

COMPORTAMENTO DE COLIFORMES FECAIS AO LONGO DE UMA SÉRIE
DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS
TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO.

GERMANO DA CRUZ BARBOSA

COMPORTAMENTO DE COLIFORMES FECAIS AO LONGO DE UMA SÉRIE
DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS TRATANDO ESGOTO DOMÉ
TICO.

Dissertação apresentada ao Curso
de Mestrado em Engenharia Civil
da Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento as exigências
para a obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES:

Prof.^a ANNEMARIE KONIG - Ph.D.

Prof.^o RUI DE OLIVEIRA - M.Sc.

CAMPINA GRANDE - PB

1 9 8 9



B238c Barbosa, Germano da Cruz
 Comportamento de coliformes fecais ao longo de uma serie
 de lagoas de estabilizacao profundas tratando esgoto
 domestico / Germano da Cruz Barbosa. - Campina Grande,
 1989.
 70 f. : il.

 Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
 Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
 Tecnologia.

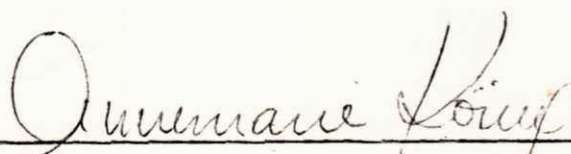
 1. Engenharia Sanitaria 2. Lagoas de Estabilizacao 3.
 Esgoto Domestico 4. Esgoto - 5. Coliformes Fecais - 6.
 Dissertacao I. Konig, Annemarie, Dra. II. Oliveira, Rui de,
 M.Sc. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande
 (PB) IV. Título

CDU 628.32(043)

COMPORTAMENTO DE COLIFORMES FECAIS AO LONGO DE UMA SÉRIE
DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS
TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO.

GERMANO DA CRUZ BARBOSA /

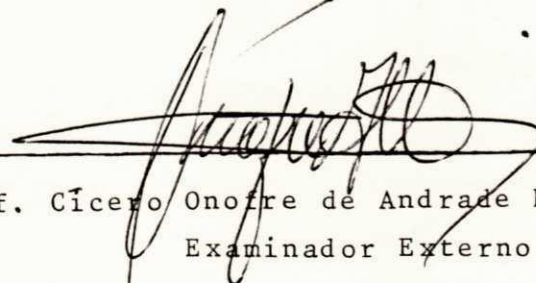
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof.^a Annemarie König - Ph.D.
Orientadora



Prof.^a Beatriz Susana Ovruski de Ceballos - M.Sc.
Examinador Interno



Prof. Cícero Onofre de Andrade Neto - M.Sc.
Examinador Externo

Campina Grande - PB

1989

AGRADECIMENTOS

Aos professores Annemarie Konig e Rui de Oliveira pelo espírito de dedicação, e pela orientação durante a pesquisa.

Ao professor Salomão Anselmo Silva - Chefe de pesquisa da EXTRABES.

A equipe da EXTRABES, em particular a José Taveira Leite, pela imprescindível colaboração durante o período em que foram realizados os Trabalhos de Campo.

Aos colegas Wellington, Ivete e particularmente Fátima, querida irmã e amiga, pela fraternidade apresentada durante o tempo de convivência no período da pesquisa.

A Fundação Universidade Regional do Nordeste-FURNE, pela indicação para a realização do mestrado.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, pela liberação durante o período dos Trabalhos de Campo.

Ao CNPq através do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - PDCT/Ne - pelo suporte financeiro durante a realização da pesquisa.

Aos seguintes órgãos convenientes da EXTRABES pelo suporte financeiro:

- Universidade Federal da Paraíba - UFPb

- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA
- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste -
SUDENE
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
Tecnológico - CNPq
- Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP
- Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico-Científica - FIPEC - Banco do Brasil S/A.

OFERECIMENTO*ANTO DA
KEDICATSKIA*

A minha esposa, filhos, mãe e irmãos pelo apoio e solidariedade nas horas mais difíceis deste trabalho.

