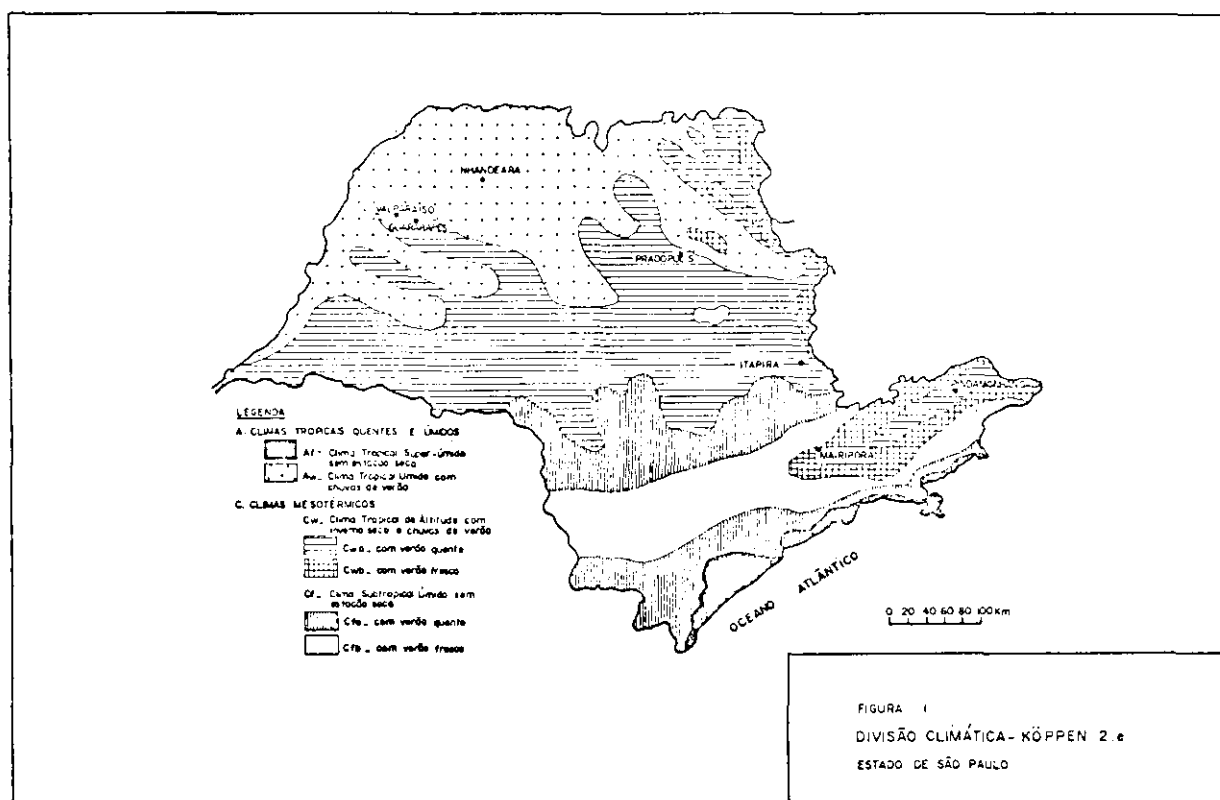


FIGURA 1  
DIVISÃO CLIMÁTICA - KÖPPEN 2. e  
ESTADO DE SÃO PAULO

QUADRO 1

Dados Climatológicos parciais nas regiões onde se localizam as lagoas de estabilização estudadas.

(período de 1967 a 1977)

Estação meteorológica	Lagoas de Estabilização localizadas, em:	Temperatura do ar (°C) média mensal do ano			Precipitação (mm) média mensal do ano			Evaporação (mm) média mensal do ano			Vento			
		mín.	máx.	média	mín.	máx.	média	mín.	máx.	média	dir. pred.	veloc. méd. mensal m/s.		
												mín.	máx.	média
Araçatuba	Nhandeara Guararapes Valparaíso	18,8	25,2	22,8	26	219	106	86	158	107	SE	3,7	6,0	4,7
Monte Al. Sul	Itapira	15,7	22,5	19,7	41	300	127	65	142	92	SE	3,3	3,9	4,1
Rib. Preto	Pradópolis	18,4	23,6	21,7	30	280	139	64	170	111	SE	2,2	3,4	2,6
São Paulo	Mairiporã	15,6	22,2	19,0	45	232	121	67	92	77				3,7
Taubaté	Pindamonhang.	16,2	23,6	20,2	33	249	106	63	97	77	SE	1,6	2,7	2,1

## 6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1. Vazão dos Esgotos Afluentes

As variações das vazões horárias e diárias em termos de desvios padrões do esgoto afluente, avaliadas nas sete lagoas de estabilização durante os dois períodos de estudo, estão indicadas nas figuras 2 a 11.

Os valores médios das vazões, no período das 6:00 às 18:00 horas, apresentados nas citadas figuras, foram baseados nos dados obtidos em 12 levantamentos realizados na primeira campanha (outubro e novembro/1977) e em 13 levantamentos realizados na segunda campanha (julho e agosto de 1978).

Os valores das vazões dos demais horários foram representados pela média de dois levantamentos, em regime de 24 horas na primeira campanha e, três levantamentos na segunda campanha.

No geral, todos os afluentes das lagoas estudadas apresentaram comportamentos semelhantes quanto às variações horárias, verificando-se um aumento nas vazões em torno das 06:00 horas, atingindo-se o máximo valor entre 10:00 e 14:00 horas. Após estes horários as vazões diminuem gradativamente, havendo ligeiro aumento por volta das 18:00 às 19:00 horas.

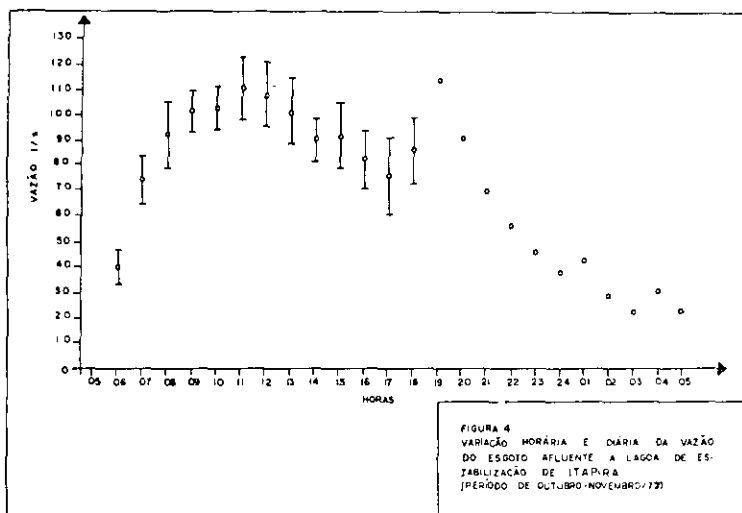
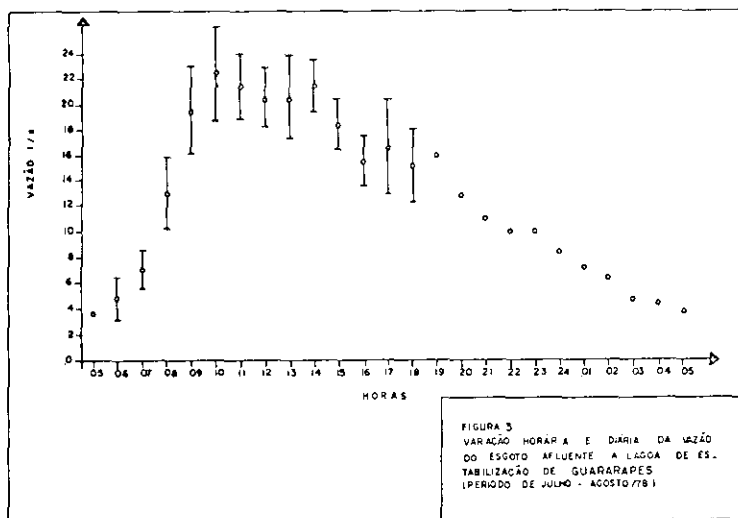
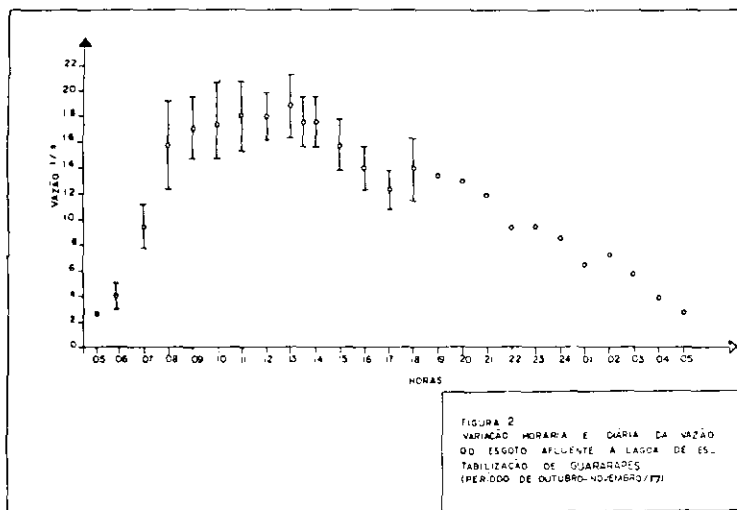
As menores vazões foram registradas no período das 3:00 às 5:00 horas, em todos os esgotos afluentes.

Dado que os esgotos sanitários resultam da utilização de água nas residências, pressupõe-se uma estreita similaridade de comportamento entre vazão de esgoto e consumo de água. De fato, o padrão de variações de vazão, explicadas anteriormente, é bastante semelhante ao do consumo da água, verificado nos municípios do interior do Estado de São Paulo (4). Observa-se apenas o deslocamento de algumas horas nos picos de variação entre consumo de água e vazão de esgoto, o que pode ser atribuído ao amortecimento ocorrido durante o escoamento do líquido na rede coletora de esgoto.

Em relação à variação diária, os valores dos coeficientes de variação dos afluentes de lagoas, no período diurno, foram estimados em aproximadamente 15% em torno dos valores médios, com exceção da vazão da lagoa de Mairiporã. A maior flutuação de vazão desta lagoa, conforme o dia de levantamento, pode ser conseqüência do sistema de bombeamento adotado, que qual é operado pelo acúmulo de esgoto em um tanque do recalque do esgoto para a lagoa de estabilização.

De acordo com a investigação realizada, através da técnica estatística do teste F, não se nota diferença significativa no coeficiente de variação entre o período diurno e noturno.

