

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZA
ÇÃO EM SÉRIE NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS
NO NORDESTE DO BRASIL

por

Celso Luiz Piatti Neto

CAMPINA GRANDE, PARAÍBA

JULHO - 1981

Chega-te à sabedoria, como o que
lavra e semeia, e espera em paz
pelos seus excelentes frutos.

(Eclesiástico, 16, 19-20)



P583e

Piatti Neto, Celso Luiz.

Eficiência de um sistema de lagoas de estabilização em série no tratamento de esgotos domésticos no nordeste do Brasil / Celso Luiz Piatti Neto. - Campina Grande, 1981. 89 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1981. "Orientação : Prof. Salomão Anselmo Silva. Referências.

1. Tratamento de Esgotos Domésticos - Nordeste - Brasil. 2. Lagoas de Estabilização. 3. Engenharia Sanitária. 4. Dissertação - Ciências. I. Silva, Salomão Anselmo. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 628.3.033(812/813)(043)

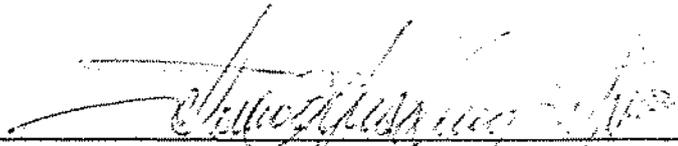
EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO
EM SÉRIE NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS NO
NORDESTE DO BRASIL

CELSO LUIZ PIATTI NETO
Engenheiro Civil

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PRO
GRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TEC
NOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, COMO PARTE DOS RE
QUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊN
CIAS (M.Sc.).

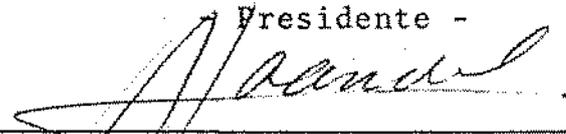
Aprovado por:

COMISSÃO

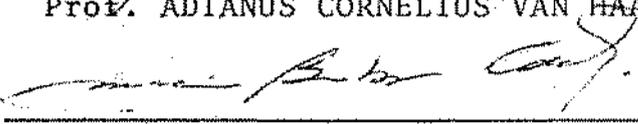

Prof. SALOMÃO ANSELMO SILVA

APROVADO

Presidente -


Prof. ADIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL

APROVADO


Prof. MÁRCIO BARBOSA CALLADO

APROVADO

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL

AGOSTO - 1981

OFERECIMENTO

A meus pais, Carlos e Eunice,
e a meus irmãos, Eduardo, Syl
via, Beto, Tania, Paulo, Ana
e Cláudia.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Salomão Anselmo Silva, que empreendeu a orientação deste trabalho.

Ao prof. David Duncan Mara, a quem meu atual conhecimento sobre lagoas de estabilização muito deve e que contribuiu valiosamente na estruturação deste trabalho.

A todos os meus ex-colegas de trabalho na EXTRABES, aos quais muito devo.

Os agradecimentos são extensivos também às entidades seguintes, que generosamente ajudaram a patrocinar este trabalho:

Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA

Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDE

Canadian International Development Agency - CIDA

Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP.

R E S U M O

Neste trabalho apresentamos e discutimos os resultados obtidos, durante o período compreendido entre março/1977 e maio/1979, com um sistema piloto de cinco lagoas de estabilização em série, alimentado continuamente com o esgoto doméstico de Campina Grande, construído na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES, da Universidade Federal da Paraíba - UFPb.

Este sistema foi dimensionado segundo parâmetros que proporcionaram a cada lagoa um tempo de detenção hidráulico entre 5 - 7 dias.

Verificamos que este sistema foi capaz de reduzir a DBO_5 de 300 mg/l para menos de 25 mg/l, e, o que é mais importante, foi capaz de reduzir o número de Coliformes fecais de $4,61 \times 10^7/100$ ml para menos de 100/100 ml, que é o padrão da Organização Mundial de Saúde - OMS para irrigação irrestrita (15).

A eficiência do sistema foi comparada com aquela descrita na proposta de projeto para lagoas de estabilização em climas quentes, apresentada por Mara (8) no relatório técnico publicado em abril de 1975. Os resultados obtidos nos levam a concluir que esta proposta de projeto foi substancialmente verificada.

O modelo cinético para redução de bactérias fecais em lagoas de estabilização apresentado por Marais & Shaw (10), posteriormente completado por Marais (11) (1) (12), é resumidamente mostrado, e os resultados obtidos são utilizados na verificação da evidência experimental deste modelo. Para a série completa de lagoas, verificamos que os valores de $K = 2,33 \text{ dia}^{-1}$ (comparado com o valor de $K = 2,0 \text{ dia}^{-1}$ sugerido por Marais (12)) e

$K = 2,73 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente para Coliformes fecais e Estreptococos fecais, nos oferecem as melhores correlações experimentais.

Através da caracterização da eficiência, fornecemos elementos novos, os quais esperamos que contribuam para que as lagoas de estabilização em série no Brasil sejam tão eficientes e econômicas quanto possível. Sabemos que, para isto, é necessário proporcionar, de acordo com os meios disponíveis no local, todos aqueles fatores que exercem influência favorável no desempenho destas lagoas.

A B S T R A C T

In this work we present and discuss the results obtained during the period March 1977 through May 1979 from a series of five pilot scale stabilization ponds, each having a retention time of 5 days - 7 days. The ponds were continuously loaded with domestic sewage of the city of Campina Grande and were constructed at the Sewage Treatment Experiment Station - EXTRABES of the Federal University of Paraiba - UFPB.

The results show that this system reduced the DBO_5 from 300 mg/l to less than 25 mg/l and, more importantly, reduced the faecal coliform count from $4.61 \times 10^7/100$ ml to less than 100/100 ml which is the World Health Organization (WHO) standard for unrestricted irrigation (15).

The experimental efficiency of the system was compared with that described in a proposed design for oxidation ponds in hot climates presented by Mara (8). It may be concluded that this proposed design procedure was substantially verified.

The kinetic model for the reduction of faecal bacteria in stabilization ponds presented by Marais & Shaw (10), and later extended by Marais (11) (1) (12), is resumed. Experimental evidence is submitted to confirm the application of the theory to Northeast Brazil conditions. The best correlation between experimental and theoretical data was obtained for $K = 2.33 \text{ day}^{-1}$ for faecal coliform (compared to $K = 2.0 \text{ day}^{-1}$ suggested by Marais (12)) and $K = 2.73 \text{ day}^{-1}$ for faecal streptococcus.

By characterizing the efficiency, new elements are offered, that may contribute to the optimization of series stabilization ponds systems design in Brazil. To this effect is necessary to

provide, depending on the locally available means, all those factors that have an favorable influence on the performance of these ponds.

S U M Á R I O

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	01
1. TIPOS DE LAGOAS	01
1.1. Unidades Anaeróbias de Pré-Tratamento	02
1.2. Lagoas Facultativas	02
1.3. Lagoas de Alta-Taxa de Degradação	03
1.4. Lagoas de Maturação	03
1.5. Lagoas Mecanicamente Assistidas	04
1.6. Lagoas Aeradas	04
2. VANTAGENS DAS LAGOAS	05
3. EXPERIÊNCIA BRASILEIRA SOBRE LAGOAS	08
4. OBJETIVOS DO TRABALHO	12
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA	20
1. A TEORIA	23
1.1. Estado de Equilíbrio nas Lagoas Individuais	25
1.2. Operação em Série	27
1.3. Volumes Relativos em Série	27
1.4. Reatores de Carga Não-Dispersa ("Plug-Flow")	28
1.5. Relação entre Lagoa Individual, Série de Lagoas e Condições de Carga Não - Dispersa ("Plug-Flow")	28
1.6. Lagoas em Série e Lagoa Individual	31
1.7. Evidência Experimental	32

	Página
2. PROJETOS MODERNOS DE LAGOAS DE MATURAÇÃO	34
2.1. Redução da Concentração de DBO 5-dias nas Lagoas de Maturação	34
2.2. Redução da Concentração de Bactérias Feais nas Lagoas de Maturação	36
2.3. Profundidade das Lagoas de Maturação	37
2.4. Padrões de Efluentes	37
3. O PROBLEMA DA DBO DO EFLUENTE DAS LAGOAS DE MATURAÇÃO	38
4. REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES	40
4.1. Aquacultura	40
4.2. Re-uso na Agricultura	42
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	44
1. O SISTEMA PILOTO DE LAGOAS - ALIMENTAÇÃO	44
2. COLETA DE AMOSTRAS - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE - INSTRUMENTAÇÃO	45
CAPÍTULO IV - RESULTADOS EXPERIMENTAIS	51
CAPÍTULO V - DISCUSSÃO	72
1. EFICIÊNCIA DO SISTEMA	72
2. VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA TEORIA DE MARAIS & SHAW (10) QUANDO APLICADA À CONCENTRAÇÃO DE BACTÉRIAS FECAIS	77
3. TRATAMENTO TERCIÁRIO	78
4. FATORES INDESEJÁVEIS	84
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

No presente capítulo descrevemos sumariamente os principais tipos e sub-tipos de lagoas de estabilização apresentando as características importantes que os distinguem entre si. mostramos as principais vantagens gerais das lagoas de estabilização, algo da experiência brasileira sobre lagoas e finalizamos com os objetivos deste trabalho.

1. TIPOS DE LAGOAS

Lagoas de estabilização podem ser definidas como grandes lagos rasos fechados por taludes de terra nos quais processos inteiramente naturais sob condições parcialmente controladas acontecem para a redução da matéria orgânica e a destruição dos organismos patogênicos presentes nas águas residuárias.

Se imaginássemos uma escada de controle para os processos de degradação biológica, as lagoas de estabilização se situariam no primeiro degrau desta escada. No último degrau estariam processos tais como lodos ativados, digestão anaeróbia termofílica à completa-mistura etc, nos quais o meio e os fatores físicos que influem no processo, são quase completamente controlados. Normalmente, nas lagoas de estabilização somente fatores físicos tais como a profundidade e a carga podem ser controlados em certo grau.

A nomenclatura das lagoas de estabilização é confusa. Para nosso propósito usaremos o termo "lagoa de estabilização" co

mo nome geral para todos os tipos de lagoas.

Conforme Marais (1), as lagoas de estabilização podem ser subdivididas nos seguintes tipos:

1.1 - Unidades Anaeróbias de Prê-tratamento

Esta sub-divisão inclui as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, as privadas de fermentação e os tanques de pré-tratamento. As lagoas anaeróbias são aquelas que têm sua massa líquida anaeróbia. As demais unidades diferem das lagoas anaeróbias somente por apresentarem uma cobertura artificial prevista para guardar a massa líquida anaeróbia do contato com a atmosfera, sendo o meio físico e a ação de degradação idênticos aos das lagoas anaeróbias.

Existe um sub-tipo: as lagoas anaeróbias com uma camada aeróbia na superfície. Esta camada aeróbia é considerada para reduzir o desenvolvimento de odores.

Todas as unidades anaeróbias de pré-tratamento têm uma característica em comum: seus efluentes requerem tratamento adicional.

1.2 - Lagoas Facultativas

Uma lagoa facultativa pode ser definida como aquela na qual

a) o meio líquido da lagoa é estabilizado aeróbia-anaeróbiamente e a maior parte do oxigênio necessário para a estabilização aeróbia é fornecida pela fotossíntese das algas;

b) o lodo no fundo da lagoa é estabilizado anaeróbiamente.

Nas lagoas facultativas condições de alta radiação e baixa velocidade do vento forçam o surgimento de estratificação térmica do meio líquido da lagoa. As camadas superiores são aquedadas tendo sua densidade reduzida e, em consequência, impedindo sua mistura com as camadas do fundo da lagoa. O oxigênio é então gerado somente acima da profundidade que a radiação pode penetrar. Isto faz com que as camadas da superfície da lagoa se

jam normalmente aeróbias a maior parte do tempo, enquanto as camadas do fundo permanecem predominantemente anaeróbias. A persistência desta condição afeta adversamente o crescimento das algas e reduz a capacidade de reoxigenação da lagoa. Onde a velocidade do vento é suficientemente alta, a mistura das camadas da lagoa ocorre periodicamente alternando condições de mistura e estratificação. O período de mistura promove o crescimento das algas e distribui o oxigênio por toda a lagoa. Assim, por causa do meio aeróbio e anaeróbio alternado, somente organismos facultativos podem subsistir na massa líquida da lagoa.

As condições de quietude normalmente encontradas nas camadas superiores da lagoa promovem a sedimentação de material orgânico dando origem a uma camada de lodo distinta no fundo da lagoa. A massa interna desta camada de lodo é permanentemente anaeróbia e os organismos que aí se desenvolvem, são predominantemente anaeróbios obrigatórios.

1.3 - Lagoas de Alta-taxa de Degradação

Nestas lagoas profundidades reduzidas permitem a radiação penetrar através de toda a massa líquida promovendo o desenvolvimento de grandes concentrações de algas, sua ação fotossintética mantendo aeróbia toda a lagoa. Todo o conteúdo da lagoa precisa ser periodicamente misturado várias vezes por dia, incluindo o material sedimentado. Assim, a poluição orgânica é substancialmente convertida em material celular das algas, as quais precisam ser separadas do líquido, se o conteúdo orgânico do efluente deva ser reduzido. São lagoas que requerem controle permanente.

1.4 - Lagoas de Maturação

Estas lagoas tratam os efluentes das estações de tratamento convencionais e das lagoas facultativas nos sistemas de lagoas em série. Elas servem para "polir" ou "maturar" o efluente reduzindo os sólidos sedimentáveis e os organismos fecais. DBO

e amônia são também reduzidas, mas somente em pequena extensão.

1.5 - Lagoas Mecanicamente Assistidas

Existem dois sub-tipos: com recirculação intra-lagoa e com recirculação inter-lagoa. No primeiro sub-tipo o próprio líquido da lagoa é recirculado. A recirculação pode então ter duas finalidades:

a) Ajudar a reaeração do líquido da lagoa - o líquido recirculado é despejado numa calha por onde gravita e novamente retorna à lagoa. Se alguém calcular a demanda diária de oxigênio de uma lagoa, torna-se evidentemente claro que a recirculação não poderá suprir todo o oxigênio necessário, salvo se grandes taxas de recirculação forem usadas.

b) Ajudar a eliminar a estratificação na lagoa e induzir melhores condições de mistura - uma adequada mistura durante as horas do dia faz com que as algas não-motoras cresçam em concentração aumentando a produção de oxigênio necessário por fotossíntese. A recirculação intra-lagoa promete muito como um meio capaz de aumentar a capacidade de carga das lagoas facultativas.

Na recirculação inter-lagoa o líquido da lagoa secundária na série é recirculado para a lagoa primária. Isto ajuda a promover a mistura na lagoa primária, mas o principal objetivo é o de reduzir a carga orgânica na lagoa primária transferindo uma parte da mesma, da lagoa primária para a secundária. Nos sistemas onde a lagoa primária é anaeróbia, a recirculação inter-lagoa é principalmente usada para reduzir ou eliminar completamente o desenvolvimento de odores.

Assistindo mecanicamente as lagoas, subimos mais um grau na escada de controle, neste caso melhorando artificialmente uma condição (mistura) que algumas vezes é naturalmente deficiente.

1.6 - Lagoas Aeradas

Numa lagoa aerada, potencialmente todo o oxigênio para a

estabilização aeróbia é fornecido por aeração mecânica superficial ou aeração por bolhas de ar. Se a energia influente durante a aeração é suficientemente alta, todos os sólidos sedimentáveis na lagoa são mantidos em suspensão e o crescimento das algas é ausente ou grandemente reduzido devido à agitação violenta do líquido e à alta turbidez. Por outro lado, se reduzirmos a energia influente, a agitação agora pode ser insuficiente para manter todos os sólidos sedimentáveis em suspensão e forma-se então uma camada de lodo no fundo da lagoa, a qual se decompõe anaeróbiamente como numa lagoa facultativa.

As lagoas aeradas representam outro degrau acima na escala de controle. Nela dispensa-se completamente o processo natural de abastecimento de oxigênio pelas algas e a lagoa torna-se permanentemente dependente do oxigênio introduzido por meios artificiais.

2. VANTAGENS DAS LAGOAS

De acordo com Mara (2), analisando os processos convencionais de tratamento de esgotos, verificamos que existem três principais razões pelas quais estes processos raramente são adequados para nossas condições locais, quais sejam:

a) Custo - se comparado com outros processos, o tratamento convencional é muito caro tanto em termos de custo de capital como de custo de operação (vide tabela 1.1);

b) Manutenção - o tratamento convencional requer grande quantidade de equipamentos eletro-mecânicos, os quais precisam ser mantidos em perfeitas condições para que a instalação funcione satisfatoriamente;

c) O processo em si - o tratamento convencional é projetado para a redução de matéria orgânica presente nas águas residuárias no intuito de proteger a poluição dos corpos receptores, mas não é eficiente na destruição de patógenos fecais, o que para nós parece ser consideravelmente mais importante que a remoção da DBO. Ademais, o tratamento do lodo é difícil e caro, contribuindo em até 40% do custo total do tratamento.

Ao contrário dos processos convencionais de tratamento, as lagoas de estabilização são um processo que, além de atender adequadamente aos requisitos de ordem técnica, mostram que bem se adaptam às nossas condições climáticas e econômicas. A principal desvantagem das lagoas de estabilização é que requerem maiores áreas de terra que outros processos de tratamento. No entanto, para nós isto raramente é uma desvantagem importante, uma vez que temos muita terra disponível a custo relativamente baixo.

Mara (3) cita entre as vantagens gerais das lagoas de estabilização:

1 - Poder alcançar qualquer grau de purificação, ao mais baixo custo e com mínima manutenção por operadores especializados.

A tabela 1.1 mostra faixas de custo anual (custo de manutenção + custo de capital amortizado a 6% a.a. em 20 anos) para vários métodos de tratamento na Índia: as lagoas de estabilização são claramente a mais barata forma de tratamento. A manutenção requerida pelas lagoas é mínima: aparar regularmente a vegetação dos taludes e remover escumas flutuantes na superfície da lagoa.

2 - A remoção de patogênicos é consideravelmente maior que nos outros métodos de tratamento de esgotos.

O efluente de uma série de três lagoas usualmente contém < 5000 CF/100 ml, enquanto o efluente final de uma estação convencional (efluente de um tanque de húmus) contém cerca de 5 000 000 CF/100 ml. Cistos e ovos de parasitas intestinais comumente presentes nos efluentes convencionais não são encontrados nos efluentes das lagoas de maturação. Felizmente, o habitat na lagoa é inadequado para o crescimento de caramujos hospedeiros de vermes parasitas tais como o "Schistosoma spp." e "Clonorchis sinensis".

3 - São capazes de suportar cargas de choque orgânicas ou hidráulicas.

Períodos de detenção longos (20-30 dias nas lagoas facultativas tratando esgoto bruto) garantem sempre diluição sufici

Tabela 1.1 - Faixas de custo anual para diferentes processos de tratamento de esgotos na Índia (valores de 1970 incluindo a amortização do capital em 20 anos a juros de 6% a.a.)

Processo	Custo Anual (rúpias/capita)
Lagoas de estabilização	0,9 a 2,3
Lagoas aeradas	2,3 a 4,8
Valos de Oxidação	3,8 a 6,0
Tratamento convencional	3,5 a 13,2

Fonte: Mara (2)

ente para pequenas sobrecargas de choque.

4 - Podem efetivamente tratar uma grande variedade de esgotos industriais e agrícolas.

Esgotos biodegradáveis tais como o das leiterias, matadouros, fábricas de processamento de alimentos etc, têm sido tratados com sucesso juntamente com esgotos domésticos em lagoas facultativas. As lagoas anaeróbias são particularmente vantajosas para esgotos concentrados que devem ser tratados isoladamente.

5 - Podem ser projetadas de maneira a permitir facilmente alterações no grau de tratamento.

O projeto das estruturas de saída pode permitir variações no nível do líquido, o tempo de detenção e, em consequência, o grau de tratamento, podendo assim ser facilmente alterado.

6 - O método de construção de uma lagoa permite que no futuro o terreno seja facilmente reaproveitado para outros fins.

Tudo o que se requer para isso é a remoção das estruturas de entrada e saída e das placas de concreto situadas à linha d'água que protegem os taludes contra a erosão. O nivelamento do terreno pode vir subsequentemente.

7 - As algas produzidas nas lagoas são uma fonte poten

cial de proteínas que podem ser convenientemente exploradas para a criação de peixes.

Peixes têm sido criados com sucesso nas lagoas de maturação (3), trazendo sua comercialização substanciais rendimentos que podem reduzir os custos de operação da instalação de tratamento. Patos também podem ser criados nas lagoas de maturação.

3. EXPERIÊNCIA BRASILEIRA SOBRE LAGOAS

As lagoas de estabilização no Brasil já são bastante numerosas e vêm encontrando aplicação progressiva cada vez mais intensa.

Neste tópico procuramos apresentar algumas experiências brasileiras importantes sobre estas lagoas, no intuito de contribuir para uma crescente unidade entre o conhecimento e a experiência ganha até então.