Ao meu pai "in memorium" pela orientação e ensinamentos ministrados em minha vida a mim e a meus irmãos, abrindo os nossos espíritos ao caminho da luz e da verdadeira fraternidade humana.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o estudo da distribuição de coliformes fecais ao longo da coluna d'água de uma série de lagoas de estabilização profundas, tratando esgoto doméstico bruto do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande - Pb.

A pesquisa foi realizada em um sistema experimental, em escala piloto, constituída de 05 (cinco) unidades em série: 01 (uma) lagoa anaeróbia (A_7), seguida de 01 (uma) facultativa (F_9) e 03 (três) lagoas de maturação (M_7 , M_8 e M_9). Os reatores investigados apresentavam cargas orgânicas superficiais entre 52 e 475 kgDBO₅/ha.dia, e profundidade de 2,20 m, com exceção do último reator (M_9), que tinha 2,25 m de profundidade. O sistema experimental estava localizado na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), na cidade de Campina Grande ($35^{\circ}52'31''O$) ($7^{\circ}13'11''S$), Paraíba, Brasil.

Os trabalhos de campo foram realizados no período de 22/03/87 à 05/11/87, dando continuidade a estudos de caracterização da coluna líquida em lagoas profundas, iniciado em 1985. Foram realizados experimentos semanais com duração de 24 horas, sendo as coletas realizadas a cada 04 horas. Os parâmetros analisados em amostras coletadas ao longo da coluna líquida foram coliformes fecais, pH, temperatura, oxi

gênio dissolvido, clorofila a e identificação e contagem dos gêneros de algas.

Durante os experimentos, as densidades de coliformes fecais ao longo da coluna líquida foram observadas durante o dia e a noite. As variações de clorofila a neste estudo foram significativas, principalmente em F₉, M₇ e M₈. Variações de pH e oxigênio dissolvido foram observadas ao longo da profundidade, o que foi atribuída as atividades das algas. Finalmente, foi observado que estes parâmetros influenciaram o número de coliformes fecais em cada reator.

Os gêneros de algas flageladas Euglena, Pyrobotrys e Chlamydomonas estiveram presentes nos cinco reatores da série, enquanto que outros gêneros, apareceram esporadicamente nas lagoas.

Com exceção da lagoa anaeróbia A₇, as concentrações mínimas de coliformes fecais comparadas às máximas, à 5 cm de profundidade, estavam sempre relacionadas aos maiores valores de pH e oxigênio dissolvido, e aos menores valores de clorofila a. Por outro lado, nas camadas mais profundas (195 cm) não houve uma relação clara entre o mínimo de coliformes fecais e os parâmetros físico-químicos e algológicos.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the distribution of faecal coliformes along the column of a series of deep waste stabilization ponds, treating the raw domestic drainage of the sewerage system of Campina Grande, Pb.

The research was carried out in a series of scale experimental ponds in series: 01 (one) anaerobic pond (A_7), followed by 01 (one) facultative (F_9) and 03 (three) maturation ponds (M_7 , M_8 and M_9). The reactors which were investigated had superficial organic loadings between 52 and 475 $\text{kgBOD}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, and a depth of 2,20 m, except the M_9 , which had 2,25 m. The experimental system was located in the Experimental Station for Biological Treatments of Sanitary Drainages (EXTRABES), in Campina Grande ($35^{\circ}52'31''\text{O}$) ($7^{\circ}13'11''\text{S}$), Paraíba, Brazil.

Investigations were conducted between 22/03/87 and 05/11/87, and involved examining the column samples in deep ponds, started in 1985. Weekly samples were examined with 24 hours profiles; the samples being collected in intervals of 04 hours. The parameters analysed in samples collected along with the column samples of the ponds were faecal coliforms, pH, temperature, dissolved oxygen, chlorophyll a and identification and enumeration of the algae genera.

During the experiments, the behaviour of the faecal coliforms along the water column was observed during the day and night. The variation of chlorophyll a in these studies were significant, mainly in F₉, M₇ and M₈. Variations in pH and dissolved oxygen were observed along the column samples, this was attributed to the algal activities. Finally, it was observed that these parameters influenced the numbers of faecal coliforms in each reactor.

The flagellated algal genera Euglena, Pyrobotrys and Chlamydomonas were present in the series, whereas others species were sporadically noticed.