Em termos de vazão média ponderada (1/s), nas três lagoas de estabilização estudadas durante dois períodos diferentes (épocas de chuva e seca), as vazões de esgoto afluente da lagoa de Pradópolis foram praticamente iguais em ambos os períodos (quadro 2). Entretanto, na lagoa de Itapira, a vazão medida na época de chuva foi 15% maior que na época da seca. Pressupõe-se que uma das causas dessa diferença foi a infiltração



ocorrida na rede de esgoto, em consequência da maior precipitação pluviométrica registrada na campanha da época de chuva.

**QUADRO 2**

Média ponderada das vazões (l/s) determinadas durante os dois períodos de levantamento nos esgotos afluentes das lagoas estudadas

Local da lagoa	Período de levantamento	
	1ª camp.	2ª camp.
Guararapes	11,5	12,7
Itapira	70,0	60,3
Pradópolis	9,2	8,8
Nhandeara	7,5	—
Pindamonhangaba	99,8	—
Mairiporã	—	8,6
Valparaíso	—	3,5

Ao contrário de Itapira, a vazão da segunda campanha (época de seca), determinada na lagoa de Guararapes, foi ligeiramente maior que a da primeira campanha (época de chuva). Este fato pode ser explicado pelo aumento do número de ligações de esgoto, correspondente a cerca de 500 habitantes, verificado no intervalo entre os dois levantamentos realizados.

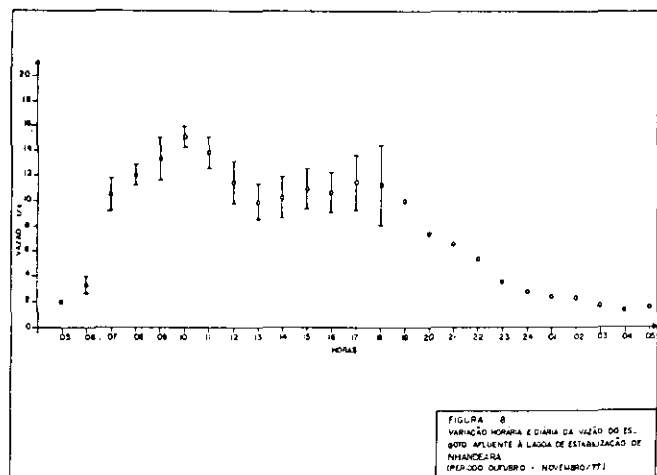
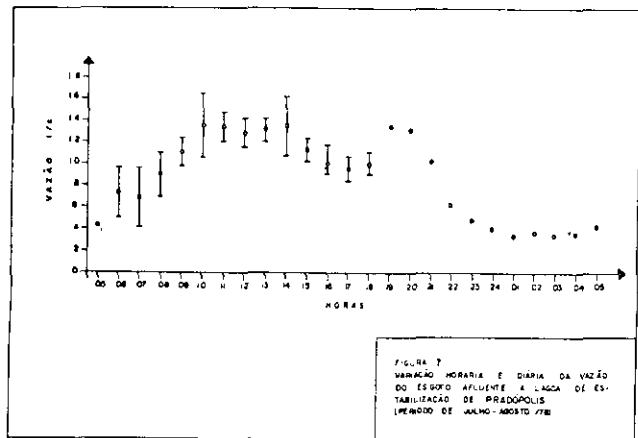
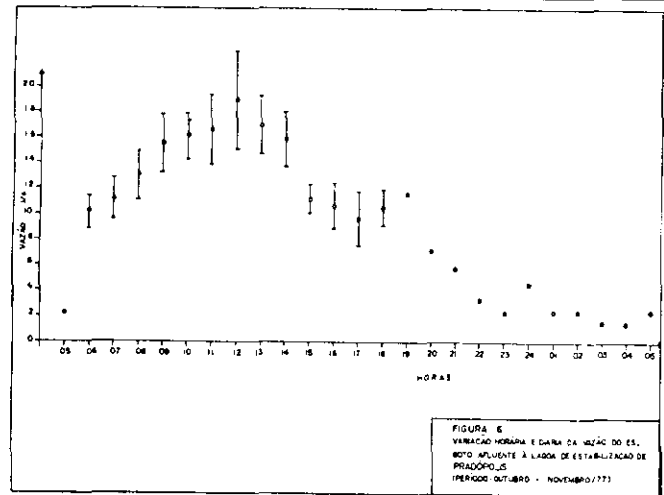
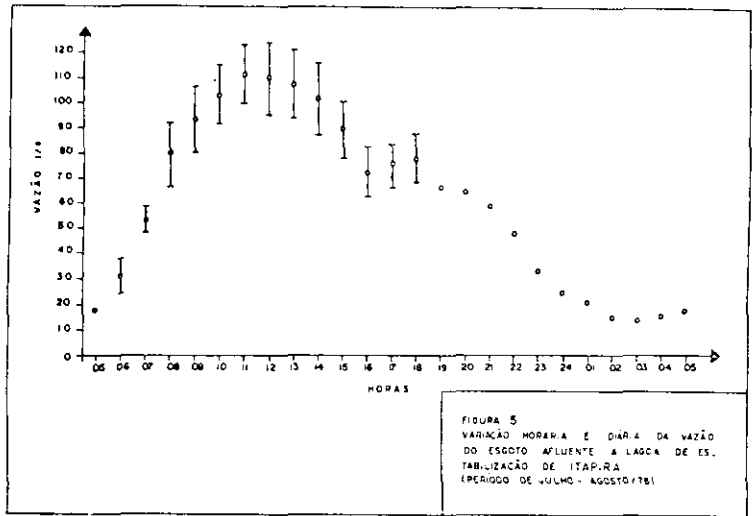
Com base nos dados de vazão ponderada e população servida pela rede de esgoto, foram estimadas as contribuições "per capita" da vazão do esgoto, em cada município ao qual pertence a lagoa de estabilização em estudo. Os resultados desta estimativa constam do quadro 3.

**QUADRO 3**

Contribuição "per capita" da vazão (l/hab. dia) dos esgotos determinados nos municípios em estudo

Local da lagoa	Período de levantamento	
	1ª camp.	2ª camp.
Guararapes	173	176
Itapira	183	158
Pradópolis	194	185
Nhandeara	154	—
Pindamonhangaba	287*	—
Mairiporã	—	180
Valparaíso	—	133
Média com $\delta^{\pm 1}$	171 ± 19*	

\* A contribuição média foi calculada excluindo o valor obtido em Pindamonhangaba





## 6.2. Composição Física, Química e Bacteriológica dos Esgotos Afluentes às Lagoas de Estabilização

### 6.2.1. DBO

Utilizando-se dos mesmos critérios adotados no item sobre vazão de esgoto, foram indicadas nas figuras 12 a 16, as variações dos valores da DBO que representam a matéria orgânica biodegradável do esgoto, em função das coletas efetuadas. Em vista da representatividade gráfica, foram colocados nestas figuras apenas os resultados obtidos na segunda campanha, pois, na primeira, foram coletadas amostras compostas com intervalos de quatro horas.

Como no caso da vazão, as variações horárias da DBO apresentam, na maioria das lagoas de estabilização estudadas, curvas com dois picos: o mais elevado em torno de meio dia e, um mais baixo no período entre 18:00 e 22:00 horas aproximadamente.

Verificou-se que as variações diárias da DBO no período diurno, representadas em termos de desvio padrão, foram maiores do que as de vazão. Os valores dos coeficientes de variação oscilaram de 21 a 44%. Este fato demonstra que há apreciável variação de acordo com os dias de amostragem, tanto qualitativa como quantitativa, na utilização de matéria carbonácea nas residências.

As médias ponderadas da DBO dos esgotos estudados, durante todos os períodos de levantamento, oscilaram de 140 a 333 mg/l; sendo a média aritmética de 248 mg/l. (Quadro 4).

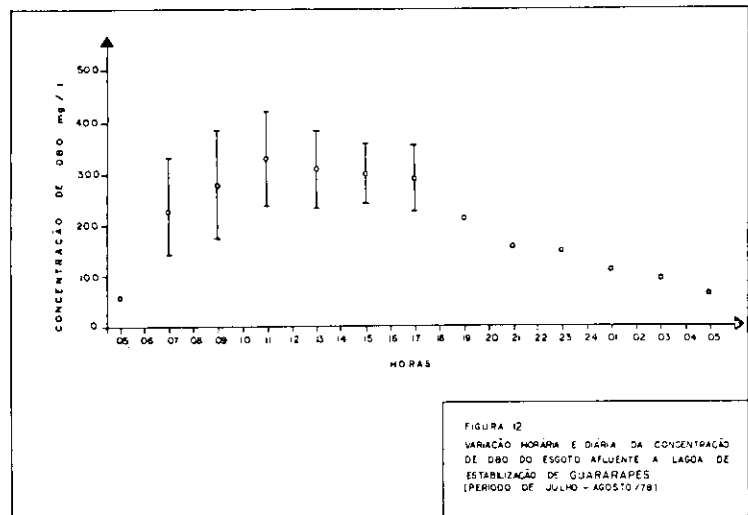
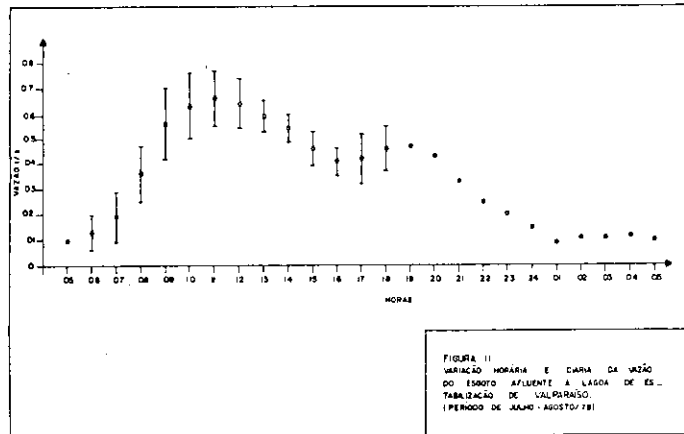
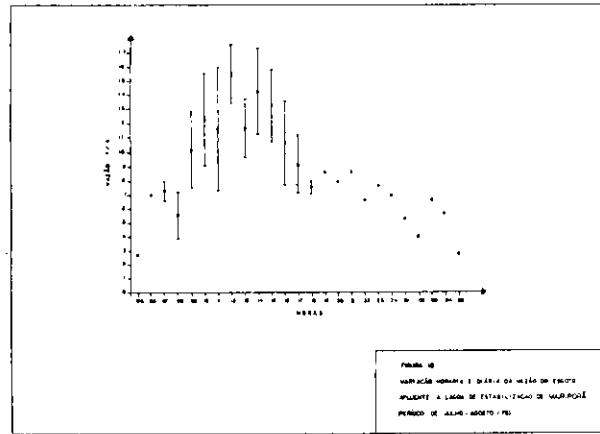
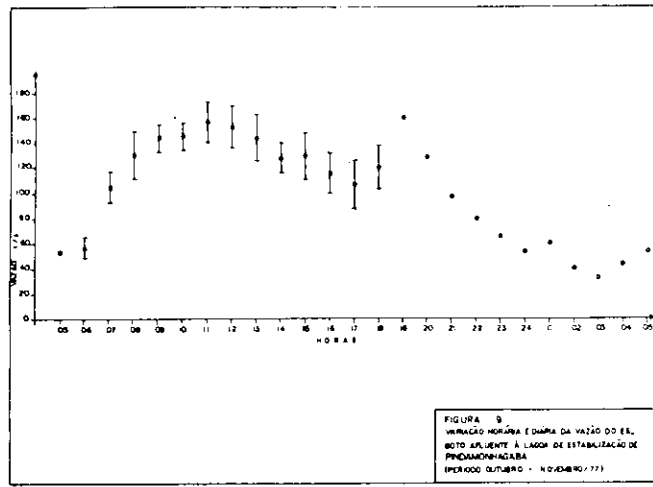
QUADRO 4