Em São José dos Campos, o Serviço do Vale do Paraíba experimentou um trabalho pioneiro no país um sistema de lagoas anaeróbio-facultativa em série, entre dezembro de 1960 e julho de 1963, numa tentativa de encontrar uma solução para o problema dos esgotos das cidades ribeirinhas do Vale do Paraíba, que não exigisse grandes investimentos e que apresentasse um custo econômico de operação e manutenção. Conforme Victorette (4), as lagoas mediam aproximadamente 0,72 e 2,16 ha, a maior área correspondendo à lagoa facultativa. A profundidade das lagoas durante o período de 1961 foi mantida em torno de 85-90 cm e durante o período 1962-1963 a profundidade da lagoa facultativa variou entre 85-125 cm. As lagoas foram alimentadas continuamente com esgoto doméstico municipal, o tempo de detenção hidráulico médio foi de 4,6 dias na lagoa anaeróbia para uma carga volumétrica de aproximadamente $70 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3\text{dia}$ (para um DBO_5 influente de 338 mg/l) e 13,8 dias na lagoa facultativa para uma carga orgânica superficial de aproximadamente $160 \text{ kg DBO}_5/\text{ha dia}$ (para um DBO_5 influente de 215 mg/l). Os resultados e rendimentos médios obtidos pelo sistema e pelas lagoas individualmente para DBO_5 e Coliformes totais nos períodos de verão e inverno estão

apresentados na tabela 1.2.

Bradley e Álvares da Silva (5) apresentaram um sumário de dados operacionais obtidos para diferentes sistemas de lagoas anaeróbio-facultativa em série, tratando esgoto doméstico no Brasil. As tabelas 1.3, 1.4 e 1.5 trazem alguns detalhes destes sistemas.

As lagoas do RCG (Regimento de Cavalaria de Guardas) em Brasília mostradas na tabela 1.3 recebem esgoto doméstico de uma população de 2 100 habitantes. A lagoa anaeróbia tinha profundidade de 2 m, tempo de detenção hidráulico de 6 dias para uma carga volumétrica aplicada de $35 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3 \text{ dia}$. A lagoa facultativa tinha profundidade de 1 m, tempo de detenção hidráulico de 10 dias para uma carga orgânica superficial de $84 \text{ kg DBO}_5/\text{ha dia}$.

Os dados operacionais nas tabelas 1.3 e 1.4 mostram a performance deste sistema e do sistema de lagoas de Guarã (Brasília) para uma série de parâmetros analisados.

A tabela 1.5 traz os resultados operacionais do sistema de lagoas de Mairiporã (São Paulo), projetado para uma população final de 8 000 habitantes. Estes dados mostram a eficiência do tratamento, quando o sistema atendia uma população de 1 000 habitantes (um caso de sub-carregamento). A lagoa anaeróbia tinha profundidade de 3 m, mas na ocasião funcionava satisfatoriamente como uma lagoa facultativa (presença de algas e oxigênio dissolvido) produzindo uma redução na DBO de 79% com tempo de detenção hidráulico de 23 dias para uma carga orgânica superficial de $661 \text{ kg DBO}_5/\text{ha dia}$ (carga volumétrica aproximadamente igual a $22 \text{ g}/\text{m}^3 \text{ dia}$). A segunda lagoa facultativa tinha profundidade igual a 1 m e servia como habitat favorável ao crescimento de algas, a concentração de sólidos em suspensão aumentando em cerca de 58% na lagoa, que operava com tempo de detenção hidráulico de 39 dias para uma carga orgânica superficial de $31 \text{ kg DBO}_5/\text{ha dia}$.

Numa rápida análise crítica das características e resultados dos sistemas apresentados anteriormente, verificamos que os projetos foram baseados nas recomendações da literatura estran

geira da época, proveniente dos países de clima temperado, principalmente Estados Unidos e Austrália. Ora, sabemos que, atualmente, estes critérios antigos de projeto levam a dimensionamentos que fogem em muito das reais possibilidades das lagoas de estabilização para nossas condições climáticas. Modernos critérios de projeto recomendam taxas de carregamento para condições tropicais e sub-tropicais iguais a 100-400 g DBO₅/m³ dia para as lagoas anaeróbias e superiores a 200 kg DBO₅/hadia para as lagoas facultativas (3). A experiência tem mostrado ser perfeitamente satisfatório o desempenho e eficiência das lagoas da África Central e do Sul submetidas a tais carregamentos (2) e (3).

Ao nosso ver, a experiência brasileira mais importante do momento sobre lagoas de estabilização no país é a que está sendo desenvolvida pela Universidade Federal da Paraíba (UFPb) através de sua Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES. As instalações experimentais desta estação já foram descritas por Silva (6), e seu início de operação data de janeiro de 1977. A partir desta data, a EXTRABES vem experimentando diferentes sistemas de lagoas de estabilização construídos em escala-piloto e os resultados das investigações têm encontrado seu caminho ao público através de algumas publicações, entre elas algumas dissertações de mestrado (como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências).

Mara e Silva (7) apresentam e discutem os resultados obtidos durante o primeiro ano de operação destas lagoas. De acordo com esta publicação, os resultados (e faixas) obtidos para DBO, DQO, Sólidos em Suspensão (SS), Coliformes Fecais (CF) e *Streptococos* fecais (EF), para quatro lagoas facultativas independentemente carregadas durante o período de junho de 1977 até abril de 1978, estão apresentados na tabela 1.6. As lagoas medem aproximadamente 25 x 7,5 x 1,25 m, e são alimentadas continuamente com esgoto doméstico bombeado desde emissário adjacente do sistema de esgotos municipal. Os tempos de detenção hidráulicos médios nas quatro lagoas são 9,4, 11,7, 12,3 e 18,5

dias, para uma carga orgânica superficial de aproximadamente 200, 300, 300 e 400 kg DBO₅/ha dia (para um DBO influente de 300 mg/l). A variação de vazão influente foi inferior a 4%. A temperatura diária média nas lagoas, medidas com termômetros de máxima e mínima, suspensos à profundidade média em cada lagoa, estava na estreita faixa de 25-27°C.

Como mostra a tabela 1.6, a lagoa A operou convenientemente com uma carga orgânica superficial de 400 kg/ha dia, mostrando que semelhantes cargas de projeto são válidas para o dimensionamento de lagoas facultativas no Nordeste do Brasil e que o uso de tais cargas permite consideráveis economias de terra, uma vez que a prática atual ainda é a de usar cargas de projeto reduzidas, geralmente na faixa de 50-150 kg/ha dia.

Os resultados médios (e faixas) obtidos para DBO, DQO, SS, CF e EF para duas lagoas anaeróbias estão apresentados na tabela 1.7. As dimensões destas duas lagoas são 14,9 x 1,23 x 1,75m; uma delas é dividida em duas unidades em série por uma parede a 9,8 m do influente. O esgoto doméstico municipal é bombeado continuamente para as duas lagoas, dando um tempo de detenção hidráulico médio total de 1,9 e 1,2 dias. Os resultados mostram que as lagoas anaeróbias são altamente eficientes em reduzir ambos, compostos orgânicos e bactérias fecais. A remoção de DBO e DQO foi aproximadamente 80% e 70% respectivamente, e a remoção de CF e EF 88% e 90% respectivamente (7).

A carga volumétrica de DBO na lagoa alcançava 390 g/m³ dia, muito próxima do limite de 400 g/m³ dia recomendado pela literatura (3), no entanto a lagoa sempre apresentou excelente performance confirmando também a necessidade de se reavaliar com urgência as taxas de carregamento de projeto para o dimensionamento das lagoas anaeróbias (vide experiências mostradas nas tabelas 1.2, 1.3, 1.4 e 1.5 em Brasília e São Paulo).

Resultados operacionais de lagoas de maturação têm sido publicados largamente no exterior, suas vantagens e desvantagens sendo discutidas a partir das características próprias de cada sistema.

Infelizmente, o Brasil ainda não despertou para a apli

cação das lagoas de maturação, as quais são usadas principalmente para a obtenção de um efluente de alta qualidade bacteriológica. A eficiência destas lagoas na redução de patogênicos vem sendo convenientemente avaliada pela remoção de Coliformes fecais, remoção esta que pode ser superior a 99,99% em projetos adequados (3). Esta razão para a utilização das lagoas de maturação é muito importante para nós, uma vez que, reconhecidamente, a remoção de DBO sem a devida atenção para a destruição dos agentes causadores de doenças é inadequada (8).

A EXTRABES vem experimentando desde março de 1977 um sistema multi-lagoas com cinco lagoas em série, a primeira unidade anaeróbia, a segunda facultativa e as demais de maturação. Mara, Silva e Ceballos (9) e Mara e Silva (7) apresentaram e discutiram os resultados operacionais deste sistema para o período junho de 1977 até abril de 1978. Detalhes sobre este sistema de lagoas são dados no decorrer da presente dissertação, pois que a mesma é baseada neste sistema de lagoas em série.

4. OBJETIVOS DO TRABALHO

No presente trabalho apresentamos e discutimos os resultados obtidos, durante o período compreendido entre março de 1977 e maio de 1979, com um sistema-piloto de cinco lagoas de estabilização em série, alimentado continuamente com o esgoto doméstico de Campina Grande, construído na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES, da Universidade Federal da Paraíba.

Através da caracterização da eficiência, fornecemos elementos novos, os quais esperamos que contribuam para que as lagoas de estabilização em série no Brasil sejam tão eficientes e econômicas quanto possível. Sabemos que para isto é necessário proporcionar, de acordo com os meios disponíveis no local, todos aqueles fatores que exercem influência favorável no desempenho destas lagoas.

A eficiência do sistema foi comparada com aquela descrita na proposta de projeto para lagoas de estabilização em climas

quentes, apresentada por Mara (8) no relatório técnico publicado em abril de 1975.

O modelo cinético para a redução de bactérias fecais em lagoas de estabilização apresentado por Marais & Shaw (10), e posteriormente completado por Marais (11) (1) (12), é resumidamente mostrado, e os resultados obtidos são utilizados na verificação da evidência experimental deste modelo.

- Tabela 1.2 - Resultados e reduções médias no inverno e no verão para DBO₅ e NMP de Coli formos

	Esgoto Bruto	Anaeróbia		Aeróbia		Conjunto		Observação
		1961	1962/63	1961	1962/63	1961	1962/63	
DBO (mg/l)	337,70	-	218,47 35%	24,00 -	47,75 78%	92,9%	85,8%	Inverno
		-	168,00 50%	19,60 -	32,90 80%	94,1%	90,2%	Verão
NMP de Coliformes (em 100 ml)	83x10 ⁶	-	13,69x10 ⁶ 83%	340x10 ⁵ -	661,2x10 ³ 95,3%	99,6%	99,2%	Inverno
		-	9,27x10 ⁶ 89%	62x10 ⁵ -	434x10 ³ 95,2%	99,9%	99,5%	Verão

Fonte: Victorette (4)

Tabela 1.3 - Resultados operacionais do Sistema de lagoas de estabilização do RCG (Brasília)

Parâmetro	Lagoa Anaeróbia			Lagoa Facultativa		Redução Total (%)
	Influente	Efluente	Redução (%)	Efluente	Redução (%)	
Temperatura do ar °C	25,1	-	-	-	-	-
Temperatura do esgoto °C	23,5	-	-	-	-	-
pH	6,6	6,4	-	7,6	-	-
DBO	325	163	50	46	72	86
DQO	568	208	63	284	34 ^h	50
SS	232	110	53	130	18 ^h	44
Sólidos Dissolvidos	219	148	32	143	3	35
N-Orgânico	4,5	4,1	9	3,2	22	29
N-Amônia	21,7	19,2	12	10,6	45	51
N-NO ₂	0,28	0,15	46	0,10	33	64
N-NO ₃	0,09	0,11	22 ^h	0,73	564 ^h	711 ^h
P-Total	3,26	2,80	14	2,41	14	26
P-Solúvel	33,19	2,61	18	2,35	10	26
Alcalinidade total	113	95	16	55	42	51
NMP de Coliformes/100 ml	90,7x10 ⁶	14,2x10 ⁶	84	2,6x10 ⁶	82	97
Cloreto	70	55	21	53	4	24

Notas: 1. Todas as análises estão expressas em (mg/l)

2. Os resultados são valores médios para o período maio/1969 até abril/1970 (aproximadamente 100 determinações na maioria dos casos)

3. Os resultados de DBO correspondem a DBO (5 dias - 20°C)

4. Indica aumento

Fonte: Bradley e Álvares da Silva (5)

Tabela 1.4 - Resultados operacionais do sistema de lagoas de Guarã (Brasília)

Parâmetro	Lagoa Anaeróbia			Lagoa Facultativa		Redução Total (%)
	Influente	Efluente	Redução (%)	Efluente	Redução (%)	
Temperatura do ar °C	23,3	-	-	-	-	-
Temperatura do esgoto °C	23,4	23,9	-	23,9	-	-
pH	7,2	7,2	-	7,5	-	-
DBO ₅ ²⁰	465	174	63	103	41	78
DBO (filtrado)	-	-	-	93	-	-
DQO	1132	613	46	311	49	73
SS	253	86	66	78	9	69
Sólidos dissolvidos	295	164	44	166	1 ³	44
N-Amônia	40,5	14,6	64	8,7	40	79
N-NO ₂	0,05	0,03	40	0,05	67 ³	0
N-NO ₃	0,19	0,20	5 ³	0,32	60 ³	68 ³
CO ₂	35	18	49	6	67	83
Alcalinidade total	173	104	40	82	21	53
Cloreto	47	34	28	35	3 ³	26

Notas: 1. Todas as análises estão expressas em (mg/l)

2. Os resultados são valores médios para março de 1972

3. Indica aumento

Fonte: Bradley e Álvares da Silva (5)

Tabela 1.5 - Resultados operacionais do sistema de lagoas de Mairiporã (São Paulo)

Parâmetro	Lagoa Anaeróbia			Lagoa Facultativa		Redução Total(%)
	Influente	Efluente	Redução(%)	Efluente	Redução(%)	
Temperatura do ar °C	24	24,5	-	24,4	-	-
pH	6,5	7,0	-	8,5	-	-
DBO ₅ ²⁰	517	109	79	56	49	89
DQO	838	-	-	201	-	76
SS	538	100	81	155,8	58 ³	71
Sólidos dissolvidos	462	327	29	276	16	40

Notas: 1. Todas as análises estão expressas em (mg/l)

2. Os resultados são os valores médios de quatro amostras tomadas em novembro de 1974

3. Indica aumento

4. O DBO do efluente da lagoa facultativa é filtrado

Fonte: Bradley e Álvares da Silva (5)

Tabela 1.6 - Resultados experimentais médios (e faixas) obtidos de quatro lagoas facultativas independentemente carregadas durante o período de junho/1977 até abril/1978

Amostra	Tempo de detenção hidráulico médio (dias)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	CF (p/100ml)	EF (p/100 ml)
Esgoto-Bruto	-	234 (105-308)	576 (352-904)	329 (160-690)	5,0x10 ⁷ (2,4-8,4)10 ⁷	7,0x10 ⁶ (2,6-12)10 ⁶
Efluente da Lagoa A	9,4	53 (37-97)	240 (172-397)	86 (47 -145)	4,8x10 ⁵ (2,1-10)10 ⁵	3,7x10 ⁴ (1,7-7,2)10 ⁴
Efluente da Lagoa B	11,7	48 (28-65)	233 (158-313)	91 (42 -151)	5,0x10 ⁵ (2,4-11)10 ⁵	5,3x10 ⁴ (1,1-21)10 ⁴
Efluente da Lagoa C	12,3	46 (29-68)	243 (160-314)	93 (57 -134)	3,4x10 ⁵ (1,9-5,1)10 ⁵	2,7x10 ⁴ (1,2-2,6)10 ⁴
Efluente da Lagoa D	18,5	37 (21-49)	234 (119-388)	98 (35 -186)	4,1x10 ⁵ (1,3-6,3)10 ⁵	4,6x10 ⁴ (2,1-6,4)10 ⁴

Fonte: Mára e Silva (7)

Tabela 1.7 - Resultados experimentais médios (e faixas) obtidos em lagoas anaeróbias durante o período junho/1977 até abril/1978

Amostra	Tempo de detenção hidráulico médio (dias)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	CF (p/100ml)	EF (p/100ml)
Esgoto-Bruto	-	234 (105-308)	576 (352-904)	329 (160-680)	5,0x10 ⁷ (2,4-8,4)10 ⁷	7,0x10 ⁶ (2,6-12)10 ⁶
Efluente da Lagoa P	1,9	47 (27 -106)	175 (137-288)	67 (43-88)	5,4x10 ⁶ (2,6-15)10 ⁶	2,8x10 ⁵ (1,0-3,5)10 ⁵
Efluente da Lagoa Q ₁	0,8	63 (39 - 96)	228 (148-307)	89 (56 -128)	8,8x10 ⁶ (2,4-31)10 ⁶	4,1x10 ⁵ (1,7-7,3)10 ⁵
Efluente da Lagoa Q ₂		48 (25 -108)	197 (135-328)	71 (31 -170)	6,5x10 ⁶ (3,1-14)10 ⁶	3,2x10 ⁵ (1,5-6,3)10 ⁵

Fonte: Mara e Silva (7)

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

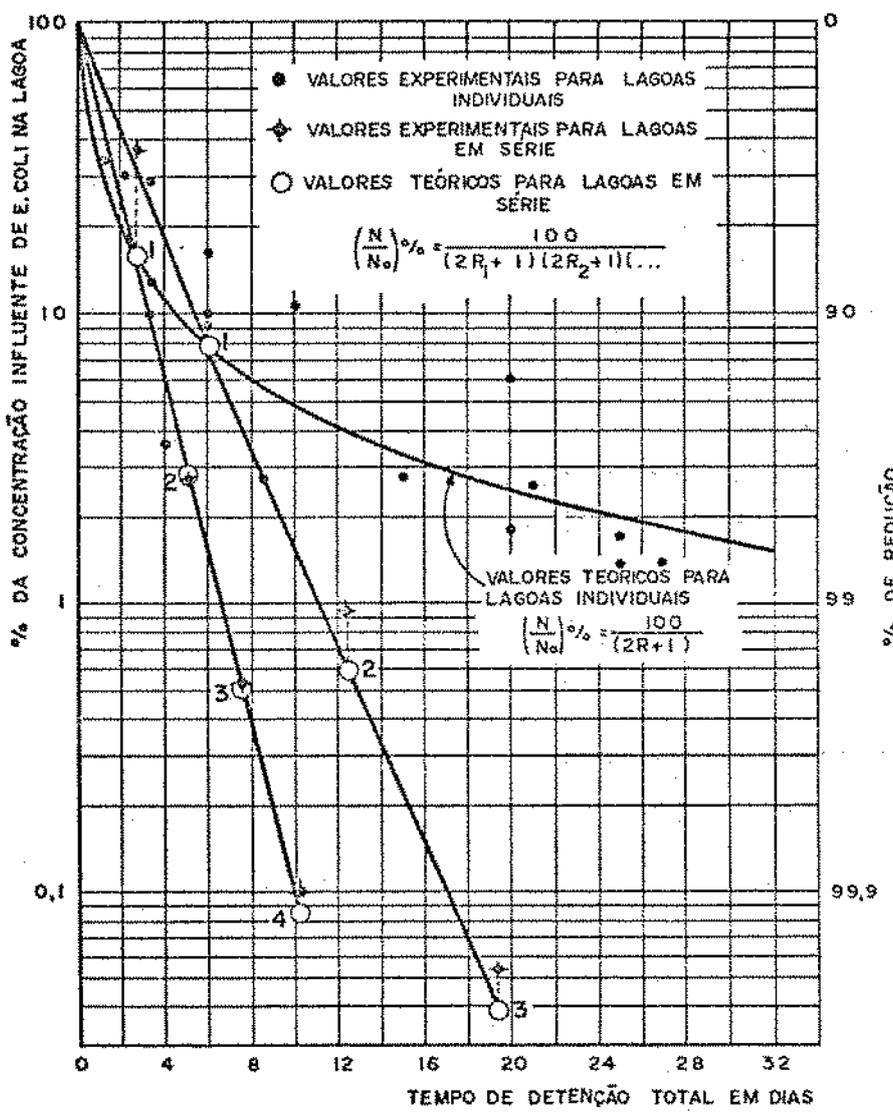
As lagoas de estabilização são usadas principalmente para reduzir a poluição bioquímica e a contaminação por bactérias fecais das águas residuárias, antes de despejá-las nos corpos receptores.

Segundo Marais (12), devido ao policiamento de re-uso, os efluentes tratados na África do Sul precisam atender a rigorosos padrões de qualidade bioquímica. As lagoas de oxidação (lagoas facultativas que tratam esgoto-bruto individualmente) não podem satisfazer a estes padrões, de maneira que estas lagoas somente são permitidas com licença emitida pelo Departamento para Assuntos Hídricos. Em contraste, as lagoas de maturação são usadas em toda a África do Sul, até mesmo na maior cidade, Johannesburg. O tratamento nas lagoas de maturação modifica de tal modo a natureza da poluição que o crescimento de fungos e bactérias filamentosas nos corpos receptores torna-se muito reduzido. Também, se adequadamente projetadas, estas lagoas dispensam a cloração dos efluentes antes de despejá-los nos corpos receptores. Para um efluente de qualidade aceitável com respeito a bactérias fecais, são necessárias reduções da ordem de 99,99% - 99,9999%. Dados de instalações experimentais nos últimos decênios têm mostrado que semelhantes reduções não são alcançadas em lagoas individuais, uma vez que os tempos de detenção necessários para tal seriam tão grandes que as profundidades do líquido nas lagoas não poderiam ser mantidas devido à evaporação e infiltração. Entretanto, tais reduções foram possíveis com as lagoas operadas em sé

rie, sendo ainda encontrado que o volume total de um sistema de lagoas em série é 10 - 100 vezes menor que o volume de uma lagoa individual, para produzir um efluente de mesma qualidade bacteriológica. Este marcado avanço em eficiência alcançado através da operação em série é mostrado na Fig. 2.1, onde quatro lagoas em série, cada qual com cerca de 2,5 dias de tempo de detenção (total de 10 dias) produzem uma redução de 99,91% (0,09% permanecem) enquanto uma lagoa individual com tempo de detenção igual a 10 dias produz somente uma redução de 95% (5% permanecem). Isto implica em que, para um mesmo volume total, a razão de qualidade do efluente é $(5/0,09) = 55,5$.