Excepting A₇ anaerobic pond, the minimum concentration of faecal coliform compared to the maximum values, at 5 cm deep were always related to the maximum values of pH, dissolved oxygen and to the minimum values of chlorophyll a. On the other hand, in the deeper layers (195 cm) there was no clear relationship between the minimum of the faecal coliform and the physical-chemical and algological parameters.

ÍNDICE

	Página
- AGRADECIMENTOS	iv
- OFERECIMENTO	vi
- RESUMO	vii
- ABSTRACT	ix
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - Introdução	4
2.2 - As Bactérias do Grupo Coliforme	8
2.3 - Algas	11
2.4 - Fatores que Influenciam o Decaimento de <u>Co</u> liformes Fecais em Lagoas de Estabilização.	13
2.4.1 - Produção e excreção de toxinas <u>pe</u> las algas	13
2.4.2 - Ação de bacteriófagos e <u>protozoá</u> rios predadores	14
2.4.3 - pH elevado	15
2.4.4 - Concentrações baixas de CO ₂	17
2.4.5 - Concentrações elevadas de O ₂	17
2.4.6 - Ação da luz solar	19
2.4.7 - Tempo de detenção hidráulica	21
2.4.8 - Sedimentação	21
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 - Descrição do Sistema Experimental	23

3.2 - Metodologia da Pesquisa	24
3.2.1 - Descrição dos trabalhos de campo ..	24
3.2.2 - Procedimento de coleta de amostras e de medição de temperatura na colu na de água das lagoas	26
3.2.3 - Parâmetros levantados ao longo da profundidade das lagoas	28
3.2.3.1 - Coliformes fecais	28
3.2.3.2 - pH	28
3.2.3.3 - Oxigênio dissolvido	28
3.2.3.4 - Temperatura	29
3.2.3.5 - Clorofila <u>a</u>	29
3.2.3.6 - Identificação e contagem de algas	29
3.3 - Métodos Analíticos	29
3.3.1 - Coliformes fecais	29
3.3.2 - pH	30
3.3.3 - Oxigênio dissolvido	30
3.3.4 - Temperatura	30
3.3.5 - Clorofila <u>a</u>	31
3.3.6 - Identificação e contagem de algas .	32
3.3.7 - Radiação solar	32
3.3.8 - Velocidade do vento	33
4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
4.1 - Meteorologia	38
4.2 - Identificação e Contagem de Algas	39
4.3 - Concentração Mínima e Máxima de Coliformes	

Página

Fecais nos 18 Experimentos	44
4.4 - Variações nos Coliformes Fecais à 5 e 195 cm de Profundidade	47
- CONCLUSÃO	50
- SUGESTÕES	52
- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

TEXTO

VISÃO GERAL DA RESPOSTA

1 - INTRODUÇÃO

Lagoas de estabilização são reservatórios usados para depuração de águas residuárias, principalmente onde ocorre oxidação biológica na qual tomam parte, bactérias decomponda a matéria orgânica e as algas como os principais elementos fornecedores do oxigênio indispensável à respiração aeróbia.

O uso de lagoas de estabilização no tratamento de esgotos domésticos tem sido, atualmente, muito frequente, principalmente onde existem áreas de terreno disponível para a sua construção e clima favorável para uma boa eficiência do processo biológico que ocorre no interior do reator. Lagoas de estabilização são usadas notadamente para pequenas e médias comunidades, pelo seu baixo custo, alta eficiência e fácil operação e manutenção. A grande desvantagem associada a utilização de lagoas é a grande extensão de terra normalmente necessária à implantação de sistemas de lagoas de estabilização. Economia de terreno através do aumento da profundidade dos reatores tem sido considerada como uma possibilidade interessante (ENGELBERG REPORT, 1985). A EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários), há alguns anos, vem investigando o uso de lagoas profundas no tratamento de esgotos do sistema de Campina Grande - Pb, utilizando reatores em escala piloto. Este trabalho foi levado a efeito nas instalações da EXTRABES,

no período de 22/03/87 à 05/11/87, dando continuidade a estudos de caracterização da coluna líquida de lagoas de estabilização profundas, iniciado em 1985. A pesquisa foi realizada numa série de 05 (cinco) lagoas de estabilização profundas em escala piloto, dando ênfase à distribuição de coliformes fecais ao longo da coluna líquida e as possíveis correlações com biomassa de algas.