Média ponderada das concentrações de DBO(mg/l) determinadas nos esgotos afluentes das lagoas de estabilização

Local da lagoa	Período de levantamento	
	1ª camp.	2ª camp.
Guararapes	212,6	251,3
Itapira	240,0	333,0
Pradópolis	265,8	276,3
Nhandeara	221,9	—
Pindamonhangaba	140,3	—
Mairiporã	—	286,1
Valparaíso	—	251,6
Média com $\delta^n - 1$	247,9 $\pm$ 51,0	

O valor do desvio padrão, em torno desta média, é de 51 mg/l, portanto, cerca de 70% das DBO levantadas situam-se na faixa de 197 a 300 mg/l.

Os valores das contribuições "per capita" de DBO por dia, constam no quadro 5. Observa-se que as contribuições variam de 33 a 52 g/hab. dia, sendo a média aritmética 44 g/hab. dia, com desvio padrão de 7g/hab. dia.



QUADRO 5

Contribuição "per capita" da DBO (g/hab. dia) determinada dos esgotos afluentes de lagoa de estabilização

Local da lagoa	Período de levantamento	
	1ª camp.	2ª camp.
Guararapes	37,0	44,0
Itapira	44,0	50,0
Pradópolis	52,0	51,2
Nhandeara	34,3	—
Pindamonhangaba	40,4	—
Mairiporã	—	52,0
Valparaíso	—	33,4
Média com $\delta^n - 1$	43,8 ± 7,3	

6.2.2. Coliforme Fecal

As médias ponderadas das determinações de coliformes fecais, obtidas nos esgotos afluentes das lagoas de estabilização levantadas, estão indicadas no quadro 6.

QUADRO 6

Concentração de coli fecal (NMP X 10<sup>7</sup>/100 ml) determinadas nos esgotos afluentes das lagoas em estudo

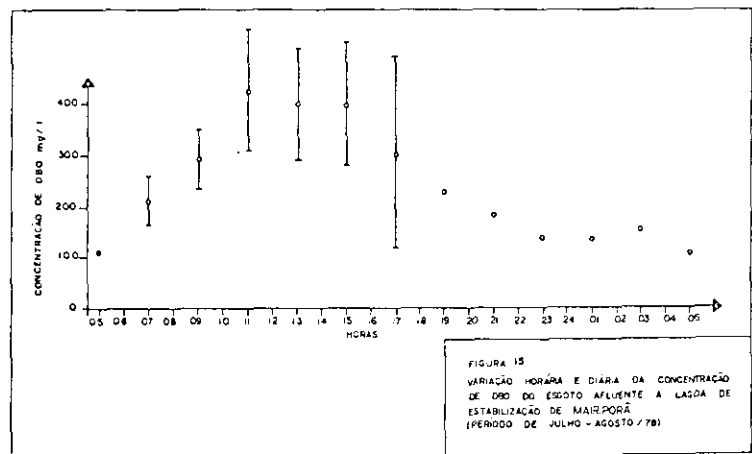
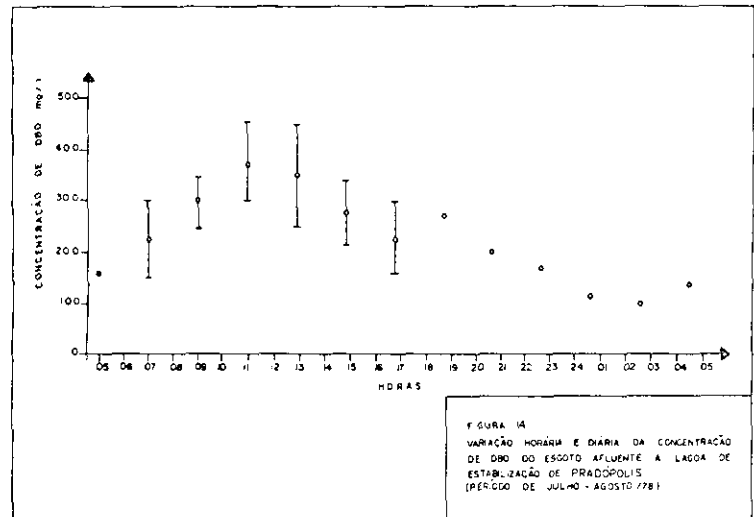
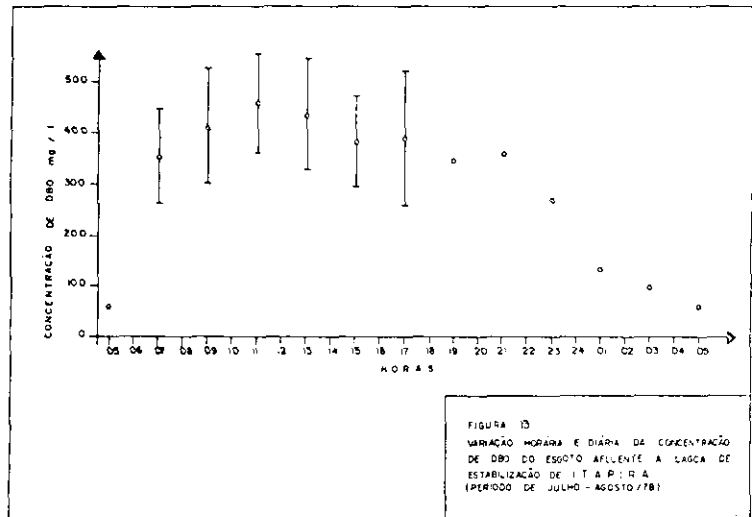
Local da lagoa	Período de levantamento	
	1ª camp.	2ª camp.
Guararapes	5,0	3,4
Itapira	10,6	11,0
Pradópolis	8,6	7,8
Nhandeara	4,0	—
Pindamonhangaba	2,4	—
Mairiporã	—	7,0
Valparaíso	—	2,2
Média com $\delta^n - 1$	6,2 ± 3,3	

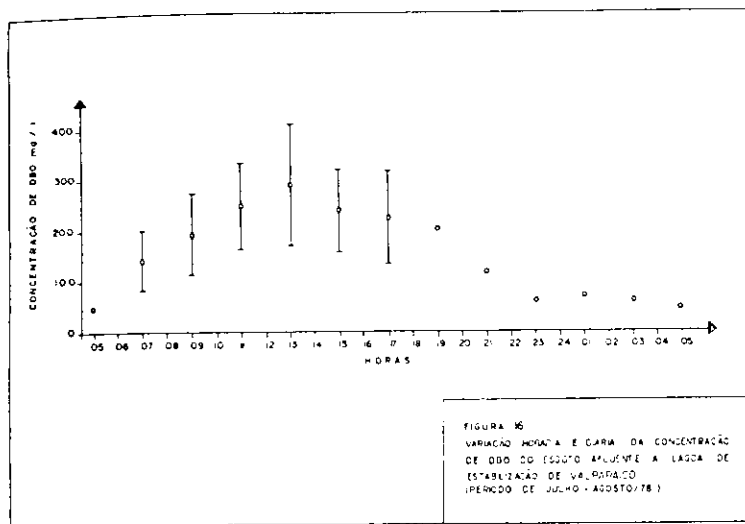
Nas lagoas, onde o estudo foi realizado em duas épocas distintas, não houve diferenças significativas nas suas concentrações de acordo com as épocas de coleta.

O quadro 7, refere-se à contribuição diária de coliformes fecais "per capita" conforme a lagoa de estabilização estudada.

6.2.3. Nutrientes

A fim de se conhecer as características representativas dos componentes nutritivos





QUADRO 7

Contribuição "per capita" de coli fecal (NMP X 10<sup>10</sup>/d) determinados nos esgotos afluentes das lagoas em estudo

Local da lagoa	Período de levantamento	
	1ª camp.	2ª camp.
Guararapes	9,6	6,0
Pradópolis	15,0	16,0
Itapira	18,0	16,3
Nhandeara	6,0	—
Pindamonhangaba	7,0	—
Mairiporã	—	13,2
Valparaíso	—	2,9
Média com $\delta^n - 1$	11 ± 5,3	

no esgoto de cidades interiores do Estado de São Paulo, foram selecionados os esgotos afluentes da lagoa de estabilização dos municípios de Guararapes e Valparaíso.

As concentrações médias dos principais macro e micro nutrientes, determinados em dois levantamentos com regime de 24 horas nos esgotos afluentes citados, constam nos quadros 8 e 9.

Efetuu-se também a determinação de detergentes sintéticos, pois esses são causadores de espuma, bem como fornecedores de fosfato às lagoas.

Como se verificou na DBO, todos os parâmetros analisados, com exceção de cálcio e magnésio, apresentaram, no geral, concentrações maiores no período em torno de meio dia e menores no período da madrugada. Não se notou evidência de tais variações nos elementos cálcio e magnésio.

As concentrações de nitrogênio Kjeldhal e fósforo total (média ponderada) foram de 35,5 mg/l e 7,0 mg/l no afluente de Guararapes e 47,0 mg/l e 6,7 mg/l no de Valparaíso respectivamente. Dentre essas concentrações, o nitrogênio, em forma

amoniacal, e o fósforo, em forma solúvel, ocupam cerca de 62,3% e 72,0% no de Guararapes e 52,5% e 75,4% no de Valparaíso, respectivamente.

As proporções quantitativas entre nitrogênio e fósforo em forma geral seriam cerca de 5:1 no primeiro esgoto afluente e 7:1 no segundo esgoto afluente citado.