Um modelo cinético para a redução de bactérias fecais em lagoas de estabilização foi apresentado por Marais e Shaw (10) em 1961. Esta teoria é baseada na cinética de primeira ordem com valor constante para a taxa específica de morte de bactérias. Em anos posteriores, a teoria foi complementada por Marais (11) em 1966 e (1) em 1970 para incorporar os efeitos de condições anaeróbias e (12) em 1974 para o efeito da temperatura, sobre a taxa específica de morte de bactérias.

Neste capítulo mostramos parte desta teoria conforme Marais (12), em virtude de sua importância como método racional para o projeto das lagoas de estabilização em geral, bem como da sua importância em servir de base aos princípios fundamentais da operação de lagoas em série. A equação diferencial que governa a concentração de bactérias fecais numa lagoa, baseada na lei monomolecular, no volume da lagoa, nas vazões influente e efluente, na concentração de bactérias fecais, e na constante monomolecular K, é apresentada. As soluções para esta equação são discutidas. As relações teóricas entre as concentrações numa série de lagoas, numa lagoa individual e, em condições de carga não dispersa ("plug-flow"), a superioridade de uma série de lagoas sobre uma lagoa individual de volume equivalente, são estabelecidas. Resultados experimentais são submetidos à análise para confirmar a aplicação da teoria na África Central e do Sul. Na segunda parte do capítulo apresentamos um procedimento moderno para o projeto de lagoas de maturação juntamente com uma breve abordagem sobre



FONTE: MARAIS (12)

FIG.2.1 - CONCENTRAÇÕES TEÓRICAS E EXPERIMENTAIS DE E. COLI NAS LAGOAS INDIVIDUAIS E NAS LAGOAS EM SÉRIE PARA DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO, PARA K=2,0

padrões de efluentes. O problema da DBO do efluente das lagoas de maturação é focalizado na terceira parte e, em virtude de que reconhecidamente, uma série de lagoas pode produzir um efluente adequado à reutilização, incluímos uma quarta parte onde alguns aspectos do re-uso de efluentes são abordados (agricultura e aquacultura).

1. A TEORIA

A teoria é baseada nas seguintes hipóteses:

a) A mistura na lagoa é instantânea e completa. Isto implica em que as concentrações na lagoa e no efluente são idênticas. Observando o estado de quietude do líquido de uma lagoa comparado à intensa agitação nas lagoas aeradas, esta hipótese pode à primeira vista parecer injustificável. Entretanto, as lagoas normalmente caminham através de um ciclo diário de mistura suave e estratificação, devido aos efeitos do vento e da temperatura. Desde que o tempo de detenção numa lagoa raramente é inferior a 7 dias, cada porção do influente fica sujeita a, pelo menos, sete períodos de mistura durante sua passagem pela lagoa. Relativamente ao tempo de detenção, podemos normalmente assumir as lagoas como adequadamente misturadas até o ponto em que as relações cinéticas se referem.

b) A redução de bactérias fecais se dá de acordo com a lei de Chick, isto é:

$$dN/dt = - KN \quad (2.1)$$

onde:

t = tempo, em dias

N = concentração de organismos fecais por unidade de volume

K = constante de decaimento dependente da temperatura, em unidades (dia^{-1}).

A relação entre K e a temperatura é postulada igual a

$$K_T = K_{20} \theta^{T-20} \quad (2.2)$$

onde:

K_T e K_{20} = constantes de decaimento a $T^\circ\text{C}$ e 20°C respectivamente;

$$\theta = \text{constante } (K_{20} = 2,6, \theta = 1,19) \quad (12). \quad \text{chegar}$$

Façamos Q_0 e Q = vazão influente e efluente por dia, respectivamente, em alguma unidade de volume/dia; Q_0 não é necessariamente igual a Q devido às perdas por evaporação (as perdas por evaporação são consideradas como parte da vazão efluente); V = volume da lagoa nas mesmas unidades de volume adotadas para as vazões; e N_0 e N = concentração de bactérias fecais no influente e na lagoa (ou efluente) por unidade de volume, respectivamente.

Um balanço de massa no intervalo dt mostra: A variação na massa de bactérias na lagoa = $V \cdot dN$. Isto é consequência de: aumento devido ao influente = $N_0 Q_0 dt$; diminuição devida ao efluente = $-NQ dt$; e diminuição devida à morte = $-(NV)K dt$, isto é:

$$V \, dN = N_0 Q_0 dt - KVN dt - NQ dt$$

isto é:

$$(dN/dt) + (K + \frac{Q}{V})N = (Q_0/V)N_0 \quad (2.3)$$

Os parâmetros Q_0 , Q e N_0 são, em geral, função do tempo. K é dependente da temperatura e, uma vez que a temperatura varia sazonalmente, deste modo também é uma função do tempo. O termo V pode ser constante, mas, se a profundidade da lagoa é reduzida durante o outono, como é prática em alguns estados da América do Norte, V também se transforma numa função do tempo. Estas características fazem com que a Eq. 2.3 seja potencialmente intratável

vel por métodos analíticos de solução. No entanto, dentro de um período de comportamento especificado destes parâmetros, soluções podem ser obtidas por métodos numéricos (10).

Normalmente, Q_0 , Q e N_0 têm uma variação cíclica diária. (Para curtos períodos de tempo, quando a temperatura pode ser tomada como aproximadamente constante, K pode ser tomado como constante; durante o ano, K variará apreciavelmente devido às mudanças sazonais de temperatura e outras influências). É de se esperar que N mostrará também uma variação cíclica diária concomitante. No entanto, os valores médios, sob certas restrições (as quais normalmente se aplicam às lagoas) podem adequadamente descrever o comportamento médio cinético da lagoa. Um teorema sobre este efeito foi enunciado e provado por Marais e Shaw (10). O teorema simplifica significativamente o desenvolvimento desta teoria. Salvo quando estabelecido de outro modo, N_0 e Q_0 se referirão aos valores médios. A variação cíclica diária de concentração na lagoa N em torno do valor médio pode ser obtida por integração numérica da Eq. 2.3 (10).

1.1 - Estado de Equilíbrio nas Lagoas Individuais

Para alcançar o estado de equilíbrio, os valores de Q_0 , N_0 , V e K precisam permanecer constantes com o tempo. Nestas circunstâncias a Eq. 2.3 torna-se uma equação linear de primeira ordem com coeficientes constantes. A solução completa consiste de duas partes, a integral particular ou estado de equilíbrio e a função complementar ou transiente. Como a Eq. 2.3 é uma equação de primeira ordem, a concentração do estado de equilíbrio N pode ser obtida diretamente fazendo $dN/dt = 0$ e resolvendo para N , isto é:

$$N = (N_0 Q_0 / V) / (K + Q/V) \quad (2.4)$$

O transiente descreve a variação com o tempo da diferença entre o estado inicial e o estado final de equilíbrio, quando o processo se inicia ou quando a carga ou o valor de K são mudados. A solução é $(N_p - N)e^{-(K + Q/V)t}$, onde N_p = concentração inicial e

N = concentração final do estado de equilíbrio.

A solução completa é a soma do estado de equilíbrio e do transiente. O transiente rapidamente desaparece e pode ser negligenciado nas lagoas onde o carregamento médio diário permanece aproximadamente constante. Para $(K + Q/V)t > 2,5$, o transiente progride até um valor de 5% da concentração no estado de equilíbrio, isto é, para $K = 2$ o tempo necessário para se conseguir atingir 95% do transiente é $t < 1,25$ dias.

Referindo-se à Eq. 2.4, definindo V/Q_0 e $V/Q =$ tempo de detenção influente e efluente R_0 e R_e respectivamente, a Eq. 2.4 reduz-se a

$$N = N_0 / (KR_0 + R_0/R_e) \quad (2.5)$$

Para tempos de detenção reduzidos, 10 dias ou menos, as perdas devidas à evaporação serão pequenas, se comparadas à vazão influente e $R_e \cong R_0$ e a Eq. 2.5 se reduz a

$$N = N_0 / (KR_0 + 1) \quad (2.6)$$

Quando a vazão efluente da lagoa é principalmente devida a evaporação, R_e torna-se grande e R_0/R_e tende para zero, isto é,

$$N = N_0 / KR_0 \quad (2.7)$$

Longos períodos de detenção são acompanhados por grandes reduções bacterianas, (e.g. para $K = 2$, um período de detenção $R_0 = 10$ dias já fornece reduções da ordem de 95%). Em consequência, KR_0 é grande se comparado com a unidade e a Eq. 2.6 pode ser usada com pequeno erro em vez da Eq. 2.7; de fato, a Eq. 2.6 pode ser usada de uma maneira geral. Para conveniência eliminamos o subscrito em R_0 , isto é,

$$N = N_0 / (KR + 1) \quad (2.8)$$

No restante deste trabalho, o tempo de detenção R será sempre

baseado na vazão influente à lagoa em questão; normalmente, o tempo de detenção efluente tem pequeno efeito na redução bacteriana na lagoa.

1.2 - Operação em Série

Façamos R_1, R_2, \dots, R_n iguais aos tempos de detenção influente numa série de n lagoas (devido cuidado deve ser dado às perdas por infiltração e evaporação ao calcular os valores de R_1, R_2 , etc). Se K permanece constante, da Eq. 2.8 a qualidade do efluente nas lagoas de 1 a n é dada por:

$$N_1 = N_0 / (KR_1 + 1)$$

$$N_2 = N_1 / (KR_2 + 1) = N_0 / (KR_1 + 1)(KR_2 + 1) \quad (2.9)$$

⋮

$$N_n = N_0 / \prod_{i=1}^n (KR_i + 1) \quad (2.10)$$

Se $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$

$$N_n = N_0 / (KR + 1)^n \quad (2.11)$$

1.3 - Volumes Relativos em Série

A utilização máxima do volume total de uma série de lagoas é alcançada fazendo-se as lagoas iguais em tempo de detenção.

Esta asserção é o enunciado do teorema de Marais e será provada para duas lagoas em série. Poderia ser facilmente demonstrado numericamente para três ou quatro lagoas em série. Considere mos a série de duas lagoas com um tempo de detenção total C , isto é,

$$C = R_1 + R_2$$

então

$$R_2 = C - R_1 \quad (2.19)$$

Substituindo R_2 na Eq. 2.9 como dado pela Eq. 2.12, $N_2 = N_0 / \{(KR_1 + 1)(K(C - R_1) + 1)\}$. Tomando logaritmo, diferenciando em relação a R_1 , e igualando um extremo a zero, obtemos: $2R_1 = C = R_1 + R_2$; i.e., $R_1 = R_2 = R$; i.e., $N_2 = N_0 / (KR + 1)^2$. Para demonstrar que N_2 é mínimo, note que no extremo $C = R + R$. Como C é constante, somando e subtraindo dR ao extremo, obtemos $C = (R - dR) + (R + dR)$. Substituindo o valor obtido na Eq. 2.9 e multiplicando, a concentração alterada, $N_2' = N_0 / \{(KR + 1)^2 - K^2 dR^2\}$ é sempre maior que $N_2 = N_0 / (KR + 1)^2$; i.e., $N_2' > N_2$, isto é, N_2 é um mínimo.

Sempre que possível, uma série de lagoas deve ter o mesmo tempo de detenção por lagoa. Isto é prático para um sistema de lagoas de maturação, mas não o é para um sistema de lagoas facultativas. Para o último, as dimensões da primeira lagoa são governadas pelo critério de que condições anaeróbias completas não devem prevalecer na lagoa (1). Isto usualmente requer tempos de detenção maiores que os considerados justificados para a eficiente utilização dos volumes das lagoas secundárias e terciárias. Entretanto, as segunda e terceira lagoas na série não estão sujeitas às limitações impostas pelas condições anaeróbias e, assim, devem ter seus tempos de detenção iguais.

1.4 - Reatores de Carga Não Dispersa ("Plug-Flow")

Para condições "plug-flow" a lei de Chick aplica-se (vide Eq. 2.1), a qual tem a solução

$$N = N_0 e^{-Kt} \quad (2.13)$$

1.5 - Relação entre Lagoa Individual, Série de Lagoas, e Condições de Carga não Dispersa ("Plug-Flow")

Se o valor de K permanece constante, quando o número de

lagoas de uma série aumenta para um mesmo tempo de detenção total, a concentração de bactérias fecais no efluente do sistema em série aproxima-se daquela de um sistema "plug-flow" com o mesmo tempo de detenção.

Consideremos uma série de n lagoas, cada lagoa tendo o mesmo tempo de detenção R . A concentração na n ésima lagoa é dada pela Eq. 2.11. Façamos $t =$ tempo de detenção total $= nR$, isto é,

$$n = t/R \quad (2.14)$$

Substituindo a Eq. 2.14 na Eq. 2.11 e reordenando,

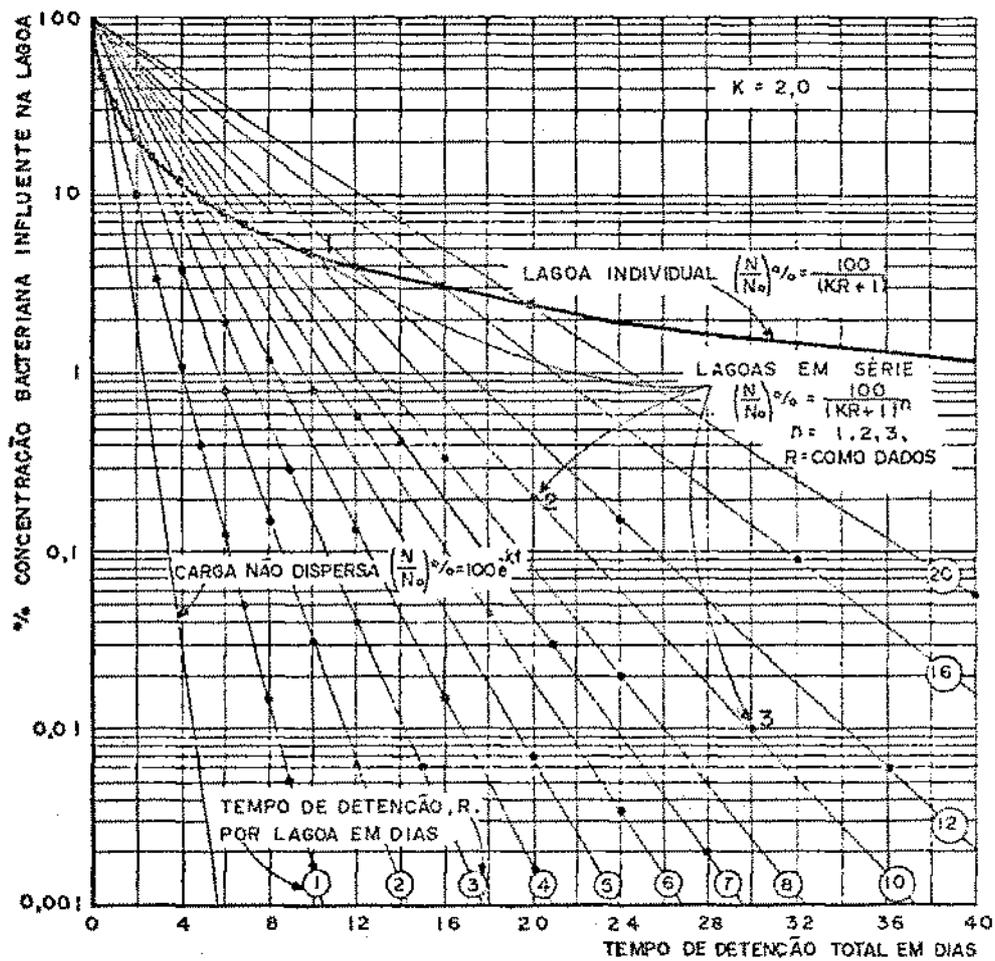
$$N_n = N_0 / (1 + KR)^{-t/R}; \quad \text{Limite}_{n \rightarrow \infty} = \text{Limite}_{R \rightarrow 0} (N_0 / (1 + KR)^{-t/R})$$

Este limite define a base do logaritmo natural e tem a seguinte solução

$$N = N_0 e^{-Kt} \quad (2.15)$$

Então, quando n tende para o infinito, a concentração no efluente da n ésima lagoa tende para a concentração de um sistema "plug flow" com o mesmo tempo de detenção $t = nR$.

As relações que representam lagoas individuais, lagoas em série e condições "plug-flow", equações 2.8, 2.11 e 2.15 respectivamente, são mostradas na Fig. 2.2, o eixo das concentrações sendo logarítmico. Na Fig. 2.2, para uma determinada série de lagoas com o mesmo tempo de detenção por lagoa, as concentrações no gráfico são um conjunto de valores discretos em progressão geométrica, os quais, num gráfico semi-log, caem numa linha reta que passa pelo ponto 100%, as diferentes séries formando um léque em torno deste ponto. Comparando as configurações "plug-flow", em série e lagoa individual para um particular tempo de detenção, o mais ineficiente sistema é uma lagoa individual e o mais eficiente é um sistema "plug-flow". De eficiência intermediária são as séries de lagoas, aumentando a eficiência quando



FONTE : MARAIS (12)

FIG.2.2 - CONCENTRAÇÕES TEÓRICAS DE BACTÉRIAS FECAIS NAS LAGOAS INDIVIDUAIS, NAS LAGOAS EM SÉRIE, E NOS REATORES DE CARGA NÃO DISPERSA PARA $K=2,0$, SEGUNDO A TEORIA DE MARAIS & SHAW.

o número de lagoas por tempo de detenção total aumenta. Então, numa série, a máxima eficiência de redução por unidade de volume (ou tempo de detenção) é obtida com cada lagoa tendo o menor tempo de detenção possível. Um valor mínimo para o tempo de detenção é provavelmente cerca de três dias; reduzidos tempos de detenção tendem para curto-circuitos, ou as algas podem ser levadas da lagoa durante períodos de crescimento vagaroso no inverno.

1.6 - Lagoas em Série e Lagoa Individual

Quando deve ser usada uma lagoa individual ou uma série de lagoas? A razão entre os tempos de detenção (individual:série) para uma redução específica é independente de K e pode ser determinada a partir das equações 2.8 e 2.11, se as lagoas da série têm o mesmo tempo de detenção. Para uma lagoa individual a Eq. 2.8 é reescrita

$$KR = N_0/(N - 1) \quad (2.16)$$

Para uma série de n lagoas, da Eq. 2.11

$$KR = (N_0/N)^{1/n} - 1 \quad (2.17)$$

O tempo de detenção total na série (R_t) é

$$R_t = nR, \text{ i.e., } R = R_t/n \quad (2.18)$$

Substituindo a Eq. 2.18 na Eq. 2.17 e resolvendo para KR_t

$$KR_t = n\{(N_0/N)^{1/n} - 1\} \quad (2.19)$$

Então KR_t pode ser calculado e pode ser considerado um parâmetro generalizado. Se K é conhecido, R_t pode ser calculado de

$$R_t = KR_t/K \quad (2.20)$$

Um gráfico universal para projeto é mostrado na Fig. 2.3. Usando a Eq. 2.19, N/N_0 % é calculado em termos de KR_t para uma lagoa individual, e para séries de duas, três ou mais lagoas. Uma vez escolhido o valor de K , R é encontrado na Eq. 2.18.

Como aparece na Fig. 2.3, para reduções iguais ou maiores que 90%, a operação em série deve ser considerada, de outro modo os volumes das lagoas individuais crescem excessivamente para alcançar aquela maior redução. Se adotados 90% de redução como critério, cada lagoa que segue na série deve ser projetada para estas percentagens de redução. Isto resulta numa regra simples para decidir o número de lagoas: 90% de redução - uma lagoa; 99% de redução - duas lagoas; 99,9% - três lagoas; e assim por diante.

Calculando KR_t da Eq. 2.19 e R da Eq. 2.18 tomando como exemplo $K = 2$ e $K = 0,5$, podemos construir a tabela 2.1. Da tabela 2.1 e Fig. 2.3, para uma série de lagoas na qual a redução por lagoa é constante, enquanto a percentagem remanescente decresce em progressão geométrica, o tempo de detenção total na série cresce em progressão aritmética, e o tempo de detenção em uma lagoa individual cresce aproximadamente de forma geométrica. Então, para grandes reduções e um mesmo volume total o sistema em série pode ser superior à lagoa individual em uma ou mais ordens de grandeza.