Coliformes fecais são bacilos, Gram negativos, cujo habitat natural é o intestino do homem e de animais de sangue quente. São indicadores de contaminação com fezes e sua presença num determinado ambiente aquático é indicativo de provável presença de organismos patogênicos de origem fecal.

Vários fatores podem afetar a redução de coliformes fecais em ambientes aquáticos, entre os quais destacam-se:

- a) mortalidade induzida por luz
- b) mortalidade induzida por pH
- c) mortalidade devido a falta de nutrientes
- d) remoção por sedimentação
- e) altas concentrações de oxigênio dissolvido
- f) substâncias tóxicas excretadas por algas.

A massa líquida de uma lagoa de estabilização experimental modificações acentuadas em suas características físico-químicas e biológicas no ciclo diário às quais os organismos vivos são expostos por algum tempo. Desse modo, a coleta de amostras a intervalos regulares, num mesmo ponto da massa líquida, pode revelar a existência de várias concentrações

trações de por exemplo, coliformes fecais coexistindo com condições ambientais diversas.

O objetivo deste trabalho é estudar a distribuição de Coliformes fecais na massa líquida de lagoas em série, correlacionando-a às principais variações de condições ambientais ocorridas na coluna de água.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

O desenvolvimento das grandes cidades trouxe consigo profundas modificações no meio ambiente. Uma delas é a poluição de açúdes, rios, lagos e oceanos com águas residuárias domésticas sem tratamento prévio. Estas águas poluídas são um veículo de transmissão de doenças porque contém um grande número de microrganismos patogênicos (vírus e bactérias, protozoários e helmintos) provenientes das fazes de animais e pessoas doentes. O quadro 2.1 apresenta as doenças bacterianas de veiculação hídrica mais frequentes e seus agentes etiológicos.

A redução da poluição dos corpos receptores é uma condição indispensável ao controle destas doenças e o tratamento das águas residuárias se torna imprescindível à saúde das comunidades.

O tratamento dos esgotos pode ser feito através de várias maneiras e as vantagens/desvantagens de alguns dos processos são mostradas no quadro 2.2.

O uso de lagoas de estabilização no tratamento de águas residuárias oferece um grande número de vantagens exceto a necessidade de grandes áreas de terra para sua construção.

BACTÉRIAS	DOENÇAS
<u>Campylobacter fetus ssp jejuni</u>	Diarréia
<u>Escherichia coli patogênica(a)</u>	Diarréia
<u>Salmonella</u>	
<u>S. typhi</u>	Febre tifoide
<u>S. paratyphi</u>	Febre paratifoides
Outras salmonelas	Alimento envenenado e outras salmoneloses.
<u>Shigella spp</u>	Disenteria bacilar
<u>Vibrio</u>	
<u>Vibrio cholerae</u>	Cólera
Outros vibrios	Diarréia
<u>Yersinia enterocolitica</u>	Diarréia e septicemia

Quadro 2.1 - Bactérias patogênicas excretadas nas fezes.

(Feachem et alii, 1983).

(a) Incluindo E. coli, enterotoxigênica, enteroenvasiva, enteropatogênica e enterohemorrágica.

Quadro 2.2 - Vantagens e desvantagens de vários sistemas de tratamento de esgotos (Arthur, 1982, citado por König, 1984).

Critérios	Lodo ativado	Filtro biológico	Sistema de lagoa aerada	Sistema de lagoas de estabilização (incluindo unidades anaeróbicas)	Sistema de lagoas de estabilização (excluindo lagoas anaeróbicas).
Remoção de DBO_5	**	**	***	***	***
Remoção de CF	*	*	***	***	***
Remoção de SS	***	***	**	**	**
Remoção de helmintos	**	*	**	***	***
Remoção de vírus	**	*	***	***	***
Possibilidade de reuso do efluente	*/a	*/a	***	***	***
Construção simples e barata	*	*	*	***	***
Operação simples	*	**	*	***	***
Remoção de terra	***	***	**	**	*
Custos baixos de manutenção	*	**	*	***	***
Demanda de energia	*	**	*	***	***
Pouco lodo para remover	**/b	**/b	**	***	***

a) Os efluentes de lodos ativados, e filtros biológicos tem frequentemente, altos níveis de amônia (5mg/l) e altas concentrações de bactérias fecais e usualmente não são aconselhados para irrigação ou criação de peixe sem tratamento terciário.

b) Assumir a provisão dos digestores de lodo.