Nota-se que, em épocas anteriores, as relações quantitativas entre estes parâmetros no esgoto foram avaliadas em torno de 10:1, com base na constituição química dos produtos alimentícios (5).

Entretanto, a crescente utilização de detergente sintético, que contém elevada concentração de fósforo em forma de polifosfato, fez com que diminuísse essa relação no esgoto doméstico, tornando-se o nitrogênio limitante para o desenvolvimento de microrganismos.

De acordo com os resultados de análises e o número de habitantes servidos na rede de esgoto, foram calculadas as contribuições diárias de nitrogênio e fósforo "per capita" como sendo de 5,5 g/hab. dia, nos esgotos de ambas as lagoas levantadas, e 1,3 g/hab. dia e 0,9 g/hab. dia nos esgotos de Guararapes e Valparaíso, respectivamente.

As contribuições de nutrientes, mencionadas acima, são menores comparadas a alguns outros países. As análises de 15 municípios diferentes, realizadas nos Estados Unidos por Vollenweider (6), resultam em contribuições com valores em média de 10,7 g de nitrogênio/hab. dia e 2,2 g de fósforo/hab. dia. Wuhmann (7) apresentou como valores conservadores 12 g de nitrogênio/hab. dia e 3,5 g de fósforo/hab. dia.

A causa da diferença dessas contribuições, entre os valores levantados no presente estudo e os encontrados na bibliografia, poderia estar relacionada à diferença da quantidade e qualidade de alimentos, bem como do detergente que se consome nos locais mencionados anteriormente.

Em alguns países, como se demonstra no quadro 10, a contribuição de fósforo,

QUADRO 8

Concentrações Médias de nutrientes determinadas no esgoto afluente da lagoa de estabilização de Guararapes (Dias 13 e 17/07/1978)

Hora de coleta	Concentração de Nutrientes (mg/l)								
	N-NH <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	N, Kjeldhal	P-total	Si O <sub>2</sub>	Fe total	Ca	K	ABS surfactante
06:00 - 08:00	30,000	5,3	42,9	6,3	2,6	1,5	19,4	1,3	3,2
08:00 - 10:00	39,800	9,1	70,1	12,6	19,5	2,5	16,7	2,5	6,1
10:00 - 12:00	23,4	4,9	42,1	6,8	30,0	2,2	14,9	1,6	7,4
12:00 - 14:00	16,4	4,5	32,3	4,4	30,0	2,3	15,8	3,8	8,8
14:00 - 16:00	15,1	5,0	27,9	8,7	28,0	3,6	15,6	2,8	9,1
16:00 - 18:00	15,4	4,1	28,8	4,8	33,0	3,6	17,6	2,7	8,0
18:00 - 20:00	12,8	4,6	20,6	4,8	27,0	1,3	18,8	14,2	5,9
20:00 - 22:00	14,6	4,2	10,6	6,2	24,0	1,1	20,6	15,4	4,7
20:00 - 24:00	16,5	4,0	22,6	5,1	—	0,8	20,9	14,0	3,8
24:00 - 02:00	18,9	3,6	23,5	4,6	29,0	0,6	21,2	13,2	2,8
02:00 - 04:00	16,5	2,2	20,9	2,8	26,0	0,6	20,4	9,6	2,5
04:00 - 06:00	14,1	2,4	19,6	4,9	26,0	0,7	20,9	9,1	2,1
Vazão média ponderada	12,9 l/s								
Concentração média ponderada	21,8	5,0	34,9	7,0	26,1	2,2	18,3	6,2	4,9

QUADRO 9

Concentrações Médias de Nutrientes determinadas no esgoto afluyente da lagoa de estabilização de Valparaíso (Dias 13 e 17/07/78)

Hora de Coleta	Concentração de Nutrientes (mg/l)								
	N-NH <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	N-Kjeldhal	P-total	S O <sub>2</sub>	Fe-Total	Ca	K	ABS surfactante
06:00 - 08:00	8,6	7,7	11,5	—	33,0	0,7	31,5	9,5	2,8
08:00 - 10:00	43,7	8,9	81,7	10,5	51,0	4,5	25,5	20,4	5,0
10:00 - 12:00	28,8	8,6	64,4	10,4	59,0	6,2	24,8	18,0	6,4
12:00 - 14:00	24,9	5,1	51,1	7,5	49,0	3,1	22,8	16,4	8,4
14:00 - 16:00	16,5	4,0	32,5	6,4	47,0	2,3	19,8	17,2	9,2
16:00 - 18:00	15,2	4,0	34,2	6,6	48,0	2,1	24,5	17,2	8,2
18:00 - 20:00	18,4	3,4	24,9	6,0	48,0	2,0	20,2	6,7	7,0
20:00 - 22:00	15,9	2,3	21,7	3,2	51,0	1,0	26,6	8,6	4,6
22:00 - 00:00	15,2	2,2	17,6	3,6	33,0	0,7	27,6	3,7	3,8
00:00 - 02:00	5,3	1,9	19,3	3,3	16,0	0,7	28,6	15,8	3,1
02:00 - 04:00	10,3	2,1	12,0	4,1	39,0	0,5	27,8	12,6	2,8
04:00 - 06:00	14,6	2,9	22,5	4,3	30,0	0,5	22,7	14,0	2,6
Vazão Média ponderada	3,5								
Concentração m. pond.	21,6	5,1	41,2	6,7	47,0	2,7	24,0	14,4	6,4

relacionado ao consumo de detergentes, chega a ultrapassar os 50% em relação à quantidade total deste elemento no esgoto (8).

De acordo com estudo realizado na CETESB (9), a contribuição média de surfactantes nos detergentes das cinco marcas mais vendidas em São Paulo foi cerca de 20%. A quantidade de polifosfatos que entra no detergente empregado no Brasil é também da ordem de 20% (10). Outrossim, a concentração real de surfactantes, no detergente do esgoto sanitário corresponde apenas a aproximadamente 50% da concentração determinada pelo método do Azul de Metileno, devido à interferência encontrada nesta metodologia (11). Portanto, se se aplicar o acima exposto ao presente estudo, cerca de 2,5 mg/l e 3,2 mg/l de fósforo nos esgotos afluentes às lagoas de Guararapes e Valparaíso respectivamente, são provenientes de detergentes. Essas concentrações correspondem a aproximadamente 35% e 48% dos valores de fosfatos totais determinados nos esgotos afluentes respectivamente; proporções estas relativamente menores às expostas no quadro 10. Tal diferença pode se dar pelo fato de que, nos países que possuem águas com elevado grau de dureza, como E.U.A., Alemanha e Canadá, as proporções de polifosfatos nos detergentes variam na faixa de 35 a 65% (10), sendo muito maiores do que as empregadas no Brasil.

7. EFICIÊNCIA DE FUNCIONAMENTO DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

7.1. DBO

Os dados relativos à eficiência do funcionamento das lagoas de estabilização estudadas, em relação à remoção da DBO, são apresentados nos quadros 11 e 12.

Observa-se que as eficiências avaliadas nos sistemas das lagoas de estabilização estudadas situaram-se na faixa de 83 a 92%.

QUADRO 10

Contribuição de fosfato nos esgotos (9)

	(9/hab. dia)		
	E. U. A.	Canadá	R. F. Alemanha
fezes humanas	1,6	1,6	1,6
Detergentes	3,4	1,7	1,6
Total	5,0	3,3	3,2
Conc. mg/l em P no esgoto	14,0	9,3	9,2

Essas eficiências podem ser consideradas satisfatórias, tendo em vista que a função principal do sistema de tratamento em estudo é a remoção de matéria orgânica proveniente do esgoto em nível secundário.

Do ponto de vista das características físicas, químicas e biológicas na sua estrutura funcional, as lagoas de estabilização levantadas no presente estudo podem ser divididas em três tipos:

- a) lagoa anaeróbia
- b) lagoa facultativa unicelular
- c) lagoa facultativa em série com anaeróbia

A função principal da lagoa anaeróbia é a remoção de matéria orgânica, através dos processos de sedimentação e digestão. Na lagoa facultativa em série com a anaeróbia ocorre estabilização da matéria orgânica, principalmente em forma solúvel, proveniente da lagoa anaeróbia.

A lagoa facultativa unicelular possui mecanismo funcional, contendo os dois processos acima mencionados em forma conjugada. No local próximo à entrada do esgoto deve haver maior taxa de sedimentação e conseqüente acúmulo de lodo, que fornece con-

dição semelhante àquela existente na lagoa anaeróbia, mas sempre com proliferação de algas em toda a área da lagoa.

Com base nessas características funcionais, foram elaboradas as figuras 17, para lagoas anaeróbias, e 18, para lagoas facultativas em série e unicelular, que representam a relação entre eficiência da remoção da DBO, cargas aplicadas e tempo de detenção, de acordo com os resultados obtidos no presente estudo.

As eficiências das lagoas anaeróbias, apresentadas na figura 17, variam de 35 a 72%, observando-se uma tendência de melhora de eficiência com diminuição da carga aplicada.

Normalmente, na lagoa anaeróbia pode-se chegar de 30 a 40% na redução da DBO pelo simples efeito da sedimentação. O tempo de detenção hidráulica, requerida para complementar-se esse efeito, seria de aproximadamente 0,5 a 1,0 dias (12). Portanto, as eficiências superiores a 30 e 40%, que se obtém na lagoa anaeróbia, podem ser interpretadas como resultantes da remoção da DBO mantida no meio líquido, em conseqüência da decomposição anaeróbia, além do retorno da DBO devido

QUADRO 11

## RESULTADOS DO CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE FUNCIONAMENTO DE LAGOAS

Primeira campanha de levantamento realizada no período de outubro a novembro de 1977

Local e Tipo da lagoa	Vazão Média (l/s)	DBO (mg/l)		Fluxo de DBO (kg/d)		Eficiência %		Carga aplicada em: DBO g/m <sup>3</sup> d (anaer.) DBO g/m <sup>2</sup> d (facult.)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Temp. média do ar durante o período de levant. (°C)	Tempo de Detenção (dias)
		Afluente	Efluente	Carga	Descarga	p/célula	Total					
GUARARAPES (Facultativa)	11,5	212,6	24,3	211,2	24,1	89	89	16,2	13000	20800	26,9	21,0
NHANDEARA (Facultativa)	7,5	221,9	23,6	143,9	15,3	89	89	20,0	7200	6480	26,9	10,0
ITAPIRA (Anaeróbia) (Facultativa)	70,0	240,0	77,4 20,0	1448,4	470,6 121,3	68 74	92	25,0 1,5	38500 45000	57750 45000	23,3	9,4 7,4
PINDAMONHAN. (Anaeróbia) (Facultativa)	99,8	140,3	81,6 24,1	1211,3	708,9 207,7	42 70	83	38,8 16,4	10400 43200	31200 38880	24,2	3,6 4,5
PRADÓPOLIS (Anaeróbia) (Facultativa)	9,2	265,8	73,5 36,9	211,3	58,4 29,3	72 50	86	35,2 5,3	4000 11000	6000 10000	25,2	7,5 12,6