1.7 - Evidência Experimental

Resultados experimentais de muitas lagoas na África Central e do Sul foram publicados por Marais e Shaw (10) e Marais (1). Foram apresentados valores médios de K obtidos para lagoas operadas individualmente e em série, recebendo efluentes de filtros biológicos de alta-taxa, esgoto-bruto e de tanques sépticos. Estes resultados são valiosos, uma vez que representam o comportamento médio das lagoas naquela região. Na Fig. 2.4 os valores de K calculados a partir da Eq. 2.8 são plotados em papel de probabilidade cumulativa, para *E. Coli*, *Streptococos fecais* e *Coliformes totais*. Estes organismos foram determinados por meio da análise de Número Mais Provável, usando procedimen

TABELA 2.1 - RESULTADOS PARA VÁRIOS SISTEMAS DE LAGOAS

PERCENTAGEM REMANESCENTE (1)	PERCENTAGEM REDUZIDA (2)	NÚMERO DE LAGOAS EM SÉRIE (3)	KR_T (4)	LAGOAS EM SÉRIE				LAGOA INDIVIDUAL	
				$K = 2$		$K = 0,5$		$K = 2$	$K = 0,5$
				R_T EM DIAS (5)	$R/LAGOA$ EM DIAS (6)	R_T EM DIAS (7)	$R/LAGOA$ EM DIAS (8)	R EM DIAS (9)	R EM DIAS (10)
10	90	1	9	4,5	4,5	18	18	4,5	18
1	99	2	18	9,0	4,5	36	18	49,5	198
0,1	99,9	3	27	13,5	4,5	54	18	499,5	1908
0,01	99,99	4	36	18,0	4,5	72	18	4999,5	

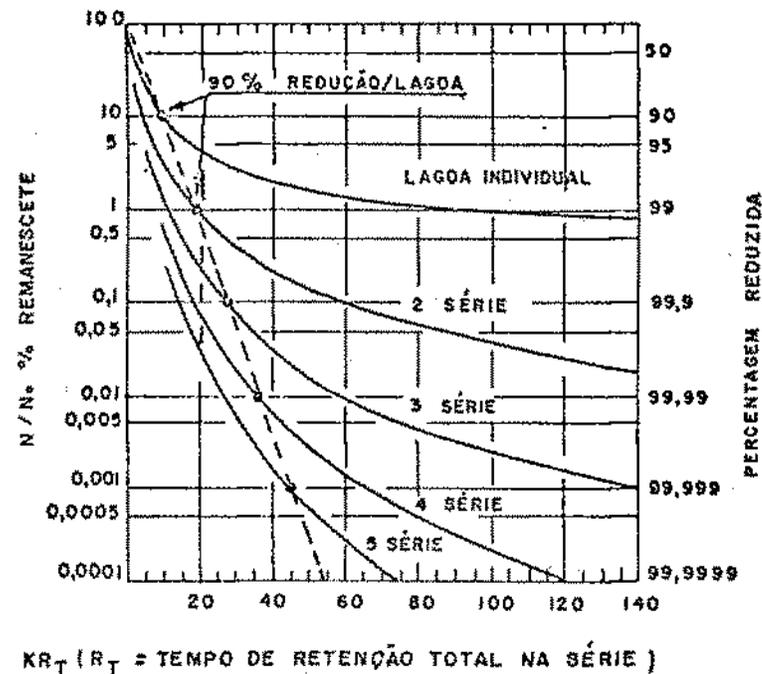


FIG. 2.3 - GRÁFICO UNIVERSAL PARA PROJETO MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE KR_T E A SOBREVIVÊNCIA DE BACTÉRIAS, PARA LAGOA INDIVIDUAL E PARA SISTEMAS COM DUAS, TRÊS, QUATRO E CINCO LAGOAS EM SÉRIE.

FONTE: MARAIS (12)

tos diversos (12). Os pontos na Fig. 2.4 mostram uma grande dispersão de valores, os quais são log-normalmente distribuídos, com desvio padrão e médias não significativamente diferentes. A igualdade dos valores médios (aproximadamente $K = 2$) é talvez a mais importante informação do gráfico; também indica que qualquer dos três organismos é igualmente útil para determinar a evolução da redução de bactérias fecais nas lagoas.

Para testar em que grau o modelo cinético apresentado é aplicável, o gráfico para *E. Coli* - log da percentagem bacteriana que permanece versus tempo de detenção para lagoas individuais ou tempo de detenção cumulativo para série de lagoas - é mostrado na Fig. 2.1, as curvas teóricas superpostas calculadas a partir das Eq. 2.8 e Eq. 2.10 usando $K = 2$. Parece haver razoavelmente boa concordância com o modelo cinético.

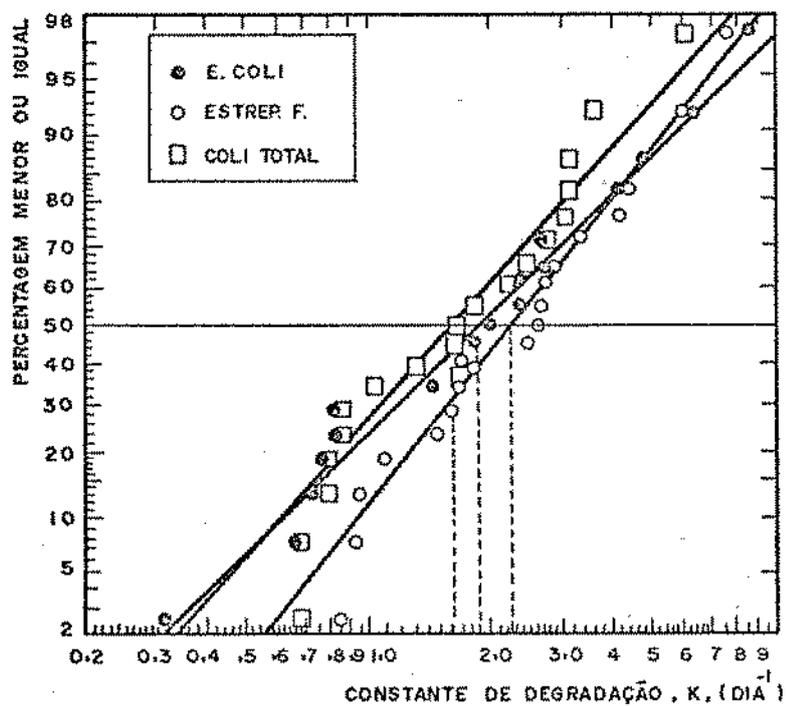
2. PROJETOS MODERNOS DE LAGOAS DE MATURAÇÃO

Num projeto moderno de lagoas de maturação, o número de lagoas bem como suas dimensões, são governados pelas seguintes condições:

- a) a concentração de DBO deve ser reduzida até um valor aceitável;
- b) a concentração de bactérias fecais deve ser reduzida até um valor aceitável.

2.1 - Redução da Concentração de DBO 5-dias nas Lagoas de Maturação

A teoria geral para a determinação das concentrações de bactérias fecais e DBO 5-dias nas lagoas de estabilização desenvolvida por Marais e Shaw (10) não se aplica quantitativamente para a redução de DBO nas lagoas de maturação. Não existe ainda nenhum método quantitativo pelo qual a concentração de DBO nas lagoas de maturação possa ser calculada. No entanto, vários experimentos têm permitido estabelecer que, se são instaladas um mínimo de duas lagoas de maturação em série com tempo de detenção



FONTE: MARAIS (12)

FIG.2.4 - DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DOS VALORES DE K, PARA E. COLI, ESTREPTOCOCOS F. E COLI TOTAL, A PARTIR DE LAGOAS NA ÁFRICA CENTRO-SUL.

igual a sete dias por lagoa, a DBO 5-dias do efluente da série não excederá 25 mg/l (10), assumindo que o DBO 5-dias do influente (i.e., do efluente da lagoa facultativa) é inferior a cerca de 75 mg/l. Estes experimentos também justificam a conclusão de Marais e Shaw (10): "uma série de lagoas com tempo de detenção total igual ao de uma lagoa individual sempre produzirá um efluente de qualidade superior ao daquele da lagoa individual".

2.2 - Redução da Concentração de Bactérias Fecais nas Lagoas de Maturação

A concentração de bactérias fecais no efluente de uma lagoa de estabilização (anaeróbia, facultativa ou de maturação) pode ser calculada a partir da Eq. 2.8, e para n lagoas em série a partir da Eq. 2.10. Se a concentração de bactérias calculada no efluente de uma série não foi suficientemente reduzida, podemos adicionar mais lagoas à série. Podem ser necessárias mais que três lagoas para atender à concentração estipulada permitida no efluente da série. Para Coliformes fecais, os símbolos nas equações 2.8 e 2.10 podem significar: N = número de CF/100 ml de efluente; N_0 = número de CF/100 ml de influente; e K = constante de primeira ordem de remoção de CF, dia^{-1} . O valor de K é sensível à temperatura e pode ser calculado por $K_T = 2,16(1,19)^{T-20}$ (vide Eq. 2.2). Conforme Mara (3), um razoável valor de projeto para N_0 é 4×10^7 CF/100 ml; este valor é ligeiramente maior que a média dos valores normalmente encontrados na prática.

Um bom procedimento de projeto é calcular o tempo de detenção nas lagoas que antecedem as lagoas de maturação, e determinar o valor de N a partir da Eq. 2.10, assumindo ter-se duas lagoas de maturação cada uma com $R = 7$ dias. Se o valor de N é inaceitável, então três ou mais lagoas de maturação, cada qual com $R = 5$ dias, são adotadas e N é recalculado nesta base (3).

Embora os Coliformes fecais sejam comumente usados como indicadores da remoção de organismos fecais numa série de lagoas, existe evidência de que algumas bactérias patogênicas não morrem tão rapidamente quanto os Coliformes fecais - por exemplo, foi

determinado um valor de $K = 0,8 \text{ dia}^{-1}$ para uma Salmonela numa mesma lagoa onde para os Coliformes fecais $K = 2,0 \text{ dia}^{-1}$. Também, algumas espécies de coliformes resistentes a drogas podem morrer mais vagarosamente que outras sem os genes de resistência (3).

2.3 - Profundidade das Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são aeróbias e são capazes de permanecer aeróbias com profundidades de até 3 m. No entanto, usualmente, a profundidade de uma lagoa de maturação é tomada idêntica à da lagoa facultativa que a antecede (1 - 1,5 m). Isto é prático e conveniente, uma vez que a destruição dos vírus fecais se dá melhor nas lagoas rasas que nas profundas.

2.4 - Padrões de Efluentes

Conforme Mara (3), o mais conhecido e amplamente aplicado padrão de efluentes é o chamado "20/30 Royal Commission Standard" (20 mg $\text{DBO}_5/1$ e 30 mg $\text{SS}/1$), apresentado na Tabela 2.2 para cada uma de quatro faixas de diluição. Este padrão foi recomendado pela United Kingdom Royal Commission para assuntos de disposição de esgotos, formada em 1898-1915 para estabelecer métodos apropriados de tratamento e disposição de esgotos domésticos na Inglaterra. Embora suas recomendações tenham sido estabelecidas com base em critérios e condições existentes naquele país, sabemos existir hoje uma aplicação indiscriminada do mesmo em outros países onde reinam condições climáticas diferentes daquelas na Inglaterra. Ora, não existe nenhuma evidência para sugerir que o "20/30 Royal Commission Standard" seja diretamente aplicado em climas outros que não aqueles similares ao da Inglaterra. De fato, nos países de clima quente a DBO natural dos rios pode ser alta. Em alguns casos mesmo, a poluição no rio é tão grande que o despejo do efluente tratado pode causar uma melhora na qualidade da água daquele rio.

Na maioria dos países tropicais em desenvolvimento os pa

drões de efluentes ainda não existem. Assim mesmo, os engenheiros projetistas precisam estar certos de que os efluentes produzidos por suas estações de tratamento não poluirão os corpos de água receptores.

Mara (3) sugere, como guia geral para estes países, os seguintes padrões de efluentes mínimos a serem adotados:

$DBO_5 < 25 \text{ mg/l}$

$CF < 5000 \text{ células/100 ml}$

$\text{algas} < 10^5 \text{ células/ml}$

Nenhum padrão para SS é sugerido, uma vez que a concentração natural de SS nos corpos receptores é normalmente alta. O padrão para CF representa um alto grau de purificação bacteriológica, > 99,99%. O padrão para algas é baseado no fato de que os recursos de oxigênio dissolvido podem não ser suficientes se a concentração de algas no efluente a ser despejado excede 10^5 células/ml.

Evidentemente, existem ocasiões onde mais restritos padrões precisam ser estabelecidos: isto é normalmente necessário, quando se deseja proteger uma área de vital importância biológica, usualmente para benefícios complementares de conservação e turismo.

Se os efluentes forem tratados com o propósito de re-uso agrícola (irrigação de culturas), os riscos para a saúde pública em geral precisam ser eliminados através da adoção de padrões de qualidade satisfatórios. Com respeito à qualidade bacteriológica, se o efluente deve ser usado para irrigação restrita (i.e., colheita para a indústria ou forragem), a concentração de CF precisa ser < 5000 CF/100 ml. A prática Americana e Sul Africana requer CF < 1000/100 ml; se o efluente deve ser usado para irrigação irrestrita, um padrão muito mais rigoroso é necessário: CF < 100/100 ml (3).

3. O PROBLEMA DA DBO DO EFLUENTE DAS LAGOAS DE MATURAÇÃO

A estabilização dos esgotos e a maturação dos efluentes

nas lagoas de estabilização são, para os engenheiros de saúde pública, um meio econômico e eficiente que facilita atividades de saneamento em muitos locais onde, através de outras maneiras, tais atividades jamais poderiam ser exequíveis, em consequência causando prejuízos à saúde e ao meio ambiente. Entretanto, a presença de densas concentrações de algas nos efluentes das lagoas de maturação é uma característica que, em circunstâncias mais exigentes, pode tornar o efluente impróprio para re-uso ou descarga num corpo receptor.

Não podemos esquecer que, embora a DBO 5-dias solúvel tenha sido quase toda removida do esgoto influente, o efluente da lagoa conterá ainda uma concentração de algas responsável pela maior parte da DBO_5 do efluente. A eventual morte das algas e o processo metabólico de respiração são os dois fenômenos que governam a demanda de oxigênio provocada pelas algas, quando o efluente é descarregado num corpo receptor. Em vista disso, torna-se necessário estar atento para o padrão de qualidade definido na localidade em questão. No Brasil, como já foi previamente notado em outra seção, ainda não dispomos de legislação a respeito. A literatura estrangeira não nos sugere nenhum limite para sólidos em suspensão, uma vez que, como explicam, a concentração natural de SS nos nossos rios já é bastante alta. Sugerem-nos, no entanto, uma população de algas $< 10^5$ células/ml como valor limite para a proteção da concentração de oxigênio dissolvido nos corpos receptores. Conforme Mara (3), convém salientar que o efluente de uma série de lagoas de estabilização propriamente projetada apresenta efetivamente uma população de algas $< 10^5$ células/ml de efluente.

Meiring et alii (13), sobre a adequabilidade da remoção de algas do efluente das lagoas de estabilização, comentam "parece-nos entretanto que, se um meio prático e econômico para a remoção de algas do efluente das lagoas vier a ser desenvolvido, um importante passo adiante terá sido dado no sentido de estabelecer as lagoas de estabilização como um meio econômico universalmente reconhecido para a purificação dos esgotos domésticos", ainda "o desenvolvimento deste método para a remoção de algas te

ria a vantagem adicional de prover um meio para o possível aproveitamento das algas como "gênero alimentício de alto teor proteico".

4. REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES

Existem dois fatores responsáveis pelo crescente reconhecimento da necessidade de conservar os recursos hídricos através do re-uso de efluentes (aquacultura e irrigação) ou do aproveitamento dos efluentes para produzir água adequada para utilização industrial (água de resfriamento) ou mesmo água potável para consumo doméstico: a escassez geral de água nos trópicos e subtropicais e o alto custo para instalar novos sistemas de abastecimento de água.

O re-uso do esgoto-bruto e dos efluentes tratados na irrigação já é amplamente praticado desde muitos anos. Recentemente no entanto, as atenções têm-se voltado também para a aquacultura e o re-uso municipal e industrial dos efluentes.

4.1 - Aquacultura

Aquacultura significa o crescimento de plantas ou animais na água para seu eventual consumo como alimento para o homem ou para os animais domésticos. O cultivo de algas, peixes e patos são exemplos de aquacultura da maior importância para os engenheiros sanitários. Nas lagoas de estabilização existe um crescimento de algas muito intenso, o qual não somente produz o oxigênio necessário para a oxidação bacteriológica do esgoto influente, mas também as algas se constituem numa valiosa fonte de alimento, sendo aproximadamente 50% proteínas. O crescimento das algas nas lagoas é um processo altamente eficiente, o qual produz proteínas em muito maior quantidade que aqueles comumente usados pela agricultura convencional (vide Tabela 2.3). As algas podem ser separadas do efluente das lagoas de maturação por alguns dos vários processos de tratamento terciário que existem, e serem usadas como fonte suplementar de alimento animal. Algas que crescem

Tabela 2.2 - Padrões da "UK Royal Commission" para efluentes de esgoto doméstico descarregados nos rios

Diluição obtenível (Volume de água de rio por unidade de volume de efluente)	Concentração máxima permissível (mg/l)	
	DBO ₅	SS
> 500	*	*
300 - 500	*	150
150 - 300	*	60
8 - 150	20	30
< 8	< 20**	< 30**

(*) Nenhum padrão recomendado; teoricamente infinito.

(**) Valores exatos para serem decididos com base nas circunstâncias locais.

Fonte: Mara (3)

Tabela 2.3 - Produção de proteínas de várias culturas agrícolas e aquaculturais

Cultura	Produção de proteína (Kg/ha ano)
Feijão Soja	650
Milho	270
Trigo	150
Arroz	55
Algas	82000*

(*) Produzidas por lagoas de alta-taxa de degradação

Fonte: Mara (3)

no esgoto doméstico têm sido usadas com sucesso na alimentação de galinhas, porcos, gado e carneiros. Frequentemente, entretanto, não existe nem dinheiro nem pessoal habilitado para instalar, operar e manter as instalações de tratamento terciário. Nestes casos, a proteína das algas nas lagoas de estabilização é mais convenientemente explorada, criando peixes que se alimentam de algas nas lagoas de maturação. A tilápia "*Sarotherodon mossambica*" é particularmente tolerante a altas concentrações de algas e cresce bem nas lagoas de maturação. Outras espécies de peixes que têm sido criados nas lagoas de maturação, incluem carpas (*Catla catla*, *Labeo rohita*), peixe-gato de canal (*Ictalurus punctatus*) e peixe-mosquito (*Bambusia spp*).

4.2 - Re-uso na Agricultura

Na maior parte das vezes, a prática de re-uso de efluentes na agricultura é restrita à irrigação de culturas. Existem dois fatores que governam a adequabilidade de um efluente para a irrigação: sua qualidade química e o potencial de riscos à saúde pública que aparecem com o seu uso. Com respeito à qualidade química, a água de irrigação não deve conter compostos tóxicos para as culturas sob cultivo. A adequabilidade de um efluente neste caso é principalmente julgada por três parâmetros: condutividade elétrica, taxa de absorção de sódio e concentração de boro. Os perigos para a saúde pública estão diretamente relacionados à qualidade bacteriológica do efluente e podem ser reduzidos através da utilização de efluentes convenientemente tratados para a irrigação. A saúde do público em geral pode ser melhor protegida restringindo a irrigação com esgoto-bruto somente a certas culturas, de tal modo que não venha a ter contato com as plantas que servem de alimento para o homem, particularmente aquelas que são comidas cruas. De fato, hoje é usualmente aceito ser uma prática muito pobre usar esgoto-bruto para irrigação. Os riscos para a saúde dos trabalhadores responsáveis por semelhantes esquemas de irrigação também são um fator muito significativo. Substancial proteção é alcançada com a utilização dos efluentes tratados em

vez do esgoto-bruto. Mesmo assim, os riscos para a saúde são minimizados restringindo o uso dos efluentes somente para a irrigação de culturas que serão utilizadas como forragem ou para propósitos industriais. Embora os efluentes possam ser utilizados para a irrigação de certas culturas que se prestam para o consumo humano, eles nunca devem ser utilizados para a irrigação daquelas plantas que comumente são consumidas cruas.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

1. O SISTEMA PILOTO DE LAGOAS - ALIMENTAÇÃO

O sistema piloto de cinco lagoas em série que serviu de base para a execução deste trabalho foi construído na EXTRABES a partir da estrutura de concreto que se constituía no leito de secagem de lodo da antiga Estação Depuradora de Campina Grande, desativada desde anos passados, que havia sido cedida à Universidade Federal da Paraíba - UFPB pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA. Para a construção, esta estrutura foi transformada em plataforma de fundo para as lagoas e foram levantadas paredes de alvenaria de tijolos, revestidas com argamassa de cimento e areia, localizadas em planta conforme o projeto de cada unidade do sistema. As lagoas da série foram designadas por A_1 , F_1 , M_1 , M_2 e M_3 , respectivamente da primeira à última na série. As dimensões das lagoas são mostradas na Fig. 3.1.

O sistema de lagoas foi projetado para simular em escala piloto o tratamento de esgoto em todas as suas etapas, isto é, englobando as fases de tratamento primário, secundário e de maturação. A primeira lagoa foi projetada para operar como lagoa anaeróbia, a segunda como facultativa e as três últimas como lagoas de maturação.

O projeto foi orientado segundo critérios atuais para o dimensionamento de lagoas para a operação em série e coloca em evidência, entre outros, os seguintes pontos:

- a) As lagoas de maturação têm aproximadamente o mesmo tem

po de detenção por lagoa, destacando a conclusão teórica-experimental de Marais e Shaw (10) segundo a qual "o máximo aproveitamento do volume total de uma série de lagoas é alcançado fazendo-se as lagoas iguais em tempo de detenção";

b) A profundidade da lagoa facultativa situa-se em torno de 1 m, dentro da faixa 1 - 1,5 m recomendada pela literatura (3);

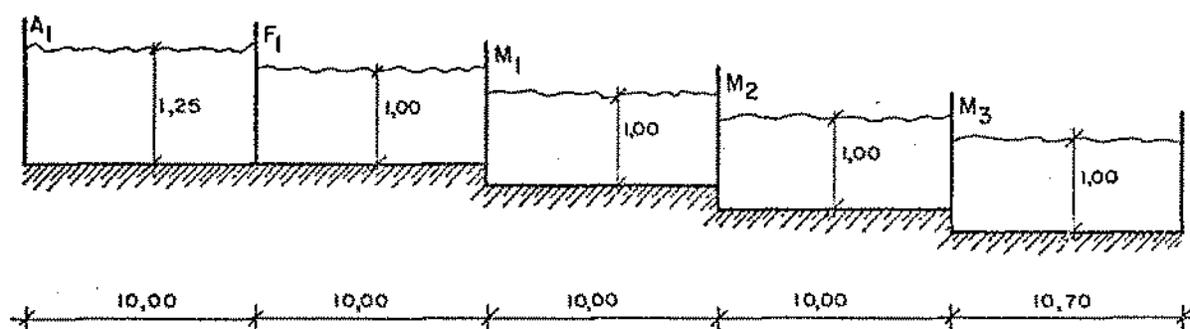
c) As profundidades das lagoas de maturação são idênticas a da lagoa facultativa, destacando a conclusão experimental de que não existe vantagem em utilizar lagoas de maturação muito profundas, nas quais a remoção de vírus fecais é inferior (3).