Chave: *** bom; ** regular; * pobre.

Segundo Azevedo Netto et alii (1975), a origem das lagoas de estabilização foi casual em consequência de uma descarga, acidental ou não, de matéria orgânica num lago natural. Este acontecimento despertou o interesse dos engenheiros sanitários da época, por ser uma solução simples e eficaz para o tratamento de águas residuárias de cidades de pequeno e médio porte.

As lagoas de estabilização são grandes reservatórios, delimitados por taludes, onde as águas residuárias são descarregadas e aí permanecem por certo tempo. O tratamento do esgoto se dá através de processos naturais envolvendo principalmente bactérias e algas (Mara, 1976) e os principais tipos de lagoas são as anaeróbias, facultativas e de maturação.

Nas lagoas anaeróbias, a degradação da matéria orgânica é feita na ausência de oxigênio dissolvido pelas bactérias acidogênicas e metanogênicas. As primeiras convertem os compostos orgânicos complexos presentes no esgoto em compostos mais simples, principalmente o ácido acético. As bactérias metanogênicas usam estes compostos simples como substrato, convertendo-os para metano e dióxido de carbono. O bom funcionamento de lagoas anaeróbias depende do equilíbrio entre as populações de bactérias acidogênicas e metanogênicas, da temperatura, que deve permanecer acima de 15 °C e de um pH entre 6,8 e 7,4 (Silva e Mara, 1979).

A degradação da matéria orgânica em lagoas facultati

vas é realizado por bactérias anaeróbio-facultativas e anaeróbias sendo que os processos aeróbios ocorreriam predominantemente na superfície e os anaeróbios no fundo da lagoa. O fosfato, a amônia e o dióxido de carbono, formados a partir da atividade bacteriana sobre a matéria orgânica, favorecem o aparecimento de algas. Estas, através da fotossíntese, produzem oxigênio que fica disponível às bactérias aeróbias e permite que mais matéria orgânica seja oxidada.

As lagoas de maturação têm como principal objetivo a redução de microrganismos patogênicos presentes no esgoto. Os vírus e bactérias são rapidamente eliminados pois o meio aquático é extremamente adverso enquanto que os cistos e ovos de parasitos são removidos por sedimentação até o fundo das lagoas e lá permanecendo até morrerem (Mara, 1976).

2.2 - As Bactérias do Grupo Coliforme

A avaliação da poluição bacteriana em água, ocasionada pelo lançamento de esgotos não tratados assim como a eficiência de sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização pode ser feita através da quantificação de bactérias indicadoras. Uma bactéria para ser considerada boa indicadora da contaminação fecal deve possuir as seguintes características (Feachen et alii, 1983):

- (a) fazer parte da flora intestinal de indivíduos saudios;
- (b) não causar doença;

- (c) estar presente somente nas fezes;
- (d) estar ausente no meio ambiente;
- (e) não se dividir fora do intestino;
- (f) estar presente sempre que bactérias patogênicas estiverem presentes;
- (g) estar presente em número maior que as bactérias patogênicas;
- (h) ser de fácil detecção e quantificação;
- (i) ter taxa de mortalidade igual ou pouco maior que as bactérias patogênicas.

Estas características não são pertinentes a nenhuma bactéria mas três grupos satisfazem alguns destes requisitos: os coliformes (totais e fecais), os estreptococos fecais e Clostridium perfringens.

Há mais de 80 anos, as bactérias do grupo coliforme vem sendo utilizadas como indicadores da presença de poluição fecal em mananciais de água para o consumo humano e mais recentemente no tratamento de esgoto, onde são mundialmente utilizados. Seu uso, como indicadores fecais, se baseia no fato das fezes conterem aproximadamente 9×10^9 coliformes/g, sendo parte da flora normal. Os coliformes, que são eliminados nas fezes juntamente com os microrganismos patogênicos, são de fácil detecção, enquanto que os patogênicos, além do número reduzido nas fezes, requerem técnicas e pessoal especializado para sua quantificação.