QUADRO 12

## RESULTADOS DO CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE FUNCIONAMENTO DE LAGOAS

Primeira campanha de levantamento realizada no período de julho e agosto de 1978

Local e Tipo da lagoa	Vazão Média (l/s)	DBO (mg/l)		Fluxo de DBO (kg/d)		Eficiência %		Carga aplicada em: DBO g/m <sup>3</sup> d (anaer.) DBO g/m <sup>2</sup> d (facult.)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Temp. média do ar durante o período de levant. (°C)	Tempo de Detenção (dias)
		Afluente	Efluente	Carga	Descarga	p/célula	Total					
GUARARAPES (Facultativa)	12,7	251,3	28,1	275,7	30,8	89	89	21,2	13.000	20.000	22,4	19
PRADÓPOLIS (Anaeróbia) (Facultativa)	8,8	276,3	107,4 24,2	211,0	82,0 18,5	61 77	92	35,1 7,5	4.000 11.000	6.000 11.000	19,3	8,0 14,5
ITAPIRA (Anaeróbia) (Facultativa)	60,3	333	142,0 35,7	1737	739,8 186,0	57 75	89	30,0 16,3	38.500 45.000	57.750 45.000	18,0	10,5 8,5
MAIRIPORÁ (Anaeróbia) (Facultativa)	8,6	286,1	178,3 36,5	212,6	132,5 27,1	38 80	87	27,7 11,3	2.556 11.656	7.668 11.656	16,8	10,8 15,7
VALPARAÍSO (Facultativa)	3,5	251,6	16,0	76,1	4,8	94	94	8,9	8.575	8.575	22,4	28,4

à fermentação da matéria orgânica acumulada no fundo da lagoa.

Como os processos referidos são de caráter biológico e bioquímico, a eficiência a ser atingida na lagoa anaeróbia, além do efei-

to de sedimentação, é bastante influenciada pela variação da temperatura e tempo da reação.

Segundo levantamento realizado por Parker et al (13) nas lagoas de Melbourne, Aus-

trália, foram atingidas as porcentagens de 65 a 80% na redução de DBO, com tempo de detenção de 1,2 dias, na época de verão. Porém, na época de frio, foram necessários 5 a 7 dias para se obter redução de 45 a 60%.

Van Eck (14) apresentou resultados semelhantes aos observados por PARKER. Isto é, enquanto a temperatura na lagoa anaeróbia permaneceu em torno de 20°C, a redução da DBO foi de 40 a 60%; com o aumento de temperatura para 25°C, a eficiência da redução aumentou para 80%.

Esses fenômenos podem ser explicados da seguinte maneira:

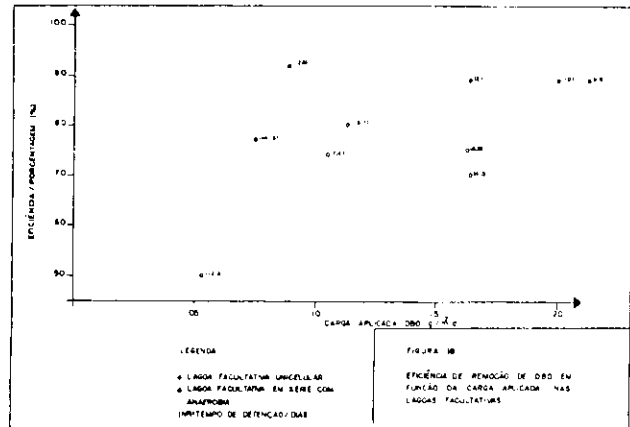
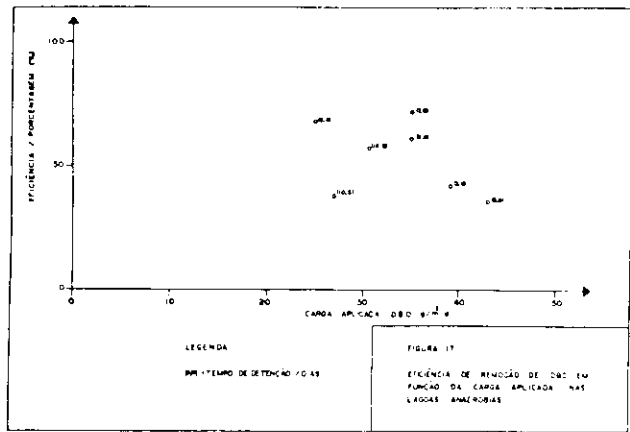
A velocidade da decomposição da matéria carbonácea existente no meio líquido varia em função da temperatura, aumentando a eficiência na redução deste material com o aumento da temperatura. Por outro lado, parte da matéria orgânica acumulada no lodo passa à forma solúvel, acarretando o aumento da DBO no meio líquido, e outra parte à forma gasosa, que é eliminada para o ar atmosférico. De acordo com observações feitas em lagoa experimental, Oswald (15) concluiu que quando a temperatura do lodo está acima de cerca de 19°C, toda a quantidade da DBO introduzida na lagoa passa à forma gasosa. Para obter tal eficiência de transformação, deve ser mantida carga aplicada superficial da DBO inferior à 45 g/m<sup>2</sup> d. No presente estudo, as temperaturas médias do ar, observadas durante a primeira campanha, foram de 23°C a 25°C e de 17°C a 19°C na segunda campanha, dependendo das lagoas anaeróbias estudadas.

Assim, se for aplicada a teoria exposta anteriormente, na primeira campanha deveria ter ocorrido gaseificação de toda a carga da DBO, aplicada nas lagoas anaeróbias e de Itapira e Pradópolis. Entretanto, dada a excessiva carga da DBO (36,8 g/m<sup>3</sup> d ou 117 g/m<sup>2</sup> d) na lagoa de Pindamonhangaba, comparada com a observada por Oswald, a gaseificação desta lagoa deveria ter sido apenas parcial. De fato, as eficiências das reduções da DBO, obtidas nas primeiras duas lagoas citadas, foram em torno de 70%, enquanto que na última lagoa mencionada foi de 42%.

Na segunda campanha realizada durante a época mais fria, as temperaturas registradas nas lagoas de Pradópolis, Itapira e Mairiporã foram em torno de 19°C, 18°C e 17°C, respectivamente, o que deveria ter acarretado a diminuição das eficiências da redução da DBO, pelo motivo já exposto. Esta hipótese foi confirmada pelas eficiências de 61% e 57% obtidas nas lagoas de Pradópolis e Itapira, que são menores do que as eficiências obtidas na época mais quente. A baixa eficiência (38%) apresentada na lagoa anaeróbia de Mairiporã pode ser justificada não só pela baixa temperatura observada, mas também pela elevada carga aplicada (28 g da DBO/m<sup>3</sup> d ou 84 g/m<sup>2</sup> d) comparada com as primeiras duas lagoas citadas.

Os detalhes dos processos discutidos acima, relacionados com as suas aplicações no dimensionamento de lagoas anaeróbias, poderão ser melhor esclarecidos após a conclusão dos experimentos que estão sendo realizados nas lagoas experimentais.

Com relação ao tempo de detenção na lagoa anaeróbia, não se recomenda um excessivo prolongamento. Gloyne (16) determina 5 dias como o tempo de detenção máximo na lagoa anaeróbia. Kawai e Yano (17) também observaram, no estudo realizado em la-



goas experimentais, que não seria economicamente viável manter o tempo de detenção acima de 4 a 5 dias para o sistema da lagoa anaeróbia.

Os tempos de detenção avaliados nas lagoas anaeróbias estudadas, exceto a de Pindamonhangaba, foram de 8 a 10 dias, que excedem consideravelmente os valores citados anteriormente.

Qualquer que seja o tempo de detenção na lagoa anaeróbia, o sistema da lagoa composta de duas células (tipo australiano) poderia apresentar melhor eficiência da remoção de matéria poluente, notadamente DBO, que na lagoa facultativa unicelular. Pois sabe-se que, para um dado volume total do sistema (uma ou mais lagoas em série), a eficiência de remoção de materiais poluentes aumenta à medida em que o conjunto é subdividido num número cada vez maior de células, tendendo à eficiência de um reator tubular único do mesmo volume (18).

Mesmo que todas as células não operem segundo um mesmo mecanismo (por exemplo, as primeiras anaeróbias, evoluindo para aeróbias no final do sistema), é de se esperar que o sistema multicelular apresente, em igualdade de volume total, uma eficiência maior do que uma lagoa única. Isso se dá pelo fato da concentração dos materiais poluentes cair gradativamente de célula para célula, em vez de atingir logo a concentração de saída, o que poderia resultar numa velocidade média maior de decomposição no sistema multicelular do que o valor correspondente a uma só lagoa.

Tentou-se verificar esse aspecto através dos dados obtidos no presente estudo, não se chegando, entretanto, a resultados significativos, possivelmente por insuficiência de dados. Em vista da importância prática dessa possível melhoria de eficiência em lagoas multicelulares, sugere-se para o futuro, a realização de um experimento que permita a observação do funcionamento de tais tipos de lagoas sob determinadas condições funcionais.

Com relação aos resultados obtidos nas lagoas facultativas nota-se, pela figura 18, nítida diferença da relação da eficiência com as cargas aplicadas e tempo de detenção entre a lagoa facultativa unicelular e a em série.

Os quatro resultados, obtidos nas lagoas facultativas unicelulares, apresentam eficiências praticamente iguais, independentemente de quaisquer cargas aplicadas e tempo de detenção. Isto é, dentro da variação de cargas aplicadas de 9 a 21 g/m<sup>2</sup> dia e tempo de detenção de 19 a 25 dias, as eficiências de remoção de DBO situaram-se na faixa de 89 a 94%. Através da observação visual, confirmou-se que todas as áreas dessas lagoas mostravam uma coloração verde intenso durante os períodos de levantamento. Notou-se apenas que, em alguns dias nublados na época de inverno, houve ligeira alteração nessa coloração em torno do local de lançamento do esgoto, na lagoa facultativa de Guararapes (carga aplicada de 21,2 g/m<sup>2</sup> d).