O esgoto doméstico bruto, proveniente do interceptor do sistema de esgotos sanitários de Campina Grande, que percorre longitudinalmente o terreno da EXTRABES, foi bombeado continuamente para a primeira lagoa à vazão estabelecida de 259 l/h, por meio de uma bomba peristáltica de vazão ajustável (Watson Marlow Ltda, modelo HRSV). Os tempos de detenção nas lagoas, assim, foram de 6,74 dias na lagoa A₁, 5,39 dias nas lagoas F₁ a M₂ e 5,76 dias na lagoa M₃. A variação de vazão do esgoto doméstico bruto para o sistema foi inferior a 4% durante todo o período de observação.

Os dispositivos de entrada e saída nas lagoas foram construídos com tubos de PVC de 75 mm de diâmetro, juntamente com conexões tipo jelho de 90°. Os tubos efluentes eram protegidos por tubos de maior diâmetro envolventes, fixados por parafusos às paredes, os quais serviam de anteparo não permitindo a saída do material flutuante. Os tubos influentes despejavam a aproximadamente 0,40 m do fundo das lagoas.

2. COLETA DE AMOSTRAS - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE - INSTRUMENTAÇÃO

Amostras de todos os efluentes das cinco lagoas, mais do esgoto bruto influente, foram diariamente coletados, aproximadamente às oito horas. Estas amostras eram analisadas imediatamente para temperatura e pH, e serviam para a composição de amostras compostas semanais, formadas por sete porções diárias de aproximadamente 300 ml, preservadas em congelador a aproximadamente 4°C abaixo de zero, e analisadas no dia da semana corres



LARGURA DE TODAS AS LAGOAS : 3,35
DIMENSÕES EM METROS.

FIG.3.1 - DIMENSÕES DAS CINCO LAGOAS DO SISTEMA

pondente à última composição.

Duas vezes por semana, durante o período de março/77 até janeiro/78, e uma vez por semana, a partir de janeiro/78, sistematicamente, as amostras coletadas foram analisadas para os parâmetros físico, químico e bioquímico relacionados abaixo, os procedimentos de análise conforme delineados no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 14ª edição:

1 - Temperatura. Determinada no momento da coleta com termômetros a álcool aferidos.

2 - pH. Determinado potenciométricamente através de um medidor de pH (Radiometer, modelo 29 B) com eletrodo combinado.

3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio 5-dias (20°C). Determinada pelo método dos frascos-padrão de DBO utilizando a técnica de diluição. O procedimento de análise adotado está delineado em Sawyer e MacCarty (14). Usamos água de diluição sem sementeira. As determinações de oxigênio dissolvido foram feitas instrumentalmente utilizando-se um medidor de oxigênio (YSI, modelo 54 ABP), com eletrodo de membrana seletiva incorporado num sensor especial para frascos-padrão de DBO, com sistema de agitação próprio (YSI, modelo BOD Bottle, Stirring). A incubação foi realizada em incubadora controlada por termostato com sensor de temperatura, garantindo a temperatura interior ambiente de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

4 - Demanda Química de Oxigênio. Determinada pelo método de refluxação do dicromato de potássio. O método foi usado num de seus procedimentos alternativos - em vez da utilização de 50 ml de amostra, optou-se por usar 20 ml, devido às baixas concentrações de material orgânico presentes, tanto no esgoto bruto quanto nos efluentes analisados. A determinação do excesso de dicromato após refluxação foi feita pelo método titrimétrico, usando-se uma solução titulada de sulfato ferroso amoniacal.

5 - Alcaliidade Total. Determinada pelo método potenciométrico utilizando-se um medidor de pH (Pye Unicam, modelo PW 9418) e uma bureta manual de 20 ml de capacidade. O ponto de equivalência para a correspondente alcaliidade total como CaCO_3 foi o valor de pH 4,5. O volume de amostra tomado foi de 100 ml e a normalidade da solução de ácido sulfúrico 0,02 N.

6 - Nitrogênio-Amônia. Determinado instrumentalmente através de um medidor de íons específicos (Orion, modelo 407A) com eletrodo específico para nitrogênio-amônia (Orion, modelo 95-10), conforme procedimento delineado no manual do instrumento.

7 - Nitrogênio-Nitrato. Determinado pelo método do ácido cromotrópico. O equipamento colorimétrico utilizado foi um espectrofotômetro (Pye Unicam, modelo SP-6 UV).

8 - Fósforo Total. Determinado pelo método do ácido ascórbico, com digestão preliminar, usando o equipamento colorimétrico mencionado no item anterior.

9 - Ortofosfato Filtrável. Determinado pelo método do ácido ascórbico, com filtração preliminar da amostra, usando o equipamento colorimétrico mencionado no item 7.

10 - Sulfeto Total. Determinado pelo método iodométrico.

11 - Cloreto. Determinado instrumentalmente através do medidor de íons específicos mencionado no item 6, com eletrodo específico para cloreto (Orion, modelo 96-17). As amostras analisadas foram as amostras compostas semanais.

12 - Condutividade. Determinada instrumentalmente através de um medidor de condutividade (YSI, modelo 33 S-T-C) com eletrodo combinado, temperatura e condutividade num mesmo sensor.

13 - Resíduos. Foram determinados: sólidos totais, voláteis e fixos; sólidos em suspensão, voláteis e fixos; sólidos filtráveis e sólidos sedimentáveis. Para estas determinações a seguinte aparelhagem foi utilizada: balança analítica (Sartorius, modelo 2474); estufa para secagem (Memmert); mufla elétrica (Lindberg); banho maria (Fabrè, modelo 110). Para a determinação dos sólidos em suspensão foram utilizados papéis de fibra de vidro (Whatman, modelo GF/C).

Uma vez por semana, no último dia de composição das amostras compostas semanais, estas foram analisadas para todos os parâmetros especificados acima, com exceção da análise de sulfetos.

Neste trabalho somente apresentamos os resultados das análises procedidas com as amostras diárias, com exceção dos resultados de cloretos.

Sistematicamente, determinações bacteriológicas foram rea

lizadas, duas vezes por semana, em amostras coletadas separadamente. Foram determinadas as concentrações de Coliformes fecais e Estreptococos fecais.

A técnica utilizada foi a de membrana de filtração, cuja aplicação aos efluentes das lagoas M₂ e M₃ nem sempre foi possível, devido à elevada concentração de algas presentes nestas amostras, que causavam obstrução nas membranas de filtração. Como alternativa, usou-se para estas amostras a técnica dos tubos múltiplos (NMP). Os procedimentos de análise para NMP obedecem ao "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 14ª edição, e, para a técnica de membrana de filtração, o "Biological Analysis of Water and Wastewater Application Manual (AM-302) Millipore Corporation - 1973".

Apresentamos abaixo as tabelas 3.1 e 3.2, as quais resumem os procedimentos usados, respectivamente para membrana de filtração e NMP.

Na aplicação da técnica de membrana de filtração, os testes confirmativos foram:

- Para Estreptococos fecais: coloração de Gram e microscopia, a fim de confirmar a presença de cocos G⁺.

- Para Coliformes fecais: coloração de Gram e microscopia, para confirmar a presença de bacilos G⁻. Seguidamente foram feitos testes de fermentação de lactose a 44,5°C e produção de Indol a partir de água triptonada a 44,5°C.

Para as determinações bacteriológicas, a seguinte aparelhagem foi utilizada: sistema asséptico Sterifil, 47 mm, com acessórios (Millipore Corporation); incubador portátil para placas de Petri (Millipore Corporation); estufa para incubação (Thelco, modelo 4); estufa para incubação (Fanem, modelo 002/3); estufa para secagem e esterilização (Gallenkamp); incubador de baixa temperatura (GCA/Precision Scientific, modelo Freas 815); banho de água para coliformes (GCA/Precision Scientific); microscópio trinocular (Wild); autoclave vertical (Fabre, modelo 103); contador de colônias (Biomatic Aparelhos Científicos, modelo 2001); balança (Sartorius, modelo 2354); medidor de pH (Pyc Unicam, modelo 293).

Tabela 3.1 - Procedimento para Membrana de Filtração

Organismo	Meio de Cultura	Incubação
Coliforme-fecal	Meio Coliforme-Fecal (para Membrana)	24 h a 44,5°C
Estreptococo-fecal	Membrana Enterococos Agar	48 h a 44,5°C

Tabela 3.2 - Procedimento para N. M. P.

Organismo	Meio de Cultura	Incubação
Coliforme-fecal	Caldo Lactose (Presuntivo)	24 h a 35,0°C
	Meio EC - Teste CF	24 h a 44,5°C
Estreptococo-fecal	Caldo Dextrose Azida (Presuntivo)	24 h a 35,0°C
	Caldo Etil Violeta Azida (Confirmativo)	24 h a 35,0°C

CAPÍTULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Amostras dos efluentes das lagoas e do esgoto bruto foram sistematicamente analisadas, conforme descrito no Capítulo anterior. Neste capítulo apresentamos nas Tabelas 4.1 a 4.16 os resultados médios mensais e as médias desses resultados para o período completo de análises, cada tabela correspondente a um dos parâmetros físico, químico, bioquímico e bacteriológico analisados. As unidades em que são expressos os resultados, bem como outras informações necessárias sobre os mesmos, estão indicadas nas próprias tabelas.

Apresentamos também na Tabela 4.17 um quadro resumo mostrando os resultados médios e faixas de variação, para o período completo, de todos os parâmetros analisados. As temperaturas indicadas nesta tabela são as médias das temperaturas médias diárias, obtidas em termômetros de máxima e mínima suspensos a meia profundidade das lagoas.

Tabela 4.1 - Resultados Médios Mensais de Temperatura (°C)

Lagoa	EB	A ₁			F ₁			M ₁			M ₂			M ₃		
		EFLUENTE	Lagoa*		EFLUENTE	Lagoa		EFLUENTE	Lagoa		EFLUENTE	Lagoa		EFLUENTE	Lagoa	
			Máx	Min		Média	Máx		Min	Média		Máx	Min		Média	Máx
05/77	28,6	27,3			27,8			28,3			28,2			28,3		
06	27,9	26,7			27,2			27,3			27,3			27,3		
07	27,7	25,9			26,0			26,3			26,4			26,3		
08	26,5	25,0	25,0	23,5	24,3	25,0	23,0	24,0	25,3	25,0	24,0	24,5	25,3	25,5	24,0	24,8
09	24,9	23,5	23,6	22,7	23,2	23,5	24,3	22,9	23,6	23,6	24,4	23,4	23,9	23,7	24,2	23,4
10	25,3	23,7	24,0	22,7	23,4	24,2	25,3	23,6	24,5	24,2	25,9	23,5	24,7	24,6	25,9	23,8
11	25,8	24,1	24,3	23,1	23,7	24,8	25,7	24,1	24,9	25,0	26,3	24,8	25,2	25,0	26,3	24,3
12	26,5	25,6	25,9	23,8	24,9	25,2	26,1	24,6	25,4	25,7	27,0	24,7	25,9	25,8	28,0	25,3
01/78	27,1	24,9	25,4	24,2	24,8	25,4	26,4	24,7	25,6	25,7	27,0	24,9	26,0	25,7	27,3	25,1
02	27,7	25,0	25,5	24,4	25,0	25,2	26,1	24,7	25,4	25,6	26,5	25,0	26,0	25,8	27,6	25,3
03	28,1	25,1	25,6	24,6	25,1	25,0	25,8	24,6	25,2	25,4	26,1	24,7	25,4	25,7	27,0	24,9
04	28,1	26,7	26,0	25,0	25,5	25,5	25,9	24,8	25,4	25,4	26,3	24,8	25,6	25,8	28,0	25,4
05	27,3	26,1	25,7	24,7	25,2	25,3	26,0	24,8	25,4	25,2	27,5	25,4	26,5	25,8	28,2	25,8
06	27,5	26,5	26,8	25,5	26,2	25,6	26,1	24,5	25,3	26,4	28,4	26,0	27,2	26,5	28,3	26,1
07	26,8	25,0	26,3	25,1	25,7	25,2	25,7	24,2	25,0	25,7	27,6	25,5	26,6	25,9	27,8	25,8
08	25,7	23,7	24,5	23,7	24,1	23,5	24,3	22,8	23,6	24,0	25,8	23,9	24,9	24,1	26,2	24,2
09	24,9	23,3	24,2	23,4	23,8	23,4	23,8	22,5	23,2	24,0	25,9	23,7	24,8	24,1	26,3	24,1
10	24,5	22,8	23,9	22,9	23,4	22,8	24,1	22,1	23,1	24,2	26,5	23,5	25,0	23,5	26,2	23,6
11	25,0	23,1	23,9	23,2	23,6	23,4	25,4	22,5	24,0	23,3	26,3	23,3	25,1	24,0	26,6	24,0
12	26,7	24,2	24,8	23,8	24,3	24,2	24,5	23,2	23,9	24,7	27,0	24,4	25,7	25,0	27,2	24,8
01/79	26,3	24,8	25,5	24,5	25,0	24,7	25,6	23,7	24,7	25,1	27,8	25,0	26,3	25,4	27,7	25,3
02	27,0	24,8	25,5	24,6	25,1	25,0	26,0	24,0	25,5	25,2	26,5	25,0	25,8	25,0	27,5	25,0
03	27,6	25,1	26,0	25,0	25,5	25,2	25,4	24,3	24,9	25,0	26,6	25,0	25,8	26,0	28,0	25,6
04	27,7	26,2	26,4	25,4	25,9	25,4	25,8	24,7	25,3	25,9	27,3	25,6	26,5	26,0	28,3	26,0
05	27,9	25,5	26,3	25,5	26,0	25,6	25,8	24,7	25,3	26,1	27,4	25,7	26,6	26,3	28,9	26,2
06	28,0	26,7	26,7	25,7	26,2	25,6	25,9	24,8	25,3	26,1	26,6	25,6	26,1	26,1	29,1	26,8
07	26,7	24,8	25,7	25,2	25,5	24,1	25,1	23,4	24,3	25,2	25,6	24,9	25,3	25,4	27,6	25,9
MÉDIA	26,8	24,9	25,3	24,3	24,8	25,0	25,4	23,9	24,7	25,3	26,0	24,7	25,6	25,5	27,2	25,0

1*) Obtidas em termômetros de máx. e min. suspensos à meia profundidade nas lagoas.

Tabela 4.2 - Resultados Médios Mensais de pH

Lagoa	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
Mês						
03/77	7,4	7,4	8,3	8,7	9,3	9,9
04	7,5	7,3	8,0	8,3	8,6	8,7
05	7,5	7,2	7,7	8,0	8,3	8,5
06	7,5	7,1	7,6	7,8	8,2	8,4
07	7,6	7,4	7,7	8,3	8,5	8,6
08	7,7	7,3	7,7	8,2	8,5	8,9
09	7,6	7,2	7,8	8,2	8,6	8,0
10	7,5	7,2	7,7	8,3	8,5	8,7
11	7,4	7,1	7,8	8,2	8,4	8,7
12	7,4	7,0	7,6	8,0	8,2	8,5
01/78	7,2	6,9	7,3	7,7	8,0	8,1
02	7,3	6,9	7,4	7,6	7,7	7,9
03	7,4	7,0	7,6	7,9	7,9	8,1
04	7,5	7,0	7,5	7,7	8,0	8,3
05	7,5	7,0	7,4	7,8	7,8	8,3
06	7,4	7,0	7,4	7,7	7,7	8,3
07	7,5	7,0	7,4	7,7	7,7	8,2
08	7,5	7,2	7,4	7,7	7,8	8,2
09	7,4	7,0	7,4	7,8	7,9	8,4
10	7,5	7,2	7,5	7,8	8,0	8,5
11	7,5	7,1	7,5	8,0	7,9	8,4
12	7,4	7,1	7,5	7,8	8,0	8,6
01/79	7,4	7,0	7,8	7,9	8,0	8,7
02	7,5	7,0	7,5	8,0	8,1	8,7
03	7,4	7,0	7,4	8,0	8,0	8,7
04	7,5	7,0	7,4	7,9	8,7	8,6
05	7,5	6,8	7,4	7,8	7,6	8,4
MÉDIA	7,5	7,1	7,6	7,9	8,1	8,4

Tabela 4.3 - Resultados Médios Mensais de DBO₅
(mg/l)

Lagoa	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
Mês						
03/77	338	172	95	32	29	20
04	306	121	65	40	31	20
05	261	94	66	19	16	12
06	309	95	46	21	19	11
07	157	62	33	22	19	15
08	214	82	29	23	20	11
09	258	66	40	22	21	15
10	297	89	61	36	21	14
11	402	83	41	27	44	23
12	362	82	51	36	29	29
01/78	351	80	59	32	32	17
02	248	61	35	13	8	8
03	364	66	58	13	11	6
04	329	70	61	16	16	12
05	227	61	32	15	9	12
06	259	65	39	18	7	13
07	231	68	39	20	10	15
08	259	71	38	15	7	17
09	277	75	51	22	11	19
10	344	77	47	19	15	16
11	423	86	96	23	12	17
12	349	78	39	21	13	25
01/79	343	74	45	27	19	22
02	283	70	46	27	19	18
03	293	65	29	16	13	16
04	225	62	40	21	12	17
05	221	52	40	15	15	14
MÉDIAS	294	79	49	23	18	16

Tabela 4.4 - Resultados Médios Mensais de DQO (mg/l)

Lagoa	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
Mês						
03/77	795	403	208	163	125	77
04	592	307	237	184	170	124
05	567	221	226	145	134	121
06	604	236	183	122	118	89
07	353	173	147	172	149	115
08	509	224	147	159	124	87
09	572	239	207	150	130	98
10	722	342	292	267	132	91
11	904	227	179	223	199	156
12	780	228	273	269	133	116
01/78	784	214	270	232	165	102
02	606	175	192	122	94	80
03	795	233	298	108	80	88
04	677	173	208	111	90	70
05	522	168	159	120	80	89
06	634	186	192	123	77	92
07	493	161	176	107	76	86
08	586	189	177	121	73	100
09	603	187	232	126	83	91
10	757	203	219	151	126	114
11	859	218	331	178	101	115
12	820	216	207	141	122	160
01/79	775	193	236	154	128	141
02	662	184	241	168	124	144
03	806	189	188	166	116	135
04	526	164	174	149	108	136
05	501	145	169	110	99	110
MÉDIA	659	215	214	157	117	108

Tabela 4.5 - Resultados Médios Mensais de Nitrogênio Amônia
cal (mg N/l)

Lagoa	EB	EFLUENTE	EFLUENTE	EFLUENTE	EFLUENTE	EFLUENTE
Mês		A ₁	F ₁	M ₁	M ₂	M ₃
03/77	-	-	-	-	-	-
04	-	-	-	-	-	-
05	-	-	-	-	-	-
06	40	26	23	22	16	9
07	27	18	16	12	7	4
08	44	26	23	16	8	4
09	48	28	21	13	7	3
10	51	30	21	13	9	5
11	58	36	28	18	11	6
12	56	33	34	23	15	7
01/78	54	35	30	23	18	11
02	51	38	33	28	23	17
03	49	28	22	17	14	9
04	54	33	26	20	12	8
05	47	28	24	17	12	8
06	50	29	23	20	15	8
07	44	30	25	21	18	11
08	52	34	29	23	17	7
09	51	34	29	22	14	7
10	51	33	30	24	16	9
11	57	40	32	24	18	11
12	57	40	32	23	18	11
01/79	53	37	31	22	15	6
02	46	33	26	16	12	7
03	55	38	30	19	14	8
04	41	35	29	21	16	10
05	40	31	25	22	18	13
MÉDIA	49	32	27	20	14	8

Tabela 4.6 - Resultados Médios Mensais de Nitrato (mg N/l)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
08/78	0,28	0,25	0,28	0,35	1,04	2,24
09	0,16	0,18	0,17	0,38	1,40	2,28
10	0,09	0,11	0,09	0,18	1,67	1,85
11	0,18	0,12	0,10	0,37	1,07	1,08
12	0,16	0,10	0,14	0,30	0,82	1,10
01/09	0,07	0,07	0,08	0,22	1,10	1,17
02	0,08	0,05	0,12	0,20	0,62	0,67
03	0,15	0,18	0,19	0,46	0,88	0,91
04	0,06	0,06	0,07	0,18	0,58	0,53
05	0,02	0,02	0,02	0,12	0,44	0,40
MÉDIA	0,13	0,11	0,13	0,28	0,96	1,22

Tabela 4.7 - Resultados Médios Mensais de Fósforo Total
(mg P/l)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
09/78	7,18	3,98	4,72	3,84	3,49	2,40
10	8,90	4,44	4,84	4,23	3,80	3,16
11	9,65	5,10	6,31	4,65	4,15	3,01
12	7,92	4,69	4,90	4,34	4,18	3,69
01/79	8,35	6,72	5,50	4,60	3,94	3,21
02	7,54	4,72	5,38	4,22	4,28	3,43
03	7,47	4,58	5,13	4,57	4,40	3,64
04	6,33	4,39	4,73	4,33	4,57	3,70
05	4,99	3,21	3,95	3,10	3,58	3,83
MÉDIA	7,59	4,65	5,05	4,21	4,04	3,34