A presença, na água, das bactérias do grupo coliforme representa uma indicação da contaminação fecal das águas e

da provável presença de bactérias patogênicas. As bactérias do grupo coliforme são bastonetes Gram-negativos, aeróbios ou anaeróbio-facultativos que fermentam lactose após 24 horas a 37°C. Sua quantificação é fácil ou através do teste de tubos múltiplos ou através da técnica da membrana filtrante que fornece resultados mais precisos e rápidos em 24 horas ao contrário das 72 horas necessárias pela técnica de tubos múltiplos.

As bactérias do grupo coliforme pertencem a dois subgrupos: os coliformes totais e os coliformes fecais. Pertencem ao subgrupo dos coliformes totais as bactérias do gênero Escherichia, Citrobacter, Enterobacter. Somente E. coli é de origem exclusivamente fecal enquanto que os outros gêneros são encontrados no solo, na água e vegetais não poluídos. Nas fezes de animais de sangue quente, E. coli representa 90% dos coliformes totais presentes. A importância dos coliformes totais ficou restrita atualmente apenas para o tratamento de água, ou seja, para água potável (tratada e desinfetada) os coliformes totais devem estar ausentes. A presença destas bactérias indica alguma falha ou na estação de tratamento, ou no reservatório ou na rede de distribuição. Na bacteriologia de esgotos eles não tem importância porque muitos são de origem não fecal podendo se multiplicar no meio sob condições adequadas (Feachen et alii, 1983).

A presença na água de bactérias do subgrupo dos coliformes fecais e particularmente a Escherichia coli permite afirmar com certeza se uma determinada água recebeu poluí

ção de origem fecal. Quanto maior o número de coliformes fecais numa amostra de água maior será a probabilidade de presença de bactérias patogênicas nessa água.

A diferenciação entre os coliformes totais e os fecais é feita a partir da característica que os últimos podem fermentar a lactose à 44,5°C com produção de gás e de produzir indol (à mesma temperatura) a partir do aminoácido triptofano (Report 71).

2.3 - Algas

Em lagoas de estabilização fotossintéticas, as algas são as principais responsáveis pela oxigenação da massa líquida fornecendo o oxigênio necessário para as oxidações biológicas e químicas. As bactérias, quando degradam a matéria orgânica presente no esgoto, liberam o CO₂ que constitui o principal substrato da fotossíntese das algas, que irá produzir mais oxigênio. Esta interdependência entre os dois grupos de microrganismos caracteriza uma relação mutualística entre eles.

A atividade fotossintética das algas, durante as horas iluminadas do dia, modifica as características da massa líquida das lagoas afetando o comportamento dos coliformes fecais. A elevação do pH, é uma delas e tem grande importância na redução dos coliformes fecais (Parhad e Rao, 1974). Esta elevação ocorre porque a disponibilidade de CO₂, gera

do pela atividade bacteriana, é menor do que aquela necessária para as algas. Como consequência, há a dissociação dos íons bicarbonato com a liberação de íons hidroxilas, os quais são responsáveis pelo aumento do pH. A outra modificação da massa líquida devido à ação das algas se refere as altas concentrações de oxigênio dissolvido que também criam condições desfavoráveis à sobrevivência dos coliformes.

Pearson e Silva, (1979) sugeriram que os coliformes fecais, sendo microrganismo anaeróbio-facultativos, seriam sensíveis a altas concentrações de oxigênio. Esta sensibilidade poderia ocasionar ou a morte destas bactérias ou sua movimentação para locais onde a concentração de oxigênio dissolvido fosse menor.

A redução do número de bactérias entéricas (Enterobacter, Escherichia e Serratia) e Pseudomonas é função da diversidade das algas presentes segundo os trabalhos de Davis e Gloyne (1972). Estes autores mostraram em estudos de laboratório que a redução de E. coli foi pequena quando na presença de uma cultura axênica de Chlorella. Uma redução maior foi observada quando a uma única espécie de bactéria se juntava uma população heterogênea de algas. Esta situação se aproxima bastante do ambiente natural como no caso de lagoas de maturação.