Por outro lado, as eficiências determinadas nas lagoas facultativas em série, exceto a da lagoa de Pradópolis estudada na primeira

campanha, variaram de 70 a 80%. Pode-se observar, nesta faixa de variação, uma tendência entre a eficiência e carga aplicada: as eficiências aumentam à medida que diminuem as cargas aplicadas. Se se admitir o enquadramento do resultado obtido na lagoa de Valparaíso, embora seu sistema seja facultativo unicelular, como sendo de lagoa facultativa em série, tendo em vista a baixa taxa de carga aplicada, esta tendência torna-se ainda mais evidente.

Além da relação entre a eficiência e carga aplicada, parece que existe uma certa correlação entre tempo de detenção e eficiência. Com os mesmos valores de cargas aplicadas, verifica-se melhor eficiência com maior tempo de detenção.

Comparando as eficiências apresentadas nos dois diferentes sistemas de lagoas facultativas, verifica-se que as eficiências obtidas nas lagoas unicelulares foram consideravelmente maiores que nas em série. Esse efeito poderia ser esperado pelas diferenças de mecanismos funcionais existentes entre esses dois tipos de lagoas. Na lagoa unicelular, que recebe descarga direta do esgoto, há remoção da DBO não só pela sedimentação como pelo processo biológico normal, o qual ocorre também na lagoa em série. Nesta última, não se encontra praticamente remoção através de sedimentação.

Supondo-se que fossem eliminados 35% da DBO aplicada, através da sedimentação nas lagoas facultativas unicelulares na lagoa de Guararapes, por exemplo, onde houve carga aplicada de 21 g/m<sup>2</sup> dia, pode-se estimar grosseiramente que cerca de 7,5 g da DBO/m<sup>2</sup> dia seriam removidos pela sedimentação e 11,52 DBO m<sup>2</sup> dia pelo processo biológico em condição facultativa.

De acordo com a relação estabelecida para as lagoas facultativas em série na figura 18, a aplicação de 11,5 g de DBO/m<sup>2</sup> dia daria a eficiência aproximada de 75% de remoção. Somadas as remoções da DBO, efetuadas pelos dois processos referidos, a eficiência na lagoa em questão poderia teoricamente ultrapassar os 100%.

O cálculo estimativo, feito acima, dá a impressão de haver ainda maior capacidade de receber cargas de DBO na lagoa de Guararapes, além da carga encontrada atualmente neste sistema (21 g/m<sup>2</sup> dia). O mesmo cálculo parece justificar a praticamente inexistência da diferença de eficiência entre lagoas facultativas unicelulares com cargas aplicadas de 9, 16, 19 e 21 DBO/m<sup>2</sup> dia.

A interferência da temperatura do funcionamento de lagoas facultativas difere em certos aspectos da sua influência nas lagoas anaeróbias.

Como já foi explicado no item referente aos fatores climatológicos, os mesmo implicam na formação de estratificação térmica e limitação da camada oxidante, nem sempre havendo aumento da eficiência proporcionalmente com a elevação da temperatura. Detalhes deste assunto também deverão ser tratados juntos com as investigações nas lagoas experimentais de Maringá e Tatuí.

Embora seja insuficiente o número de dados levantados, tentou-se verificar, preliminarmente, a correlação entre a eficiência e os fatores condicionantes para lagoa anaeróbia e facultativa em série, utilizando-se a técnica estatística de regressão múltipla. Não foi feita tentativa para lagoa facultativa unicelular, já que esta relação é praticamente invariável, além do reduzido número de resultados disponíveis.

Foram introduzidos nesta investigação outros fatores climatológicos e hidráulicos tais como temperatura, velocidade do vento e profundidade, considerados como fatores relevantes no funcionamento de lagoas de estabilização. Foram selecionados os fatores de temperatura e vento para lagoa facultativa em série e temperatura e profundidade para lagoa anaeróbia.

Não foi incluída a profundidade no tratamento estatístico para lagoa facultativa em série, pois, nas lagoas levantadas, as profundidades foram praticamente idênticas. Não foram também introduzidos os dados

de vento para lagoas anaeróbias, devido a reduzida influência deste fator no seu funcionamento.

Os resultados do cálculo da correlação são demonstrados nos quadros 13 e 14.

Apesar do limitado número de amostras para análise estatística, verifica-se apreciável significância do tempo de detenção, e, em seguida, da carga aplicada para a eficiência do funcionamento de lagoas facultativas em série, como já foi apreciado em linhas gerais pela observação gráfica apresentada anteriormente. Deve-se lembrar que a concentração da DBO no esgoto é praticamente constante e inalterável artificialmente. Portanto, a variação de cargas aplicadas depende da vazão do esgoto, o que condiciona automaticamente o tempo de detenção do esgoto na lagoa. Dessa forma, os fatores de tempo de detenção e carga aplicada são interdependentes, ou seja, podem ser interpretados em conjunto quanto à significância da correlação na eficiência do funcionamento das lagoas.

A temperatura também apresentou certo nível de significância. Dentro da faixa de variação de temperatura, a eficiência aumenta de acordo com o aumento de temperatura.

Teoricamente, o vento deve influenciar positivamente a eficiência de lagoas facultativas. Entretanto, os cálculos efetuados não conseguiram constatar esse efeito (o coeficiente de correlação foi positivo, como devia ser, mas o parcial de regressão resultou negativo, provavelmente devido à interação com os outros fatores).

Quanto à lagoa anaeróbia, a investigação estatística não demonstrou nenhuma correlação significativa entre as eficiências e os fatores condicionantes (vide quadro 14).

Como se sabe, requer-se no mínimo doze amostras para se efetuar tal tipo de tratamento estatístico com um mínimo de segurança. Acredita-se que os dados a serem obtidos através das lagoas experimentais (lagoas de Maringá e Tatuí) poderão oferecer a complementação de dados para a execução das citadas investigações.

QUADRO 13

LAGOA FACULTATIVA

DADOS DE ENTRADA

1. EFICIÊNCIA (%)	2. CARGA (gDBO/m <sup>2</sup> d)	3. TEMPO DE RETENÇÃO d (dia)	4. TEMPERATURA (°C)	5. VELOCIDADE DO VENTO (m/s)
75	16,3	8,5	18,0	3,5
80	11,3	15,7	16,8	3,6
77	7,5	14,5	19,3	3,7
74	10,5	7,4	23,3	3,6
70	16,4	4,5	24,2	4,5
94	8,9	28,4	22,4	4,0

RESULTADOS DA REGRESSÃO

QUADRO 13 (continuação)

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CORRELAÇÃO X VS Y	COEFICIENTE DE REGRESSÃO	VALOR DE T COMPUTADO
2	11,66667	3,90316	0,64549	0,68199	7,14090
3	12,60000	7,43559	0,97718	1,32492	22,11690
4	21,41668	3,97060	0,30997	0,87827	7,24733
5	3,98333	0,61779	0,51721	5,45724	6,02475
VARIÁVEL DEPENDENTE					
1	77,83334	7,25029			
INTERSECÇÃO		56,11121			
COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO MÚLTIPLA		0,99968			
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		0,52%			
VALOR DE F		396,12903			

QUADRO 14

LAGOA ANAERÓBIA

DADOS DE ENTRADA

1. EFICIÊNCIA (%)	2. CARGA (gDBO/m <sup>2</sup> d)	3. TEMPO DE RETENÇÃO d (dia)	4. TEMPERATURA (°C)	5. VELOCIDADE DO VENTO (m/s)
57	30,5	10,5	18,0	1,5
38	27,3	10,5	16,8	3,0
61	35,2	8,0	19,3	1,5
36	43,4	6,6	22,4	0,9
68	25,4	9,4	23,3	1,5
42	39,1	3,6	24,2	3,0
72	35,2	7,5	22,2	1,5

RESULTADOS DA REGRESSÃO

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CORRELAÇÃO X VS Y	COEFICIENTE DE REGRESSÃO	VALOR DE T COMPUTADO
2	32,72859	6,42695	0,39677	2,31487	0,85723
3	8,01429	2,45046	0,25951	2,53085	0,26246
4	21,31429	3,26518	0,31822	1,43924	0,35278
5	1,84286	0,82028	0,41179	11,80350	0,82357
VARIÁVEL DEPENDENTE					
1	53,42857	14,71798			
INTERSECÇÃO		142,86444			
COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO MÚLTIPLA		0,81499			
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		28,0%			
VALOR DE F		0,98905			



## 7.2. Coliformes Fecais

Os resultados do cálculo da eficiência de remoção de coliformes fecais com base nos números mais prováveis (N.M.P.), de acordo com as diferentes épocas dos levantamentos, são apresentados no quadro 15.

As eficiências da remoção calculadas nas lagoas anaeróbias oscilaram de 67 a 94%, sendo a média de 85,3% em todos os períodos de levantamento.

Nas lagoas facultativas em série, os valores são praticamente da mesma ordem (média de 81% com faixa de variação de 56 a 92%) dos obtidos nas lagoas anaeróbias.

As eficiências calculadas nas lagoas facultativas unicelulares foram superiores em relação às lagoas apresentadas anteriormente (média de 91% com faixa de variação de 80 a 98%).

Entretanto, em termos do sistema australiano global, composto de lagoa anaeróbia e facultativa, esses registraram melhores eficiências (97%) que as lagoas unicelulares.

Dentro dos resultados obtidos nas três lagoas, onde foram realizados os levantamentos nos períodos de verão e inverno, não foi constatada variação de eficiência de acordo com as duas épocas de levantamento.

Como fatores principais que afetam a destruição de bactérias patogênicas em sistemas aquáticos, pode-se destacar: radiação solar, oxigênio dissolvido, temperatura, intensidade de agitação e outros.

Segundo estudo realizado durante o período de um ano, relativo à determinação de E. Coli em tanque séptico com tempo de detenção de 1,2 dia localizado em Lusaka na África do Sul, Marais (19) concluiu-se que a taxa de mortalidade de bactérias patogênicas em condições anaeróbias é bastante reduzida, constituindo-se o oxigênio dissolvido, presente na lagoa de estabilização, um fator importante para a destruição de bactérias.

Os resultados obtidos no presente trabalho não confirmaram essa conclusão, apresentando praticamente mesmo nível de eficiência da remoção de coli. fecais nas lagoas anaeróbia e facultativa.

Uma das causas desta incoerência poderia ser atribuída ao fato de que, os tempos de detenção observados nas lagoas estudadas foram relativamente longos, oscilando de 3,6 a 10,5 dias com média de 8 dias. As lagoas anaeróbias, com esse longo tempo de detenção de esgoto, não mais apresentariam características estritamente anaeróbias, havendo considerável introdução de oxigênio do ar para o corpo da água. Notou-se em algumas lagoas anaeróbias, como por exemplo Itapira e Pradópolis, proliferação de algas no local próximo à saída do esgoto.