Tabela 4.8 - Resultados Médios Mensais de Fosfato Solúvel
(mg P/l)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
09/78	3,27	3,51	3,27	3,12	2,68	1,75
10	4,28	3,91	3,77	3,57	3,21	2,42
11	4,73	4,43	4,24	3,77	3,64	2,25
12	3,93	4,10	3,84	3,72	3,79	2,35
01/79	4,15	4,15	4,35	4,08	3,41	2,04
02	3,81	4,38	4,09	3,36	3,56	3,39
03	4,57	4,37	4,09	3,80	3,80	2,72
04	3,17	4,15	3,98	3,87	3,89	2,64
05	3,05	3,08	3,16	2,72	3,23	3,39
MÉDIA	3,38	4,01	3,87	3,56	3,47	2,55

Tabela 4.9 - Resultados Médios Mensais de Alcalinidade Total
(mg CaCO₃/l)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
04/78	325	298	273	244	215	184
05	326	317	305	273	254	226
06	338	307	312	280	268	250
07	331	323	304	285	261	232
08	357	328	311	297	260	223
09	340	324	315	289	256	234
10	345	323	326	302	266	249
11	357	334	314	290	282	267
12	365	348	329	308	292	263
01/79	354	342	326	302	275	244
02	334	317	320	276	265	255
03	381	364	341	308	318	263
04	329	332	335	307	283	253
05	357	348	322	284	272	315
MÉDIA	346	329	317	289	269	247

Tabela 4.10 - Resultados Médios Mensais de Cloreto ($\text{mg Cl}^-/\text{l}$)*

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A_1	EFLUENTE F_1	EFLUENTE M_1	EFLUENTE M_2	EFLUENTE M_3
11/77	370	334	364	367	370	373
12	375	339	354	364	370	367
01/78	431	345	345	326	354	357
02	397	413	363	361	360	369
03	384	358	351	328	341	342
04	316	325	271	273	276	273
05	296	330	274	270	268	271
06	368	339	320	318	304	292
07	379	398	407	404	391	382
08	376	391	432	436	428	423
09	381	378	401	385	374	378
10	426	413	419	419	413	410
11	426	425	440	434	431	434
12	426	423	446	442	446	456
01/79	376	364	390	373	379	391
02	411	411	417	405	402	414
03	389	380	399	396	403	401
04	394	382	411	408	411	437
05	417	354	400	391	377	384
MÉDIA	386	374	379	374	374	377

(*) Resultados da amostra composta semanal

Tabela 4.11 - Resultados Médios Mensais de Condutividade a 25°C ($\mu\text{mho/cm}$)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
02/78	1575	1513	1519	1506	1506	1513
03	1644	1506	1475	1438	1413	1375
04	1525	1417	1392	1358	1283	1242
05	1490	1380	1340	1280	1250	1190
06	1506	1394	1344	1319	1275	1219
07	1520	1410	1370	1360	1330	1240
08	1563	1425	1406	1338	1319	1231
09	1619	1494	1494	1425	1394	1356
10	1645	1545	1550	1505	1465	1405
11	1656	1594	1581	1556	1538	1513
12	1690	1620	1595	1565	1550	1520
01/79	1745	1690	1690	1665	1660	1580
02	1738	1700	1675	1631	1625	1556
03	1831	1706	1681	1625	1619	1569
04	1730	1675	1675	1630	1620	1560
05	1744	1619	1569	1506	1456	1425
MÉDIA	1639	1543	1522	1482	1456	1406

Tabela 4.12 - Resultados Médios Mensais de Sulfeto
(mg S⁼/l)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁
01/78	4,34	8,05
02	4,55	8,33
03	4,20	10,3
04	4,49	12,0
05	3,24	12,3
06	3,80	9,21
07	3,53	10,6
08	3,18	10,3
09	2,58	8,82
10	3,40	8,61
11	4,78	9,32
12	4,39	8,44
01/79	4,51	7,97
02	4,47	8,93
03	4,60	8,84
04	4,48	8,99
05	3,07	9,74
MÉDIAS	3,98	9,46

Tabela 4.13 - Resultados Médios Mensais de Vazão* (l/h)

MÊS	VAZÃO	MÊS	VAZÃO
03/77	256	05/78	257
04	261	06	258
05	262	07	255
06	260	08	256
07	258	09	265
08	267	10	262
09	255	11	258
10	257	12	258
11	255	01/79	253
12	261	02	252
01/78	257	03	251
02	255	04	254
03	257	05	257
04	266		
MÉDIA			258

(*) Vazão influente

Tabela 4.14 - Resultados Médios Mensais de Sólidos
(mg/l)

Mês	ESGOTO BRUTO							
	Sólidos Totais	Sólidos Totais		Sólidos Filtráveis	Sólidos em Suspensão	Sólidos em Suspensão		Sólidos Sedimentáveis (ml/l)
		Voláteis	Fixos			Voláteis	Fixos	
05/77	967	357	611	725	266	-	-	5,6
06	1111	529	583	846	266	-	-	7,2
07	1154	461	693	964	190	-	-	5,0
08	1164	458	707	911	253	-	-	6,5
09	1128	426	702	853	275	-	-	7,6
10	1217	526	691	894	328	-	-	7,8
11	1288	596	691	945	342	-	-	10
12	1215	505	710	801	409	-	-	8,9
01/78	1344	563	781	924	420	-	-	10
02	1130	448	683	793	338	-	-	6,0
03	1275	558	716	924	352	-	-	7,8
04	1107	380	727	717	390	-	-	9,2
05	1020	308	712	716	304	-	-	5,3
06	1105	348	758	745	360	283	53	5,4
07	1074	336	738	776	298	246	52	5,2
08	1198	470	728	913	285	240	45	4,0
09	1240	478	763	885	355	278	78	5,3
10	1270	512	758	850	420	332	88	7,3
11	1293	525	768	833	460	375	85	9,6
12	1287	558	735	858	430	348	83	9,6
01/79	1300	546	754	878	422	342	80	9,5
02	1310	520	790	949	361	301	61	7,8
03	1228	478	750	828	399	321	78	7,8
04	1198	430	768	916	282	238	44	6,4
05	1233	413	820	942	290	241	49	6,0
MÉDIA	1194	469	725	855	340	295	66	7,2

Tabela 4.14 (continuação)

Mês	EFLUENTE DE A ₁							
	Sólidos Totais	Sólidos Totais		Sólidos Filtráveis	Sólidos em Suspensão	Sólidos em Suspensão		Sólidos Sedimentáveis (ml/l)
		Voláteis	Fixos			Voláteis	Fixos	
05/77	817	230	587	735	74	-	-	0,6
06	767	231	536	686	81	-	-	1,8
07	860	199	661	779	81	-	-	0,6
08	939	241	698	874	65	-	-	0,5
09	904	231	673	804	100	-	-	1,4
10	948	275	673	819	98	-	-	1,3
11	891	230	661	817	75	-	-	0,2
12	864	191	673	803	59	-	-	0,1
01/78	854	206	648	795	59	-	-	0,3
02	850	190	660	800	50	-	-	0,2
03	885	253	633	824	61	-	-	0,1
04	900	117	783	855	45	-	-	0,1
05	762	78	684	731	31	-	-	0,0
06	840	216	628	799	41	35	7	0,0
07	782	120	662	749	33	26	6	0,0
08	845	180	665	802	43	36	7	0,0
09	855	175	680	814	41	36	5	0,0
10	872	162	710	834	38	34	4	0,0
11	875	205	670	828	47	41	6	0,1
12	875	210	665	826	49	42	7	0,2
01/79	870	172	698	834	36	28	7	0,1
02	930	208	723	899	32	27	4	0,2
03	893	198	695	859	33	31	3	0,0
04	930	224	706	902	28	24	4	0,1
05	918	205	713	883	35	33	2	0,1
MÉDIA	869	198	671	814	53	33	5	0,3

Tabela 4.14 (continuação)

Mês	EFLUENTE DE F ₁							Sólidos Sedimentáveis (ml/l)
	Sólidos Totais	Sólidos Totais		Sólidos Filtráveis	Sólidos em Suspensão	Sólidos em Suspensão		
		Voláteis	Fixos			Voláteis	Fixos	
05/77	799	205	595	681	109	-	-	0,9
06	741	267	474	659	83	-	-	1,1
07	841	232	609	767	74	-	-	1,4
08	893	228	666	845	49	-	-	0,9
09	912	216	697	830	83	-	-	1,5
10	1035	293	743	874	121	-	-	1,1
11	908	231	676	847	61	-	-	0,8
12	939	230	709	856	82	-	-	0,8
01/78	955	290	665	843	113	-	-	1,0
02	915	240	675	847	68	-	-	0,2
03	1015	350	665	868	147	-	-	1,7
04	813	153	660	723	91	-	-	0,5
05	778	128	650	728	50	-	-	0,1
06	792	120	672	719	73	68	5	0,2
07	816	183	635	740	78	68	4	0,3
08	875	218	658	808	67	61	6	0,2
09	900	223	678	806	94	87	7	0,3
10	904	196	708	846	58	53	5	0,3
11	958	243	715	815	143	132	11	0,5
12	930	240	690	855	75	69	6	0,2
01/79	926	216	710	848	78	71	7	0,3
02	993	265	728	893	100	95	6	0,5
03	970	243	728	901	70	66	4	0,6
04	990	266	724	924	66	62	4	0,2
05	937	207	730	854	82	81	2	0,5
MÉDIAS	901	227	674	815	85	76	6	0,6

Tabela 4.14 (continuação)

Mês	EFLUENTE DE M ₁							Sólidos Sedimentáveis (ml/l)
	Sólidos Totais	Sólidos Totais		Sólidos Filtráveis	Sólidos em Suspensão	Sólidos em Suspensão		
		Voláteis	Fixos			Voláteis	Fixos	
05/77	765	205	561	633	63	-	-	0,8
06	727	244	483	696	31	-	-	0,6
07	816	239	577	734	81	-	-	0,9
08	908	216	692	853	55	-	-	0,6
09	880	203	677	818	62	-	-	0,8
10	993	295	698	838	124	-	-	1,4
11	939	249	690	858	81	-	-	1,0
12	939	226	713	847	96	-	-	1,3
01/78	945	265	680	847	99	-	-	1,3
02	888	170	716	860	28	-	-	0,1
03	920	283	638	895	25	-	-	0,2
04	760	110	650	727	33	-	-	0,2
05	730	134	596	693	37	-	-	0,1
06	765	143	623	721	44	35	4	0,3
07	754	106	648	723	31	28	3	0,1
08	825	158	668	792	33	32	1	0,1
09	880	180	700	839	41	40	1	0,1
10	880	166	714	838	42	41	2	0,0
11	928	193	735	870	58	56	2	0,1
12	913	208	705	875	38	35	3	0,0
01/79	932	200	732	886	46	42	4	0,0
02	985	208	778	923	62	59	3	0,1
03	993	260	733	922	71	69	3	0,0
04	988	238	750	930	58	53	5	0,3
05	913	215	698	865	48	45	3	0,3
MÉDIA	879	205	674	821	55	45	3	0,4

Tabela 4.14 (continuação)

Mês	EFLUENTE DE M ₂							Sólidos Sedimentáveis (ml/l)
	Sólidos Totais	Sólidos Totais		Sólidos Filtráveis	Sólidos em Suspensão	Sólidos em Suspensão		
		Voláteis	Fixos			Voláteis	Fixos	
05/77	772	187	585	683	69	-	-	0,7
06	767	216	551	719	49	-	-	0,3
07	806	268	538	731	74	-	-	0,8
08	883	199	684	830	41	-	-	0,4
09	862	180	682	804	58	-	-	0,5
10	953	248	705	873	44	-	-	0,4
11	945	250	695	872	73	-	-	0,5
12	941	193	749	892	52	-	-	0,5
01/78	926	213	714	857	69	-	-	0,6
02	888	118	710	869	19	-	-	0,1
03	933	278	655	912	21	-	-	0,1
04	750	113	637	721	29	-	-	0,1
05	726	118	608	703	23	-	-	0,0
06	785	148	638	770	15	13	3	0,0
07	724	84	640	708	16	14	4	0,0
08	793	150	643	776	17	16	1	0,1
09	863	140	723	837	26	24	2	0,0
10	882	164	718	846	36	32	4	0,0
11	915	170	745	891	24	20	4	0,0
12	918	183	735	894	24	22	2	0,0
01/79	916	176	740	878	38	36	2	0,0
02	953	190	763	913	39	36	4	0,1
03	965	230	735	924	41	38	4	0,1
04	966	220	746	930	36	30	6	0,0
05	893	210	683	852	41	39	2	0,1
MÉDIAS	869	186	681	827	39	27	3	0,5

Tabela 4.14 (continuação)

Mês	EFLUENTE DE M ₃							
	Sólidos Totais	Sólidos Totais		Sólidos Filtráveis	Sólidos em Suspensão	Sólidos em Suspensão		Sólidos Sedimentáveis
		Voláteis	Fixos			Voláteis	Fixos	
05/77	714	145	569	654	46	-	-	0,4
06	711	181	530	684	27	-	-	0,1
07	731	197	534	682	49	-	-	0,3
08	844	209	636	818	26	-	-	0,2
09	852	170	682	815	37	-	-	0,2
10	938	189	749	864	21	-	-	0,1
11	964	243	721	914	50	-	-	0,1
12	940	168	773	909	31	-	-	0,0
01/78	905	176	729	885	20	-	-	0,0
02	893	153	740	880	12	-	-	0,0
03	920	300	620	904	17	-	-	0,0
04	727	87	640	713	14	-	-	0,0
05	748	96	652	720	28	-	-	0,0
06	768	93	675	736	32	27	4	0,0
07	734	112	622	697	37	34	3	0,0
08	788	153	635	750	38	34	4	0,1
09	883	160	723	846	37	33	4	0,0
10	888	154	734	851	37	32	5	0,0
11	925	148	778	883	42	38	4	0,0
12	955	217	738	876	79	72	7	0,0
01/79	948	190	758	894	54	50	4	0,0
02	940	197	743	886	54	51	3	0,0
03	965	235	730	904	61	56	6	0,0
04	1020	252	768	953	67	60	8	0,0
05	900	205	695	849	51	48	3	0,0
MÉDIA	864	177	687	823	39	45	5	0,1

Tabela 4.15 - Resultados Médios Mensais de Coliformes Fecais (CF/100 ml)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
06/77	6,06x10 ⁷	2,94x10 ⁶	2,42x10 ⁵	0,878x10 ⁴	2,74x10 ²	-
07	2,89x10 ⁷	2,01x10 ⁶	1,15x10 ⁵	0,366x10 ⁴	1,33x10 ²	-
08	2,47x10 ⁷	1,94x10 ⁶	1,18x10 ⁵	6,88x10 ⁴	2,22x10 ²	-
09	3,38x10 ⁷	2,90x10 ⁶	0,678x10 ⁵	0,522x10 ⁴	2,18x10 ²	0,82x10
10	5,23x10 ⁷	5,46x10 ⁶	2,90x10 ⁵	1,39x10 ⁴	6,40x10 ²	2,46x10
11	6,60x10 ⁷	2,83x10 ⁶	1,43x10 ⁵	0,874x10 ⁴	-	5,74x10
12	8,40x10 ⁷	4,80x10 ⁶	3,69x10 ⁵	1,87x10 ⁴	0,633x10 ²	0,740x10
01/78	6,01x10 ⁷	3,25x10 ⁶	2,70x10 ⁵	5,13x10 ⁴	0,427x10 ²	0,497x10
02	4,12x10 ⁷	2,73x10 ⁶	2,70x10 ⁵	2,81x10 ⁴	0,368x10 ²	0,390x10
03	5,27x10 ⁷	2,64x10 ⁶	2,76x10 ⁵	0,780x10 ⁴	2,05x10 ²	1,10x10
04	4,69x10 ⁷	4,01x10 ⁶	4,70x10 ⁵	3,47x10 ⁴	3,59x10 ²	2,61x10
05	3,14x10 ⁷	3,69x10 ⁶	5,85x10 ⁵	5,89x10 ⁴	6,07x10 ²	1,81x10
06	3,10x10 ⁷	3,10x10 ⁶	5,15x10 ⁵	3,20x10 ⁴	7,14x10 ²	1,79x10
07	4,10x10 ⁷	1,80x10 ⁶	4,20x10 ⁵	4,20x10 ⁴	9,36x10 ²	3,80x10
08	3,40x10 ⁷	3,20x10 ⁶	4,00x10 ⁵	3,50x10 ⁴	4,90x10 ²	2,36x10
09	5,55x10 ⁷	1,50x10 ⁶	3,40x10 ⁵	1,17x10 ⁴	2,82x10 ²	2,32x10
10	3,50x10 ⁷	1,30x10 ⁶	2,50x10 ⁵	1,30x10 ⁴	9,60x10 ²	4,32x10
11	2,86x10 ⁷	1,78x10 ⁶	1,76x10 ⁵	1,42x10 ⁴	4,54x10 ²	3,25x10
12	5,28x10 ⁷	2,10x10 ⁶	4,60x10 ⁵	1,90x10 ⁴	4,33x10 ²	7,75x10
01/79	5,77x10 ⁷	2,80x10 ⁶	2,49x10 ⁵	2,68x10 ⁴	5,36x10 ²	3,02x10
02	5,78x10 ⁷	1,98x10 ⁶	3,84x10 ⁵	3,92x10 ⁴	4,70x10 ²	3,28x10
03	5,73x10 ⁷	4,00x10 ⁶	4,58x10 ⁵	2,75x10 ⁴	6,75x10 ²	5,10x10
04	3,53x10 ⁷	2,60x10 ⁶	4,44x10 ⁵	3,98x10 ⁴	7,97x10 ²	10,9x10
05	3,70x10 ⁷	4,66x10 ⁶	4,15x10 ⁵	2,22x10 ⁴	5,35x10 ²	4,33x10
MÉDIAS	4,61x10 ⁷	2,92x10 ⁶	3,22x10 ⁵	2,63x10 ⁴	4,38x10 ²	3,26x10

Tabela 4.16 - Resultados Médios Mensais de Estreptococos
Fecais (EF/100 ml)

Lagoa Mês	EB	EFLUENTE A ₁	EFLUENTE F ₁	EFLUENTE M ₁	EFLUENTE M ₂	EFLUENTE M ₃
06/77	3,79x10 ⁶	0,895x10 ⁵	1,29x10 ⁴	0,203x10 ³	0,564x10 ²	2,04x10
07	2,57x10 ⁶	0,313x10 ⁵	0,692x10 ⁴	0,104x10 ³	0,290x10 ²	2,88x10
08	3,00x10 ⁶	1,46x10 ⁵	0,711x10 ⁴	0,369x10 ³	0,157x10 ²	0,535x10
09	3,90x10 ⁶	0,804x10 ⁵	0,513x10 ⁴	0,170x10 ³	0,314x10 ²	0,600x10
10	8,13x10 ⁶	2,41x10 ⁵	0,605x10 ⁴	0,452x10 ³	-	-
11	9,08x10 ⁶	2,54x10 ⁵	0,464x10 ⁴	0,179x10 ³	-	-
12	8,94x10 ⁶	8,86x10 ⁵	1,86x10 ⁴	0,480x10 ³	-	-
01/78	12,4x10 ⁶	3,91x10 ⁵	3,08x10 ⁴	3,50x10 ³	-	-
02	11,2x10 ⁶	3,24x10 ⁵	6,55x10 ⁴	1,34x10 ³	-	-
03	8,55x10 ⁶	2,96x10 ⁵	3,72x10 ⁴	8,06x10 ³	0,809x10 ²	4,41x10
04	5,51x10 ⁶	1,90x10 ⁵	3,49x10 ⁴	1,80x10 ³	0,606x10 ²	1,33x10
05	5,09x10 ⁶	2,53x10 ⁵	3,69x10 ⁴	2,60x10 ³	1,05x10 ²	1,30x10
06	7,17x10 ⁶	1,50x10 ⁵	3,15x10 ⁴	1,08x10 ³	1,61x10 ²	0,885x10
07	7,20x10 ⁶	1,20x10 ⁵	2,90x10 ⁴	1,90x10 ³	1,61x10 ²	1,69x10
08	5,55x10 ⁶	2,80x10 ⁵	2,90x10 ⁴	1,08x10 ³	0,891x10 ²	1,29x10
09	5,86x10 ⁶	2,21x10 ⁵	2,70x10 ⁴	4,97x10 ³	0,605x10 ²	5,21x10
10	7,80x10 ⁶	2,90x10 ⁵	4,80x10 ⁴	1,36x10 ³	0,688x10 ²	1,28x10
11	6,30x10 ⁶	4,00x10 ⁵	5,30x10 ⁴	-	-	-
MÉDIAS	6,78x10 ⁶	2,58x10 ⁵	2,69x10 ⁴	1,74x10 ³	0,774x10 ²	1,95x10