2.4 - Fatores que Influenciam o Decaimento de Coliformes Fecais em Lagoas de Estabilização

Vários fatores são citados na literatura como sendo os responsáveis no decaimento dos coliformes fecais em lagoas de estabilização:

- (1) produção e excreção de toxinas pelas algas;
- (2) ação de bacteriófagos e protozoários predadores;
- (3) pH elevado;
- (4) concentrações baixas de CO_2 ;
- (5) concentrações elevadas de O_2 ;
- (6) ação da luz solar;
- (7) tempo de detenção hidráulica;
- (8) sedimentação.

2.4.1 - Produção e excreção de toxinas pelas algas

Pratt et alii (1944) estudando no laboratório o crescimento de Chlorella vulgaris e Chlorella pyrenoidosa em meio de cultura inorgânica, concluíram que estas algas produzem e excretam uma substância inibidora à proliferação de bactérias, que foi chamada de Chlorelina. As propriedades antibacterianas da Chlorelina eram eficazes contra bactérias Gram positivas e negativas e as bactérias susceptíveis estudadas foram Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenes, Bacillus subtilis, Escherichia coli e Pseudomonas aeruginosa.

Estudos posteriores realizados por Telutchenk e To
dorov (1962) citados por Davis e Gloyna (1972) confirmaram
que Chlorella vulgaris liberava uma substância antibacteriana
na provocando a morte de bactérias em culturas mistas de al
gas e bactérias. Entretanto, foi sugerido por Konig (1984)
que em lagoas de estabilização, a produção e excreção pelas
algas de substâncias antibacterianas ocorreriam somente du
rante os períodos de elevada atividade metabólica da popula
ção de algas.

Já Pearson et alii (1987) em estudos realizados em
lagoas de estabilização sobre o decréscimo populacional de
E.coli, concluiu que a taxa de mortalidade de coliformes fe
cais não precisa necessariamente ser atribuída nem a produ
ção de substâncias antibacterianas nem ao antagonismo bacte
riano mas sim aos elevados valores do pH resultantes também
da atividade fotossintética das algas (Veja item 2.4.3).

2.4.2 - Ação de bacteriófagos e protozoários predado res

Segundo Branco (1978) os protozoários são microrga
nismo unicelulares de vida livre, ou parasitas. Os protozoá
rios de vida livre mais comuns são as amebas (Amoeba sp),
os flagelados (ex. Peranema sp) e os ciliados (ex. Parame
cium sp).

No tratamento de esgotos ou em corpos receptores que
recebem águas residuárias, a presença de um grande número

de bactérias é acompanhada de um crescimento muito grande de protozoários ciliados. Estes, pelo fato de se alimentarem de bactérias são responsáveis pelo decaimento significativo desta população.

Quase todas as bactérias servem de hospedeiro para um ou mais virus, também conhecidos como bacteriófagos. Estes penetram na célula bacteriana através ou da superfície celular ou de apêndices (flagelo ou pili). Uma vez no interior da célula, os bacteriófagos replicam seu material genético e após um período que varia entre 15 minutos a 1 hora (Stanier et alii, 1977) ocorre a lise da célula infectada com a liberação um grande número de novos bacteriófagos e o processo de infecção de novas células é reiniciado.

A ação dos bacteriófagos sobre E. coli é a mais bem estudada e no caso de lagoas de estabilização, os bacteriófagos podem ser considerados como fatores importantes na eliminação dos coliformes fecais (Pretorius, 1962 e Loedolft, 1965, citados por Smallman, 1986).