Neste sentido, deve ter ocorrido a degradação coli, fecais, na maioria das lagoas anaeróbias estudadas, agindo em condições facultativas, o que poderia ter provocado a maior percentagem da remoção deste microrganismo do que se normalmente esperava em condições anaeróbias.

A interferência de fatores climatológicos na degradação de bactérias fecais na lagoa, pode ser explicada da seguinte maneira:

QUADRO 15

### EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE COLIFORME FECAL NAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Resultados obtidos na 1ª campanha — período de outubro e novembro/1977

LOCAL E TIPO DA LAGOA	COLIFORME FECAL N.M.P x 10 <sup>7</sup> /100 ml		EFICIENCIA %	
	AFLUENTE	EFLUENTE	CADA LAGOA	TOTAL
GUARARAPES FACULTATIVA	5,0	0,3	94	94
NHANDEARA FACULTATIVA	4,0	0,4	90	90
ITAPIRA ANAERÓBIA FACULTATIVA	10,6 0,33	0,33 0,03	97 91	99,7
PINDAMONHANGABA ANAERÓBIA FACULTATIVA	2,44 0,81	0,81 0,06	67 92	97,5
PRADÓPOLIS ANAERÓBIA FACULTATIVA	7,8 7,6	1,6 0,7	79 56	91,0

Resultados obtidos na segunda campanha — período de julho a agosto/1978

GUARARAPES FACULTATIVA	3,4	0,7	80	80
ITAPIRA ANAERÓBIA FACULTATIVA	11,0 0,8	0,8 0,12	92 86	99
PRADÓPOLIS ANAERÓBIA FACULTATIVA	8,6 2,0	2,0 0,4	94 83	99 99
MAIRIPORÃ ANAERÓBIA FACULTATIVA	8,0 0,4	0,4 0,07	77 82	96
VALPARAÍSO FACULTATIVA	2,2	0,04	98	98

A temperatura mais elevada pode acelerar a destruição de bactérias fecais. Entretanto, como já foi mencionado no item anterior, na região subtropical e tropical, como no caso do Estado de São Paulo, o grau de temperatura que se encontra na época quente é suficientemente alto para formação de brisca e persistente estratificação térmica, que diminui a espessura de camada oxidante na lagoa facultativa, reduzindo conseqüentemente a capacidade de destruição de bactéria fecal da lagoa.

Além disso, esta condição de descontinuidade térmica, observada na lagoa durante a época quente, impede a exposição à radiação solar de bactérias fecais contidas na camada inferior localizada abaixo da descontinuidade térmica, dificultando assim a destruição desses microrganismos.

Na época fria, a velocidade da destruição de colifecais, pelo efeito da temperatura,

diminui. Entretanto, as temperaturas médias do mês mais frio, nas regiões do Estado de São Paulo estudadas, variam na faixa de 17 a 19°C, suficientes para a realização normal de processos bioquímicos para destruição de microrganismos.

Por outro lado, esta diminuição da temperatura contribui para a minimização dos efeitos negativos na destruição de bactérias provocados pela temperatura elevada.

Devido a estes fenômenos contraditórios que ocorrem na lagoa de estabilização, essencialmente na lagoa facultativa, não se pode relacionar simplesmente a oscilação de temperatura com a eficiência de remoção de coli fecais.

Numa região sub tropical da África do Sul (19), obteve-se eficiência relativamente melhor na época fria que na quente.

De acordo com os dados obtidos no presente estudo, até o momento, não foi possível

Variação dos Gêneros de Fitoplâncton predominantes (em %) Encontrados durante os períodos do Levantamento nas Lagoas facultativas em estudos

Gêneros de Fitoplâncton	Lagoas Guararapes		Itapira		Pradópolis		Nhandeara		Pindamonhang.		Mairiporã		Valparaíso	
	ver./77	inv./78	ver./77	inv./78	ver./77	inv./78	ver./77	inv./78	ver./77	inv./78	ver./77	inv./78	ver./77	inv./78
ANKISTRODESMUS	26	27	12	22	17	15	17	6	19			17		15
CHLORELLA	17	19	19	10		13	5	6				15		15
CHLAMYDOMONAS	22	18	17	19	5	15	10	16	28			11		10
EUGLENA	22	22	14	20	14	17	13	19	12			12		19
SPHAEROCYSTIS	13		12	14	13		15	13	13					
TRACHELOMONAS		14	8	12	7	6		6	9					
PHACUS			5	3	9	3	7	9	8			11		
MICROCYSTIS			13				11							
MICRACTINIUM					15	12	22	19	11			14		16
SCENEDESMUS					20	19		6				20		25

As coletas de amostras não foram realizadas

As coletas de amostras não foram realizadas

As coletas de amostras não foram realizadas

vel confirmar tal relação. As experiências em curso nas lagoas experimentais poderão fornecer dados para possibilitar a apresentação de uma conclusão mais segura.

Com referência às qualidades de efluentes das lagoas facultativas, em termos de bactérias, o sistema normal de lagoa de estabilização não apresenta capacidade suficiente para remoção satisfatória. As concentrações de coli fecais, encontradas em quaisquer efluentes das lagoas estudadas, foram da ordem de  $6 \times 10^6$  N.M.P./100 ml. Seria necessário atingir a taxa de redução na lagoa a cerca de 99,999% para satisfazer as condições sanitárias do corpo receptor (20).

A teoria do sistema de lagoa multicelular, já comentada no item da DBO, pode ser verificada com certo nível de evidência para a remoção de coli fecal.

As eficiências obtidas em lagoas com duas células conjugadas (sistema australiano) foram superiores às lagoas facultativas unicelulares, embora não tenha havido diferenças significativas de tempos de detenção entre esses dois sistemas. Este fato sugere que, em relação à lagoa unicelular, a lagoa de tipo australiano poderá ser o sistema mais adequado para a remoção de bactérias fecais.

7.3. Fitoplâncton

Os resultados das análises de Fitoplâncton durante o período de levantamento, em todas as lagoas facultativas estudadas, mostraram a predominância dos gêneros de algas *Ankistrodesmus* sp, *Euglena* sp e *Chlamodonas* sp (quadro 16).

Houve também a proliferação, em quantidades apreciáveis, dos gêneros *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp pertencentes à classe *Chlorophyceae*; sendo a primeira predominante nas lagoas dos Municípios de Pradópolis, Valparaíso e Mairiporã e, a segunda, em to-

das das lagoas, com exceção da de Pindamonhangaba.

No período de verão, encontrou-se um número significativo do gênero *Microcystis* sp, pertencente à classe *Cyanophyceae*, restrito às lagoas facultativas de Itapira e Nhandeara. Verificou-se também o aparecimento das algas dos gêneros *Sphaerocystis* sp, *Trachelomonas* sp e *Phacus* sp, com nível de crescimento relativamente baixo na maioria das lagoas.

Os gêneros de algas, observados no presente levantamento, são os comumente encontrados em lagoas de estabilização (22). Entretanto, do ponto de vista de eficiência de funcionamento das lagoas facultativas, seria desejável o crescimento de algas pertencentes ao grupo de *Fitoflagelados*, notadamente aquelas que possuem alta motilidade, tais como *Euglena* sp e *Chlamidonas* sp, e que possuem alta capacidade de resistência para as alterações ambientais. Isso porque durante longos períodos de estratificação, há excessiva intensidade da radiação solar na camada superior durante o período diurno, o que prejudica a ação fotossintética. Por outro lado, abaixo dessa camada, ocorre também o impedimento da ação fotossintética devido à escassez da intensidade luminosa. Nessas condições, as algas flageladas podem emigrar, procurando os ambientes mais favoráveis, possibilitando assim o prosseguimento da ação fotossintética que contribui para a oxidação da matéria orgânica através da produção de oxigênio.

Embora *Chlorella* sp e *Scenedesmus* sp não possuam tais facilidades próprias dos flagelados, elas são capazes de continuar a liberação de oxigênio, graças à sua resistência às alterações ambientais. Além deste aspecto, as algas citadas possuem características heterotrófica além da autotrófica, que possibilita, diretamente, a metabolização

de matérias em forma orgânica independentemente de iluminação, contribuindo assim para melhor eficiência na remoção de matéria orgânica contidas no esgoto.

As algas que pertencem à classe *Cyanophyceae* tais como *Microcystis* sp encontrada na lagoa de Itapira, apresentam desvantagens sob esse aspecto. Essas algas apresentam facilidade de flutuação na camada superior devido ao mecanismo de flotação, através de bolhas que se formam no interior da célula destes organismos. Assim, elas requerem maior energia para circulação vertical, sofrendo maior prejuízo para a produção de oxigênio em condições de pouca movimentação da massa líquida em relação aos organismos de outros gêneros.

As variações de gêneros de algas, que proliferam de acordo com as lagoas, dependem da demanda fisiológica de cada alga e dos fatores ambientais reinantes naquele meio. Até o presente momento, não foram suficientemente esclarecidos tais mecanismos fisiológicos. Neste sentido, torna-se difícil realizar o controle de tipos de algas favoráveis ao melhor funcionamento das lagoas facultativas.

8. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

De acordo com o levantamento das condições de funcionamento de lagoas de estabilização no Estado de São Paulo, uma das finalidades deste estudo foi fornecer subsídios para o estabelecimento de critérios de dimensionamento das lagoas na região do citado Estado.

Devido a um acervo insuficiente de dados existentes no momento, seria prematuro tentar adaptar os modelos existentes às lagoas estudadas no presente trabalho ou estabelecer modelos novos mais específica-

mente condizentes com as condições da região em estudo. Os experimentos que estão sendo realizados na lagoa de Maringá e os a serem efetuados de Tatuí poderão oferecer os dados necessários para estabelecimento dos modelos.

Desde já, porém, pode-se contar com valiosas informações para estabelecimento de critérios de dimensionamento, em consequência do estudo aqui relatado.

Assim, quanto à contribuição diária da vazão "per capita", o presente estudo mostrou que se pode contar com dados bastante estáveis estatisticamente, da ordem de 170 l/hab. d. sendo este valor próximo dos valores utilizados na Europa em geral e bem menor do que os Estados Unidos (23). Como o tempo de detenção de uma dada lagoa é inversamente proporcional à vazão, conclui-se que, quanto a esse fator, a prática européia de dimensionamento está mais próxima das condições reinantes na região em estudo do que a norte-americana. Deve-se acrescentar que o levantamento realizado em dez bairros da cidade de São Paulo (24) resultou numa média de 168 l/hab. dia.

Com relação à carga de DBO, verificou-se que a população estudada contribui com 45 g/hab. dia, enquanto que nos países europeus (25) e na América do Norte essa carga se apresenta em níveis mais elevados: 54 g/hab. dia. Isso significa que, se se tomar por base a população servida pela rede de esgotos para efeito de dimensionamento, as lagoas a serem projetadas poderão ter dimensões inferiores às dos países citados anteriormente.