Tabela 4.17 - Resultados Experimentais Médios e Faixas para o Período Completo

Parâmetro	Amostra Bruta	Lagoa A ₁ efluente	Lagoa F ₁ efluente	Lagoa M ₁ efluente	Lagoa M ₂ efluente	Lagoa N ₃ efluente
Temperatura* (°C)	26,8 (26,6-24,5)	24,8 (26,2-23,2)	24,7 (25,6-23,1)	25,6 (27,2-23,9)	26,1 (28,0-24,8)	26,0 (27,3-24,1)
pH	7,5 (7,7 - 7,2)	7,1 (7,4 - 6,8)	7,6 (8,3 - 7,3)	7,9 (8,7 - 7,6)	7,0 (9,3 - 7,6)	8,4 (9,9 - 7,9)
DK ₅ (mg/l)	294 (402 - 157)	79 (172 - 52)	49 (96 - 29)	25 (40 - 13)	18 (44 - 07)	16 (29 - 08)
DO (mg/l)	660 (904 - 353)	283 (463 - 145)	212 (331 - 147)	156 (166 - 107)	114 (199 - 73)	109 (160 - 70)
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /l)	346 (381 - 325)	379 (364 - 296)	317 (341 - 273)	289 (308 - 244)	269 (319 - 215)	247 (315 - 184)
Nitrogênio-Amônia (mg N/l)	49 (56 - 27)	32 (40 - 18)	22 (34 - 16)	20 (28 - 12)	14 (23 - 07)	08 (17 - 03)
Nitrogênio-Nitrato (mg N/l)	0,13 (0,28-0,02)	0,11 (0,25-0,02)	0,13 (0,38-0,02)	0,22 (0,46-0,17)	0,96 (1,67-0,44)	1,27 (2,26-0,40)
Fósforo Total (mg P/l)	7,59 (9,65-4,99)	4,65 (6,72-3,21)	5,05 (8,31-3,95)	4,24 (4,65-3,16)	4,04 (4,57-3,49)	3,34 (3,83-2,40)
Ortofosfato Filtrável (mg P/l)	3,88 (4,73-3,05)	4,01 (4,43-3,08)	3,87 (4,35-3,16)	3,56 (4,08-2,72)	3,47 (3,89-2,68)	2,55 (3,39-1,75)
Sulfeto Total (mg S ²⁻ /l)	3,98 (4,78-2,58)	9,46 (12,3-7,97)	-	-	-	-
Cloreto** (mg Cl ⁻ /l)	366 (431 - 296)	374 (425 - 325)	379 (446 - 271)	374 (436 - 270)	374 (446 - 265)	377 (456 - 271)
Condutividade (umho/cm)	1639 (1821-1506)	1543 (1706-1390)	1522 (1690-1340)	1522 (1665-1260)	1456 (1660-1250)	1406 (1680-1190)
Sólidos Totais (mg/l)	1194 (1344 - 967)	869 (948 - 762)	901 (1035 - 741)	879 (995 - 727)	869 (966 - 727)	864 (1000 - 711)
Voláteis	469 (596 - 308)	198 (275 - 78)	227 (350 - 120)	205 (295 - 106)	186 (278 - 113)	177 (300 - 93)
Fixos	725 (820 - 583)	671 (723 - 536)	674 (743 - 474)	674 (776 - 465)	681 (763 - 536)	687 (776 - 530)
Sólidos Filtráveis (mg/l)	855 (964 - 716)	814 (902 - 696)	815 (924 - 659)	821 (930 - 665)	827 (930 - 703)	823 (953 - 654)
Sólidos em Suspensão (mg/l)	340 (400 - 190)	53 (100 - 28)	85 (147 - 49)	55 (124 - 25)	39 (74 - 15)	39 (79 - 12)
Voláteis	291 (375 - 239)	33 (42 - 24)	76 (132 - 53)	45 (109 - 51)	27 (39 - 13)	45 (72 - 27)
Fixos	66 (88 - 44)	65 (97 - 02)	66 (11 - 03)	67 (95 - 01)	63 (96 - 01)	65 (98 - 03)
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	7,2 (10 - 3,2)	0,3 (1,8 - 00)	0,6 (1,7 - 0,1)	0,4 (1,4 - 00)	0,5 (0,8 - 00)	0,1 (0,4 - 00)
Coliformes fecais / 100 ml	4,61 x 10 ⁷ (8,4-2,47)10 ⁷	2,92 x 10 ⁶ (5,46-1,3)10 ⁶	3,22 x 10 ⁷ (5,85-0,68)10 ⁷	2,63 x 10 ⁶ (6,85-0,37)10 ⁶	4,38 x 10 ⁷ (9,6-0,37)10 ⁷	3,26 x 10 ⁶ (1,1-0,39)10 ⁶
Estreptococos fecais / 100ml	6,78 x 10 ⁴ (12,4-2,57)10 ⁴	2,58 x 10 ³ (8,86-0,31)10 ³	2,09 x 10 ⁵ (6,55-0,36)10 ⁵	1,74 x 10 ³ (8,06-0,10)10 ³	0,77 x 10 ⁷ (1,61-0,16)10 ⁶	1,95 x 10 ⁶ (5,21-0,53)10 ⁶

(*) Média das temperaturas médias diárias obtidas em termômetros de máx. e mín. suspensos a meia profundidade nas lagoas.

(**) Resultados da amostra composta semanal.

CAPÍTULO V

D I S C U S S Ã O

1. EFICIÊNCIA DO SISTEMA

À temperatura média de 25,4°C, o sistema, com um tempo de detenção médio total igual a 28,8 dias, obteve uma redução média de DBO₅ igual a 94,6%, a maior parte desta redução ocorrendo na lagoa anaeróbia A₁ (72,5%). Os resultados bacteriológicos mostram que a contagem de Coliformes fecais foi reduzida do valor médio de 4,61x10⁷/100 ml para a média de 32,6/100 ml, valor que está dentro dos limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), para a reutilização de efluentes na irrigação irrestrita (15).

Os resultados apresentados mostram o elevado grau de remoção orgânica e de redução de bactérias fecais que pode ser alcançado num sistema de lagoas de estabilização em série propriamente projetado (vide Figuras 5.1 e 5.2).

Uma proposta de projeto para lagoas de estabilização em climas quentes foi apresentada por Mara (8) no relatório técnico publicado em abril de 1975. O projeto consiste em cinco ou mais lagoas em série, cada lagoa com um tempo de detenção igual a 5 dias. Mostra-se que tal sistema é capaz de reduzir a DBO₅ de 1000 mg/l para menos de 25 mg/l e, mais importantemente, reduzir a contagem de coliformes fecais de 4x10⁷/100 ml para menos de 100/100 ml, que é o padrão da OMS para irrigação irrestrita (15). Um efluente que satisfaz esses requisitos pode ser usado convenientemente para muitas utilizações industriais e mu

nicipais. Com base nestas informações podemos concluir que o nosso sistema de lagoas seria capaz de lidar com esgotos de até 1000 mg/l de DBO_5 . Para tal esgoto, a carga volumétrica na lagoa anaeróbia A_1 seria igual a 148 g/m³dia. Os resultados operacionais obtidos a partir de uma lagoa anaeróbia na EXTRABES (7), com carga de 393 g/m³dia e com um tempo de detenção de apenas 0,8 dias, mostraram que tal lagoa alcançou reduções de DBO_5 entre 75% e 78%. Assim sendo, podemos seguramente esperar que também a lagoa A_1 tratará satisfatoriamente os esgotos concentrados.

Os resultados apresentados anteriormente nos levam a concluir que a proposta apresentada por Mara (8) foi substancialmente verificada. Admitidamente o procedimento sugerido é uma mistura de modelos matemáticos com fatores empíricos de projeto; todavia, constitui-se sem dúvida num projeto extremamente econômico e que obtém ótima qualidade bacteriológica sem a cloração do efluente.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4.17, verificamos que a lagoa A_1 é altamente eficiente na remoção de amoníaco, compostos orgânicos e bactérias fecais. As remoções médias de DBO_5 e DQO são de aproximadamente 73% e 70% respectivamente, e as de Coliformes fecais e Estreptococos fecais 94% e 96% respectivamente; estes são valores elevados mesmo considerando o tempo de detenção médio de 6,76 dias na lagoa. A carga volumétrica de DBO_5 média foi igual a 43,5 g/m³dia, bastante inferior ao limite de 400 g/m³dia recomendado para estas lagoas (3).

Como segunda lagoa da série, a lagoa F_1 foi alimentada continuamente com o efluente anaeróbio de A_1 . Devido à elevada eficiência de redução de DBO_5 obtida na lagoa A_1 , a carga orgânica influente em F_1 foi reduzida. Para a DBO_5 média influente e o tempo de detenção médio observados, iguais a 79 mg/l e 5,41 dias respectivamente, a carga orgânica superficial resultante foi de 146 Kg/ha dia. A redução média de DBO_5 observada foi de 38%, a qual acumulada com a da lagoa anterior somou 83% de redução nas duas lagoas.

Os valores médios da constante de primeira ordem $K(\text{dia}^{-1})$

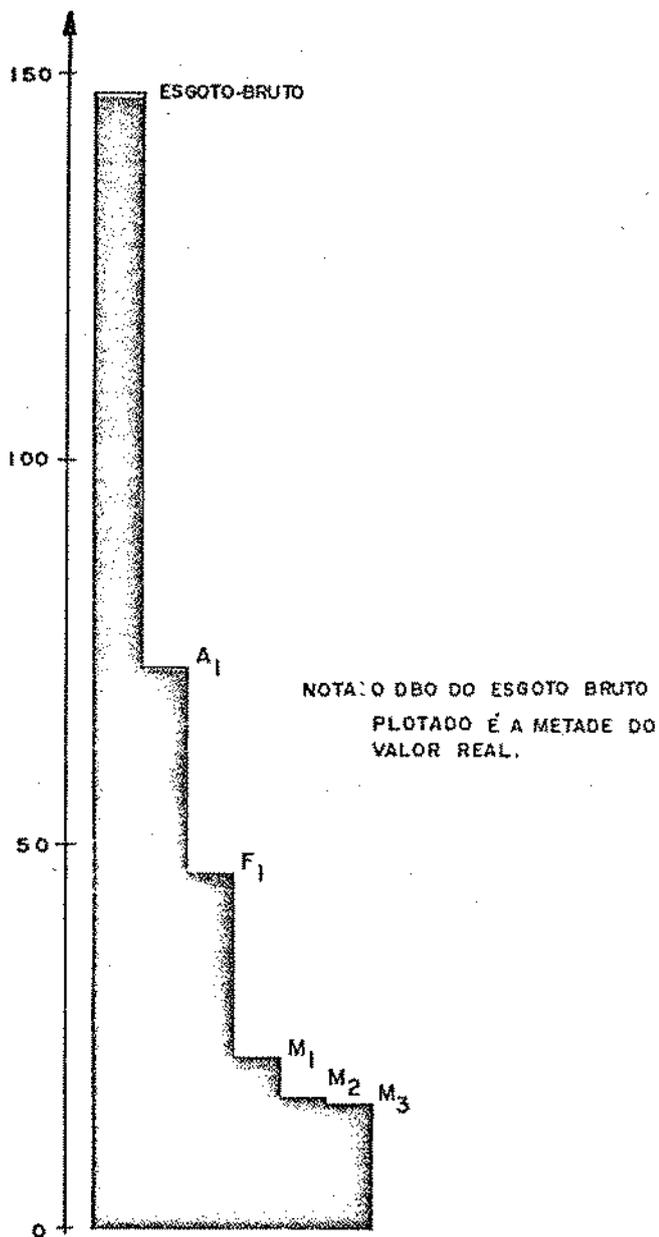


FIG. 5.1 - DBO₅ MÉDIO, EM MILIGRAMAS POR LITRO, DO ESGOTO-BRUTO E DO EFLUENTE DAS LAGOAS PARA O PERÍODO COMPLETO.

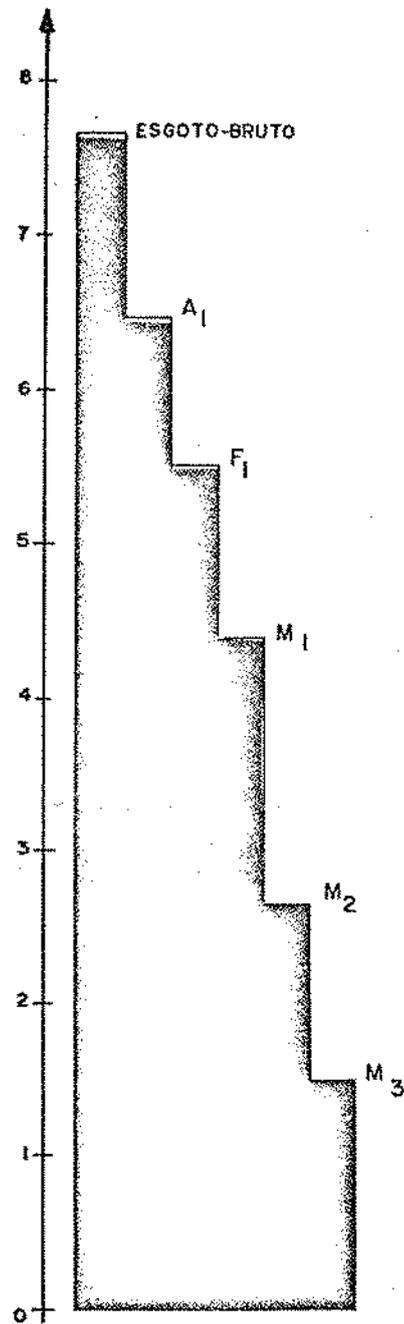


FIG. 5.2 - NÚMERO DE COLIFORMES FECAIS MÉDIOS (log de n° por 100 ml), DO ESGOTO-BRUTO E DO EFLUENTE DAS LAGOAS, PARA O PERÍODO COMPLETO.

para a remoção de DBO_5 , baseados nos resultados médios da Tabela 4.17 e na hipótese de que as lagoas são reatores de completa mistura, são os seguintes:

	K (DBO_5)
lagoa A_1	0,40 dia^{-1}
lagoa F_1	0,11 dia^{-1}

Supondo que estes valores se referem à temperatura média de 25°C , eles podem ser comparados com os valores de $0,53 \text{ dia}^{-1}$ e $0,38 \text{ dia}^{-1}$ calculados a partir da equação de Arrhenius dada por Marais (11) e Mara (3) respectivamente, para a variação de K (DBO_5) com a temperatura.

Os resultados experimentais obtidos com A_1 parecem confirmar a validade de aplicação da teoria de Marais e Shaw (10) para a determinação da DBO_5 nas lagoas de estabilização primárias tratando esgoto doméstico de concentração média. Os valores $0,3 \text{ dia}^{-1}$ e $1,05$ sugeridos por Mara (3), respectivamente para K a 20°C e θ na equação de Arrhenius, parecem justificados.

Os resultados experimentais obtidos com F_1 confirmam as conclusões anteriores de que K (DBO_5) não permanece constante ao longo da série e o método quantitativo mencionado não se aplica para a determinação da concentração de DBO nas lagoas secundárias.

As lagoas de maturação foram usadas como estágios subsequentes à F_1 . A remoção de DBO_5 nestas lagoas foi pequena - três lagoas em série, com tempos de detenção médios de 5,41 dias e 5,78 dias, respectivamente para $M_1 = M_2$ e M_3 , reduziram a DBO_5 de aproximadamente 50 mg/l para menos de 20 mg/l, e os sólidos em suspensão, de 85 mg/l para aproximadamente 40 mg/l.

Os valores médios da constante de primeira ordem K (dia^{-1}) para a remoção de Coliformes fecais (CF) e Estreptococos fecais (EF), baseados nos resultados médios da tabela 4.17, e na hipótese de que as lagoas são reatores de completa mistura, são os seguintes:

	K (CF)	K (EF)
lagoa A ₁	2,19 dia ⁻¹	3,74 dia ⁻¹
lagoa F ₁	1,49 dia ⁻¹	1,59 dia ⁻¹
lagoa M ₁	2,08 dia ⁻¹	2,67 dia ⁻¹
lagoa M ₂	10,9 dia ⁻¹	5,14 dia ⁻¹
lagoa M ₃	2,15 dia ⁻¹	3,42 dia ⁻¹
média*	1,98 dia ⁻¹	2,86 dia ⁻¹

Supondo que estes valores se referem à temperatura média de aproximadamente 25°C, eles podem ser comparados com o valor de 6,20 dia⁻¹, calculado a partir da equação de Arrhenius dada por Marais (12) para a remoção de K(CF) com a temperatura. Marais (12), entretanto, afirmava que, para temperaturas acima de 21°C, a taxa de decaimento mostrava uma "aguda diminuição", indicando uma aparente redução no valor de K, e concluía sobre a aplicação da equação somente para temperaturas entre aproximadamente 5°C e 21°C. Os resultados apontados acima sugerem certa diminuição no valor de K (CF), caso comparados ao valor de 2,6 dia⁻¹ estabelecido por Marais (12) para K (CF) a 20°C.

Estes valores também podem ser comparados com os valores de 2,13 dia⁻¹ e 2,82 dia⁻¹ estimados estatisticamente por Marais e Shaw (10) a partir dos resultados experimentais de muitas lagoas na África Centro-Sul, respectivamente para CF e EF, os quais expressam o comportamento médio das lagoas para aquela região. Marais e Shaw (10) sugeriram, para fins de projeto, o valor de K = 2,0 dia⁻¹.

Devemos notar, entretanto, que, mesmo para os referidos tempos de detenção relativamente reduzidos, a concentração percentual nas lagoas caiu para valores pequenos, e pequenos erros na determinação das concentrações de bactérias no esgoto bruto (N₀) e nas lagoas (N) resultam em grandes variações nos valores

(*) As médias foram calculadas excluindo os valores para M₂

de N_0/N , podendo até mesmo levar a estimativas irreais para os valores de K .

Os resultados apresentados na Tabela 4.17 mostram que a série de três lagoas de maturação, cada lagoa com tempo de de_{te}nção entre 5 e 6 dias, pode reduzir a concentração de CF de $3,22 \times 10^5/100$ ml para muito menos de 100/100 ml, que é o padrão da OMS para a irrigação irrestrita (15).

2. VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA TEORIA DE MARAIS E SHAW (10) QUANDO APLICADA A CONCENTRAÇÃO DE BACTÉRIAS FECAIS

Os resultados experimentais utilizados nesta verificação estão apresentados em detalhes na tabela 5.1. Estes resultados foram correlacionados com aqueles determinados pela seguinte equação, para determinar a validade da teoria:

$$N/N_0 = 100 / \prod_{i=1}^n (K R_i + 1) \quad (2.10)$$

para $K = 2,0$ e $R_i = 6,76, 5,41, 5,41, 5,41$ e $5,78$ respectivamente, quando $i = (1 \text{ até } n = 5)$, onde N_0 e N = concentração de bactérias fecais no influente e na lagoa (ou efluente) por unidade de volume, respectivamente; K = constante de decaimento, em dia^{-1} e R = tempo de detenção, em dias.

O valor de $K = 2,0$ foi sugerido por Marais e Shaw (10) e Marais (12). Naquela época, estes autores relataram os valores médios de K obtidos em lagoas operadas individualmente e em série, recebendo os efluentes de filtros biológicos de alta taxa, tanques sépticos e esgoto bruto. Na ocasião, a importância da temperatura e de outros fatores, tais como estratificação e condições anaeróbias não foram apreciados. Os dados, entretanto, têm valor de fato, uma vez que representam o comportamento médio das lagoas naquela região.

Conforme Marais (12), na figura 2.4, os valores de K calculados a partir da equação 2.10, foram plotados em papel de probabilidade cumulativa, para E.Coli, Streptococos fecais e

Coliformes totais. Estes organismos foram determinados por meio do teste de NMP. O gráfico na figura 2.4 mostra uma grande dispersão de valores, os quais são log-normalmente distribuídos, com desvio padrão e médias não significativamente diferentes. Segundo Marais (12), a igualdade dos valores médios (aproximadamente $K = 2,0$) é talvez a mais importante informação do gráfico, isto indicando que qualquer dos três organismos é igualmente útil para determinar a evolução da redução de bactérias fecais nas lagoas.

Baseado na hipótese do valor de $K = 2,0 \text{ dia}^{-1}$, para testar em que medida o modelo cinético referido é aplicável para nossas lagoas, o gráfico de N/N_0 % (percentagem da concentração influente remanescente na lagoa) versus o tempo de detenção cumulativo para a série de lagoas, é apresentado na figura 5.3 para CF e EF, estando os valores teóricos calculados a partir da equação 2.10, superpostos no gráfico. Para CF, parece haver uma boa concordância com o modelo cinético, à exceção dos resultados das duas últimas lagoas; para EF, entretanto, os dados sugerem um valor de K maior do que $2,0 \text{ dia}^{-1}$.

Aplicando a equação 2.10, para os valores médios do tempo de detenção e de N/N_0 apresentados na tabela 5.1, utilizando um programa para zeros de funções (raízes) (16), calculamos os valores médios de K para o período completo, considerando a série constituída de 1, 2, ..., até 5 lagoas. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.2. Para a série completa de lagoas, verificamos que os valores de $K = 2,33 \text{ dia}^{-1}$ e de $K = 2,73 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente para CF e EF, nos oferecem as melhores correlações (vide Figuras 5.4 e 5.5).