Com relação aos nutrientes, o esgoto sanitário contém todos os elementos necessários para desenvolvimento de bactérias e algas, não se constituindo em fator de projeto para o dimensionamento de sistema normal em lagoa anaeróbia e facultativa, como considerado no presente estudo (26).

A temperatura, por sua vez, constitui-se num fator altamente significativo, verificando-se que uma elevação de 10°C, no intervalo de 5 a 35°C, elevará aproximadamente o dobro a velocidade de degradação.

De acordo com representação gráfica, elaborada por Durante (27), haverá uma diferença de mais de cinco dias no tempo de detenção em lagoas facultativas, operando na temperatura de 20°C e na de 15°C, as quais podem ser exemplificadas em algumas regiões do Estado de São Paulo e Estado do Texas (E.U.A.), respectivamente. Mas, para que esse fator exerça sua plena influência, é necessário verificar o comportamento do vento na região considerada, o qual auxilia consideravelmente a circulação vertical da massa líquida das lagoas, acarretando uma melhor eficiência do funcionamento principalmente da lagoa facultativa. Caso contrário, o benefício da temperatura para degradação nas regiões quentes será reduzido devido à formação da estratificação térmica.

## 9. RESUMO

1. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de verificar o funcionamento

de algumas lagoas de estabilização representativas das várias regiões do Estado de São Paulo.

Os resultados obtidos, juntamente com os dados que estão sendo levantados nas lagoas experimentais de Maringá e Tatuí, servirão de base para o estabelecimento de critérios de projeto para lagoas de estabilização.

2. De acordo com o objetivo deste estudo, foram selecionadas sete lagoas. Nestas, foram realizadas duas campanhas de coletas, em épocas diferentes: a primeira campanha nos meses de outubro e novembro de 1977 (verão), e a segunda, nos meses de julho e agosto de 1978 (inverno).

3. A maior parte do Estado de São Paulo possui clima tropical quente e úmido, e clima mesotérmico com verão quente, segundo a classificação de Köppen.

Nessas condições climatológicas, a temperatura e o vento, entre os fatores ambientais, poderão se constituir nos fatores mais atuantes para o funcionamento de lagoas de estabilização.

4. As variações horárias da vazão do esgoto afluente nas lagoas de estabilização levantadas, são semelhantes à curva padrão de consumo de água para a região em estudo.

A contribuição "per capita" de esgoto afluente foi estimada em 170 ± 19 l/hab. dia, valor próximo aos valores adotados na Europa, e menor que o dos Estados Unidos.

5. As curvas representativas das variações horárias da DBO, no esgoto afluente, foram similares às da vazão do esgoto.

A média ponderada das concentrações deste parâmetro nas lagoas estudadas foi de 248 ± 51 mg/l.

A contribuição diária "per capita" de DBO estimada foi de 44 ± 7 g, correspondendo a um valor aproximadamente 20% menor do que o determinado por Imhoff (54 g/hab. dia).

6. Além da DBO, foram verificadas as características do esgoto em termos de coliformes fecais e sais nutrientes.

Como se observa também em outros países, a contribuição de detergente para a concentração de fósforo, dos esgotos afluentes levantados, foi bastante significativa.

7. Em relação à eficiência de funcionamento, as lagoas anaeróbias estudadas apresentaram remoções de DBO que variaram de 35 a 72%, com cargas aplicadas de 43 a 75 g/m<sup>3</sup> dia, mostrando uma tendência de melhor eficiência à medida que se diminui as cargas poluidoras.

Por outro lado, verifica-se uma nítida diferença da modalidade de variação da eficiência entre as lagoas facultativas dos sistemas australianos e as lagoas unicelulares.

Enquanto as lagoas facultativas dos sistemas australianos apresentaram variações de eficiência proporcionais às cargas aplicadas, nas lagoas unicelulares foram registradas eficiências sempre elevadas, da ordem de 90% e praticamente constantes, dentro das cargas

aplicadas de 9 a 21 g/m<sup>3</sup> dia.

Este fenômeno permite induzir que a capacidade assimiladora de matéria carbonácea, na lagoa unicelular, seria superior às cargas apresentadas.

8. Por insuficiência de dados, não foi possível, no levantamento das sete lagoas, estabelecer relação entre o funcionamento das lagoas e os fatores ambientais e hidráulicos. O estudo deverá ser completado, nesse particular, após a conclusão dos estudos nas lagoas experimentais de Maringá e Tatuí.

9. A taxa de redução de coliformes fecais obtida no sistema australiano (97%), foi superior à da lagoa unicelular (90,5%), embora os tempos de detenção hidráulicas tenham sido praticamente iguais nos dois tipos de lagoas citadas.

Discutiu-se essa diferença relacionando-a com o mecanismo das lagoas multicelulares.

## 10. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. WPCF, APHA & AWWA. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*. Fourteenth edition. 1975. American Public Health Association.
2. Matsushita, A. T. e H. Kawai., *Características funcionais de lagoas de estabilização no Brasil*. Parâmetro de dimensionamento. XIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, Paraguay, 1972.
3. Köpper, W., *Classificação de clima pelo sistema de Köpper citado no Atlas Climatológico e Ecológico do Estado de São Paulo*. Comissão Interestadual da Bacia do Paraná e Uruguai. 1966.
4. Banco Nacional de Habitação. *Estudo sobre consumo per capita d'água em cidades interiores*. Trabalho em andamento na CETESB. 1979.
5. Sawyer, C. N., *Some new aspects of phosphates in relation to lake fertilization*. Sewage ind. wastes. vol. 24. 1952.
6. Vollenweider, R. A., *The specific basis of lake and stream eutrofication with particular reference to phosphorus and nitrogen as factors in eutrofication*. Pub. n.º DAS/CSI/68-27. Org. for Coop and Dev. Paris, 1968.
7. Wuhrmann, K., *Nitrogen removal in sewage treatment processes*. Inter. Assoc. Theor. Appl. Limn. vol. 15. 1964.
8. Kawai, H., *Eutrofização dos corpos d'água*. Apostila sobre curso por correspondência "Poluição das Águas". Convênio CETESB/ABES/BNH, 1975.

9. Castro, N., Bauch, T., Silva, N. J. A. e Hespanhol, I., *Biodegradabilidade dos Alquilbenzeno sulfonatos presentes nos detergentes de uso doméstico*. XI Congresso de Engenharia Sanitária, 1979.
10. Monteiro de Abreu, R., *Alguns dados sobre o problema dos Detergentes*. Relatório da CETESB, 1978.
11. Wasser, V., *The contribution of linear alkilbenzene Sulfonato to the MBAS level of some UK and Dutch surface waters*. Jr. Waters Uniliver Research Port Sunlight Laboratory. Port Sunlight, England, 1976.
12. Oswald, N. J., M. Aaron and M. D. Zabat, *Designing waste ponds to meet water quality criteria* In: 2<sup>nd</sup> International symposium for waste treatment lagoons. Missouri basin engineering health council & federal water quality administration, 1970.
13. Parker, C. D., Jones H. L. & W. S. Taylor, *Purification of sewage in lagoons* Sewage ind. wastes. vol. 22. 1950.
14. Van Ech, H, *The anaerobic digestions pond system*. In: Proceedings of the biennial conference of the Institute of sewage purifications. Institute of Sewage Purification, London, 1965.
15. Oswald, W. J. *Advances in anaerobic pond systems design*. In: Advances in water quality improvement. University of Texas Press. Austin and London, 1968.
16. Gloyna, E. & J. F. Malina Jr. *Apostila sobre tratamento de águas residuárias e disposição do lodo*. Projeto Brasil - 2103 - Governo do Estado de São Paulo, 1975.
17. Kawai, H. e Yano T. *Estudos sobre a verificação do funcionamento de lagoas anaeróbias em função de diferentes tempos de detenção e cargas aplicadas*. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 1975.
18. Levenspiel, O., *Chemical reaction engineering*. John Wiley e Sons, Inc. New York. 2<sup>a</sup> ed., 1972.
19. Marais, G. V. R. *Feecal bacterial kinetics in stabilization ponds*. Journ of the Environ. Enginr. Div., 1974.
20. Organizacion Mundial de la Salud. *Aprovechamiento de efluentes: Métodos y medidas de proteccion sanitaria en el tratamiento de aguas servidas*. Org. Mundial Salud Ser. Inf. Tec. n<sup>o</sup> 517. Ginebra, 1973.
21. Governo do Estado de São Paulo. *Decreto n<sup>o</sup> 8.468, de setembro de 1976*.
22. Gloyna, E. F., *Waste stabilization ponds, world Health Organization*. Geneva, 1971.
23. Inhoff, K. & D.K.S. Thislethwayte, *Disposal of Sewage and other waters borne waste*. London Butlerworths, 1971.
24. Hazen and Sawyer. *Relatório sobre disposição de esgotos*. São Paulo. Departamento de Águas e Esgotos do Governo do Estado de São Paulo, 1967.
25. Inhoff, K., *Manual de Tratamento de Águas Residuárias*. Editora USP, 1966.
26. Gloyna, E., F., *Basis for waste stabilization pond designs*. In: Advance in water quality improvement. University of Texas Press, Austin and London, 1968.
27. Duarte. *Idealized BOD<sub>5</sub> removal rates in facultative ponds* citado no trabalho de Gloyna, E. F. *Wasty stabilization ponds*. World Health organization. Geneva, 1971.

## REVISTA DAE A SERVIÇO DA COLETIVIDADE

O engenheiro Fernando Reis Dias, presidente do GAP-SABESP, enviou ofício ao diretor responsável da Revista DAE, manifestando o pensamento daquele grupo de técnicos do Gabinete do Governador do Estado de São Paulo dizendo o seguinte:

“A Revista DAE vem sendo publicada, ininterruptamente, há 45 anos. Por todo esse tempo tem acompanhado o progresso da ciência, da tecnologia e da prática da engenharia sanitária e ambiental, através da divulgação de editoriais e comunicação de artigos técnicos de alto nível.

Dessa forma, tem influído significativamente na economia e na eficácia de aplicação dos melhores

métodos para as práticas sanitárias na SABESP e em todo o Brasil. Esta é uma indispensável função divulgadora, disciplinadora, padronizadora e geradora de economia de escala.”

Agradecendo as palavras do presidente do GAP-SABESP, o diretor responsável pela Revista DAE informa que neste ano de 1981 a Revista será publicada em quatro edições, nos meses de fevereiro, abril, agosto e dezembro. A edição de agosto será especial, levando-se em conta o 11.<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, a ser realizado em Fortaleza, de 20 a 26 de setembro do corrente ano.