3. TRATAMENTO TERCIÁRIO

O uso sistemático das lagoas de maturação como processo de tratamento secundário ou terciário para os efluentes das estações convencionais parece ter sido desenvolvido principalmente na África do Sul onde tais lagoas se constituem numa parte essencial do processo de purificação. Este uso é praticado principalmente para a obtenção de um efluente de alta qualidade bac

Tabela 5.1 - Resultados Experimentais do Sistema de Lagoas em série

Lagoa	Área (m ²)	Profundidade (m)	Tempo de Detenção (dias)*	Período de Teste	Valores médios de N/N ₀ **	
					CF	EF
A ₁	33,5	1,25	6,76	CF - 07/77 até 06/79	6,33x10 ⁻²	3,81x10 ⁻²
F ₁	33,5	1,00	5,41	EF - 07/77 até 11/78	6,98x10 ⁻³	3,97x10 ⁻³
M ₁	33,5	1,00	5,41		5,70x10 ⁻⁴	2,57x10 ⁻⁴
M ₂	33,5	1,00	5,41		9,50x10 ⁻⁶	1,14x10 ⁻⁵
M ₃	35,8	1,00	5,78		7,07x10 ⁻⁷	2,88x10 ⁻⁶

(*) Baseados na vazão média influente para o período completo de 258 l/h

(**) N₀ = 4,61 x 10⁷ CF/100 ml e N₀ = 6,78 x 10⁶ EF/100 ml

Tabela 5.2 - Valores Médios de K para o Período Completo

Arranjo das Lagoas	Valor médio de K(dia ⁻¹) p/o Período Completo	
	CF	EF
A ₁	2,19	3,74
A ₁ -F ₁	1,81	2,46
A ₁ -F ₁ -M ₁	1,90	2,53
A ₁ -F ₁ -M ₁ -M ₂	2,97	2,83
A ₁ -F ₁ -M ₁ -M ₂ -M ₃	2,79	2,07
Média	2,33	2,73

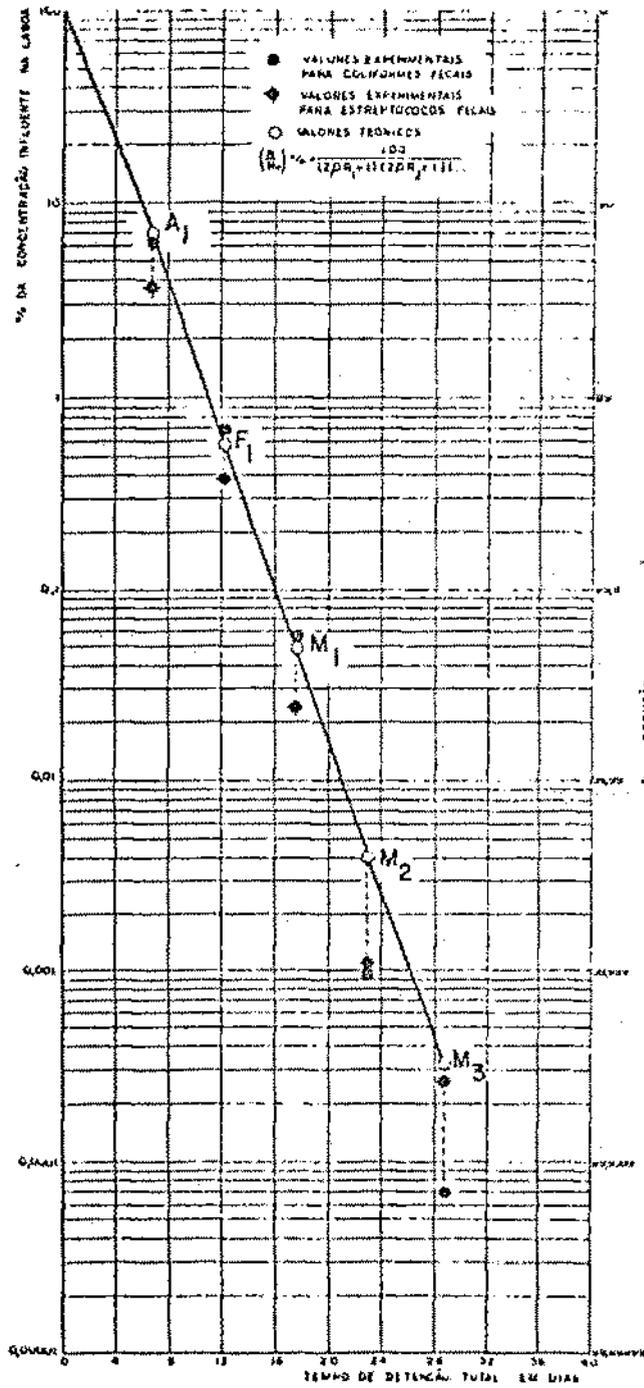


FIG 95 - CONCENTRAÇÕES TEÓRICAS E EXPERIMENTAIS DE COLIFORMES FECAIS E ESTREPTOCOCCOS FECAIS NAS LAGOAS EM SÉRIE, PARA $K = 2,0$

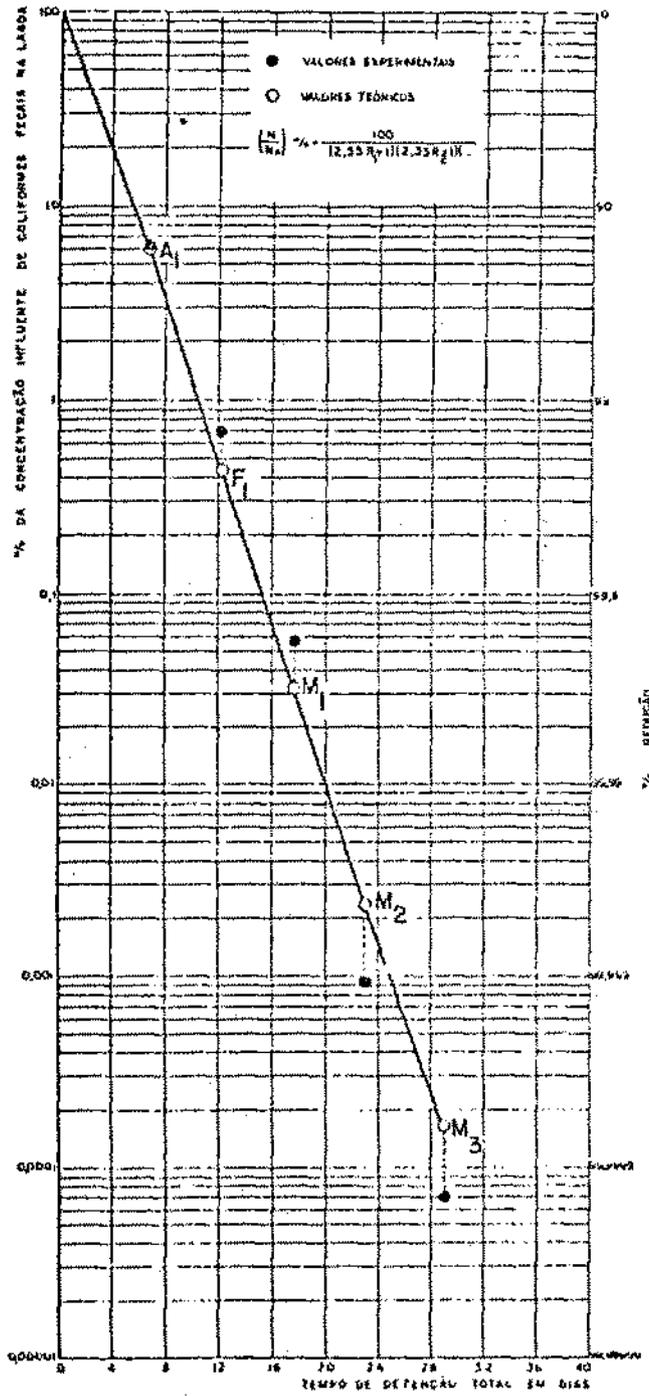


FIG. 4 - CONCENTRAÇÕES TEÓRICAS E EXPERIMENTAIS DE COLIFORMES FECAIS NAS LAGUNAS EM SÉRIE, PARA N° 2,33

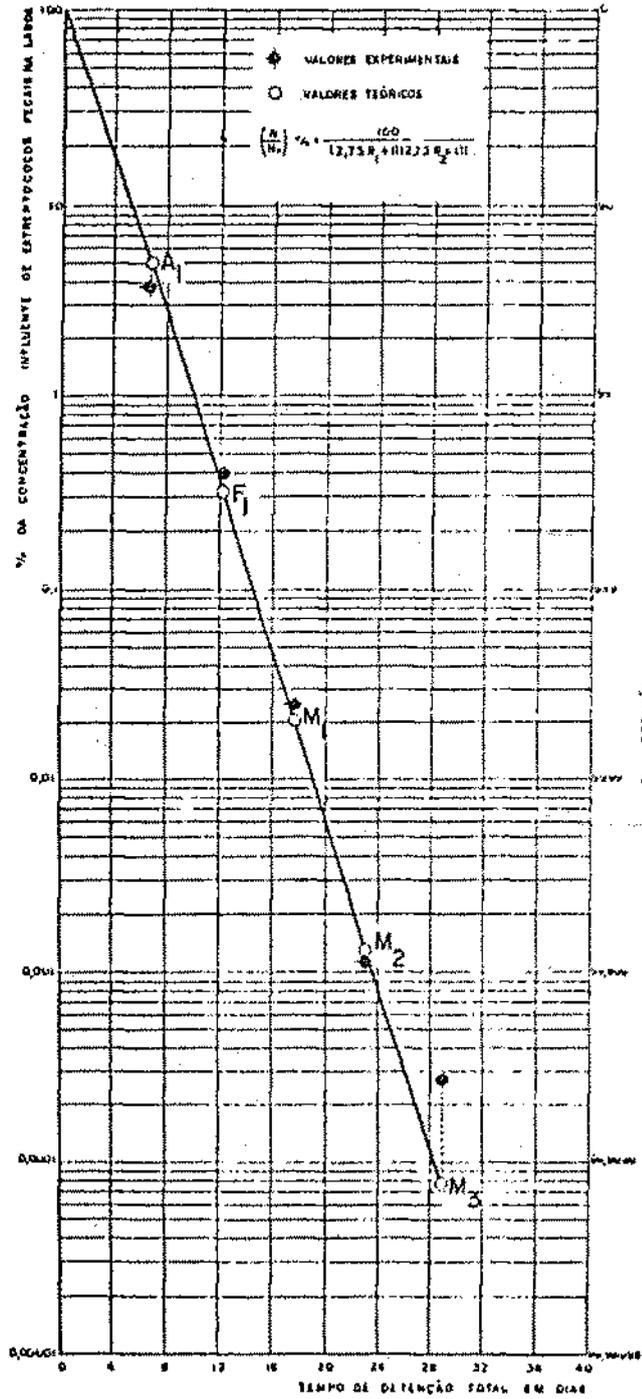


FIG. 85 - CONCENTRAÇÕES TEÓRICAS E EXPERIMENTAIS DE ESTREPTOCOCOS FECIAIS NAS LAGUNAS EM SÉRIE, PARA K = 2,73.

teriológica, mas, como tem sido mostrado, também promove uma purificação bioquímica complementar, por exemplo, através da redução adicional de detergentes sintéticos. Esta melhoria na qualidade química do efluente, como indicada pelos parâmetros sanitários normais, é frequentemente ocultada pela prolífica atividade das algas.

Os processos biológicos que promovem a qualidade química e bacteriológica dos efluentes de esgoto doméstico, não alteram significativamente seu conteúdo virológico, mas as lagoas, têm a gratificante habilidade de conseguir uma purificação virológica (13). Sob este ponto de vista, um sistema de lagoas deve ser tão raso quanto possível e o período de detenção deve exceder o tempo de sobrevivência normal dos vírus infecciosos (13).

Os resultados bacteriológicos médios apresentados na Tabela 4.17 mostram que a série de 3 lagoas de maturação, cada lagoa com tempo de detenção entre 5 e 6 dias, reduziu a concentração de CF de $3,22 \times 10^5$ por 100 ml para muito menos de 100 por 100 ml, confirmando assim a condição indispensável para uma eficiente redução no número de bactérias fecais: que as lagoas sejam operadas em série.

O sucesso das lagoas de maturação como "barreira de segurança" contra a contaminação ambiental é grandioso. Stander & Meiring (13) afirmaram a respeito: "Embora uma contagem de zero E. Coli por 100 ml não possa ser obtida nas lagoas de maturação, o grau de segurança (como indicado pela contagem de E. Coli) que pode ser alcançado nestas lagoas, é comparável àquele que é obtido na prática, quando os efluentes dos filtros de areia são submetidos à cloração".

Segundo Marais (11), em geral a redução de DBO, DQO, NH_3 , NO_2 , NO_3 e nitrogênio-Kjeldahl numa série de lagoas de maturação não é grande. Para nossas lagoas, observando os resultados médios mostrados na Tabela 4.17, as remoções de DBO_5 e DQO são aproximadamente iguais a 67% e 49% respectivamente. Devemos notar, entretanto, que a maior parte da demanda carbonácea de oxigênio foi satisfeita nas duas primeiras lagoas da série; o

processo de nitrificação-desnitrificação, por outro lado, ocorre ao longo da série, evidenciado pelas variações nas concentrações de amônia, nitrato e alcalinidade total. A significativa remoção de amônia, aproximadamente igual a 84% (vide Tabela 4.17) é comparável àquela que é obtida na prática por sistemas convencionais de lodos ativados que incluem nitrificação-desnitrificação; isto destaca outra habilidade dos sistemas de lagoas de estabilização em série: reduzir expressivamente a concentração de nitrogênio-Kjeldahl. As reduções médias de fósforo total e ortofosfato filtrável são aproximadamente iguais a 56% e 34% respectivamente, a maior parte da redução de fósforo total ocorrendo na lagoa A₁.

Os resultados médios de Sólidos em Suspensão mostrados na Tabela 4.17 indicam que as 3 lagoas de maturação reduziram a concentração de 85 mg/l para cerca de 40 mg/l, aproximadamente 90% destas concentrações sendo constituídas por sólidos voláteis (células das algas). Na verdade, densas concentrações de algas no efluente das lagoas de estabilização podem tornar seus efluentes inadequados para re-uso ou descarga num corpo receptor; todavia, com respeito à necessidade de remoção de algas nos efluentes da série de maturação M₁ - M₃, parece não ser provável que as concentrações de SS mostradas por estes efluentes sejam capazes de deteriorar a turbidez ou os recursos de oxigênio dissolvido dos corpos receptores.

Concluindo, verificamos que a qualidade final do efluente deste sistema de lagoas em série, apesar de não prevenir certo enriquecimento nutricional para os corpos de água receptores, é resultado de um alto nível de redução na poluição bacteriana e orgânica, e indica uma importante melhoria nas condições sanitárias do efluente. Assim, onde as lagoas de maturação não são usadas, a saúde pública e ambiental mais dificilmente poderá receber tais benefícios.

4. FATORES INDESEJÁVEIS

Mosquitos. Mara (3) advoga que as lagoas de estabiliza

ção devem ser mantidas livres de vegetação para prevenir a criação de mosquitos. De fato, como resultado da ausência de vegetação emergente nas nossas lagoas, as condições ao longo de todo o sistema foram desfavoráveis para a criação de mosquitos e caramujos, os quais trazem consigo em subordinado conhecidos perigos para o conforto e a saúde, respectivamente.

Moscas e outros insetos. A pequena quantidade de espuma formada na superfície da lagoa anaeróbia A₁ foi sempre dispersa pela ação do vento nunca se constituindo num habitat favorável para o crescimento de moscas e outros insetos. A mosca *Psychoda*, que cresce prolificamente nos filtros biológicos de baixa-taxa, e cuja presença em larga escala pode efetivamente impedir qualquer atividade humana nas vizinhanças das instalações, em nenhum momento foram notificadas no nosso sistema.

Odores. Segundo Mara (2), as lagoas anaeróbias são frequentemente desfavorecidas por causa do temor da liberação de odores; todavia, estabelecido que a carga volumétrica de DBO na lagoa seja inferior a 400 g/m³ dia e que o esgoto influente tenha uma concentração de sulfatos inferior a 100 mg/l (expressa como SO₄), rapidamente se estabelece uma fermentação alcalina estável com copiosa evolução de metano e nenhum odor é experimentado. No nosso sistema de lagoas, em nenhum momento os odores chegaram a causar qualquer desconforto.

CAPÍTULO VI

C O N C L U S Õ E S

1. De acordo com Mara (8), concluímos que o nosso sistema de lagoas seria capaz de tratar os esgotos de até 1000 mg/l de DBO_5 . Para tal esgoto, a carga volumétrica na lagoa anaeróbia A_1 seria igual a 148 g/m³dia. Os resultados operacionais obtidos a partir de uma lagoa anaeróbia na EXTRABES (7), com carga de 393 g/m³dia e com um tempo de detenção de apenas 0,8 dias, mostraram que tal lagoa alcançou reduções de DBO_5 entre 75% e 78%. Assim sendo, podemos seguramente esperar que também a lagoa A_1 tratará satisfatoriamente os esgotos concentrados. Os resultados apresentados anteriormente nos levam a concluir que a proposta apresentada por Mara (8) foi substancialmente verificada.

2. Os resultados apresentados na Tabela 4.17 mostram que a lagoa anaeróbia A_1 é altamente eficiente na remoção de compostos orgânicos. As remoções médias de DBO_5 e DQO são aproximadamente 73% e 70% respectivamente (comparadas com 95% e 83% respectivamente, para o sistema completo); devido ao alto grau de remoção de DBO_5 , a inclusão das lagoas anaeróbias num sistema de lagoas de estabilização resulta numa considerável economia de terra.

3. Os resultados experimentais obtidos com A_1 parecem confirmar a validade de aplicação da teoria de Marais e Shaw (10) para a determinação da DBO_5 nas lagoas de estabilização primárias, tratando esgoto doméstico de concentração média. Os valores 0,3 dia⁻¹ e 1,05 sugeridos por Mara (3), respectivamente para K a 20°C e θ na equação de Arrhenius, parecem justificados.

4. Os resultados experimentais obtidos com F_1 confirmaram as conclusões anteriores de que K (DBO_5) não permanece constante ao longo da série e que o método quantitativo mencionado não se aplica para a determinação da concentração de DBO nas lagoas secundárias.

5. Os resultados apresentados na Tabela 4.17 mostram que a série de três lagoas de maturação, cada lagoa com tempo de detenção entre 5 e 6 dias, pode reduzir a concentração de Coliformes fecais de $3,22 \times 10^5/100$ ml para muito menos de 100/100 ml, que é o padrão da OMS para a irrigação irrestrita (15).

6. Para a série completa de lagoas, verificamos que os valores de $K = 2,33 \text{ dia}^{-1}$ e $K = 2,73 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente para CF e EF, nos oferecem as melhores correlações experimentais.

Finalmente, constatamos a alta eficiência de um sistema de 5 lagoas de estabilização em série, para as condições climáticas do Nordeste do Brasil, as quais, totalizando um tempo de detenção hidráulico de 28,8 dias, reduzem a DBO_5 do esgoto bruto influente do valor médio de 294 mg/l para a média de 16 mg/l, e sua carga bacteriológica, do valor médio de $4,61 \times 10^7$ CF/100 ml para a média de 32,6 CF/100 ml, produzindo portanto um efluente final de ótima qualidade.

Outrossim, vale lembrar que nem sempre é necessária a obtenção de um efluente final de tão alta qualidade, dependendo obviamente da capacidade de diluição do corpo receptor. Neste caso, pode-se diminuir o número de lagoas da série ou, mantendo-se o mesmo número, diminuir-se o tempo de detenção total, o que resulta na diminuição do custo do sistema.

Pesquisas neste sentido continuam em andamento na EXTRA BES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. MARAIS, G. V. R., "Dynamic Behavior of Oxidation Ponds", Proceedings of the 2nd International Symposium on Waste Treatment Lagoons, Kansas City, Kans., 1970, pp 15-46.
02. MARA, D. D., "Sewage Treatment in Hot Countries", Overseas Building Notes, June 1977.
03. MARA, D. D., "Sewage Treatment in Hot Climates", John Wiley & Sons, Chichester, England, 1976.
04. VICTORETTI, B. A., "Contribuição ao Emprêgo de Lagoas de Estabilização como processo para depuração de esgotos domésticos", CETESB, São Paulo, 1973.
05. BRADLEY, R. M e ÁLVARES DA SILVA, M. O. S., "Stabilization Lagoons Including Experience in Brazil", Efluent and Water Treatment Journal, December 1976.
06. SILVA, S. A., "The Development of a Sewage Treatment Station in Brazil" presented at the Oxfam Conference on Sanitation in Developing Countries Today, Oxford, July 1977.
07. MARA, D. D. e SILVA, S. A., "Sewage Treatment in Waste Stabilization Ponds: Recent Research in Northeast Brazil", Progress in Water Technology, Vol II, Nº 1/2, 1979.
08. MARA, D. D., "Proposed Design for Oxidation Ponds in Hot Climates", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, April 1975.
09. MARA, D. D., SILVA, S. A. e CEBALLOS, B. S., "Design Verification for Tropical Oxidation Ponds", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, February 1979.

10. MARAIS, G. V. R e SHAW, V. A., "A Rational Theory for the Design of Sewage Stabilization Ponds in Central and South Africa", Transactions, South African Institution of Civil Engineers, Vol 13, Nº 11, 1961.
11. MARAIS, G. V. R., "New Factors in the Design, Operation and Performance of Waste Stabilization Ponds", Bulletin of the World Health Organization, Vol 33, 1966, pp 737-763.
12. MARAIS, G. V. R., "Faecal Bacterial Kinetics in Stabilization Ponds", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, February 1974.
13. MEIRING, P. G. J., DREWS, R. J. L. C., VAN ECK, H. e STANDER, G. J., "A Guide to the Use of Ponds Systems in South Africa for the Purification of Raw and Partially Treated Sewage", CSIR Special Report WAT 34, Pretoria, S. Africa, 1968.
14. SAWYER, C. N. e McCARTY, P. L., "Chemistry for Sanitary Engineers", McGraw-Hill, 1967.
15. World Health Organization Technical Report Series Nº 517, "Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards", World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1973.
16. Programa ML-08 (Zeros de Funções (Raízes)) da Biblioteca Geral de Programas da calculadora eletrônica (Texas Instruments, Mod. TI-59).