2.4.3 - pH elevado

A eliminação de coliformes fecais e bactérias patogênicas devido à elevação do pH foi estudada no campo e com detalhes no laboratório por Parhad e Rao (1974). No laboratório foram feitos experimentos onde o crescimento de E. coli, em esgoto doméstico estéril, foi observado na presen

ça e ausência de vários gêneros de algas. Na ausência de algas a população de E. coli após 8 dias era de aproximadamente $10^6/100$ ml. Já na presença ou de Chlorella ou de Scenedesmus ou de Synechocystis, que se desenvolveram muito bem no esgoto estéril, houve um aumento do pH de 7,5 até 10,5, o qual provocou a eliminação de E. coli após o 5º dia. Para verificar melhor o efeito do pH na eliminação de E. coli, o crescimento de E. coli junto com Chlorella, foi observado em esgoto estéril não tamponado e tamponado a pH de 7,5. Em esgoto não tamponado, o pH chegou até 10,4 e E. coli foi eliminada após o 6º dia. Entretanto no esgoto tamponado, onde o pH foi mantido em 7,5, a presença de Chlorella não prejudicou o crescimento de E. coli.

Os trabalhos de Parhad e Rao (1974) no campo consistiram em coletas, a cada 2 horas, do efluente de dois sistemas de lagoas de estabilização em Bhilai e Bhandak na Índia. Na primeira o pH do efluente variou entre 8,9 a 10,2 enquanto que na segunda a variação era de 9,0 a 10,0. Em ambos os sistemas o aumento do pH a valores iguais ou superiores a 10,0 ocasionava uma diminuição da concentração de E. coli no efluente das lagoas.

Pearson et alii (1987), além de confirmarem os resultados obtidos por Parhad e Rao (1974) sugeriram que, no período diurno, os valores de pH próximos ou maiores que 9,0 já desempenhariam um papel importante na aceleração da morte dos coliformes fecais em lagoas de estabilização, especialmente sob condições nutricionais deficientes.

Na França, Troussellier et alii (1986) monitoraram o efluente e a massa líquida de várias lagoas em série, durante dois anos e apesar do pH nunca ter atingido valores acima de 9,0 (por causa da hora da coleta às 10 horas), concluíram que este parâmetro exercia papel importante no decaimento das bactérias fecais. Através da análise estatística detalhada dos resultados obtidos estes autores concluíram que a máxima eliminação de coliformes fecais ocorria quando o pH, a biomassa de algas e a energia radiante era máxima também.

2.4.4 - Concentrações baixas de CO₂

A diminuição de CO₂ presente em águas naturais devido a atividade fotossintética das algas é sugerido por Gray (1975) como fator importante na redução de E. coli e outras bactérias pois sendo um metabólito importante para o crescimento de E. coli (Meyrrel e Meyrrel, 1970 citado por Gray, 1975) sua ausência afetaria este processo. No entanto Troussellier et alii (1986) afirmam que a diminuição do CO₂, nos períodos de fotossíntese intensa, torna o meio aquático mais alcalino e conseqüentemente mais inóspito as bactérias coliformes.

2.4.5 - Concentrações elevadas de O₂

Pearson e Silva (1979) estudando as variações da den

sidade de coliformes fecais com as concentrações de oxigênio dissolvido nos efluentes de lagoas facultativas e de maturação, verificaram que havia uma relação indireta entre estes dois parâmetros. Eles observaram que na lagoa facultativa havia um gradiente de oxigênio dissolvido até 25 cm de profundidade mas somente nos primeiros 10 cm, a concentração de oxigênio era elevada. Este gradiente provocaria uma movimentação das bactérias à profundidades onde as concentrações de oxigênio fossem menores, numa região muito abaixo do ponto de descarga do efluente. Este fenômeno justificaria o número reduzido de bactérias no efluente quando a concentração de oxigênio era elevada.

A redução de coliformes fecais de até uma ordem de grandeza foi também observada por König (1984), durante as horas iluminadas do dia, no efluente de uma lagoa facultativa, quando as concentrações de oxigênio dissolvida (acima de 20 mg/l) e biomassa de algas era alta. Em lagoas de maturação esta relação não foi tão evidente.

Para Smallman (1986), a mortalidade de coliformes fecais aumentaria, num período de 24 horas, quando altas concentrações de oxigênio dissolvido estivessem associadas a valores de pH igual a 9,0 e temperatura de 30°C. A redução do pH na faixa entre 7,0 e 8,0 implicaria na diminuição da taxa de decaimento dos coliformes.

2.4.6 - Ação da luz solar

O efeito positivo da luz solar sobre o decaimento de coliformes fecais, em águas doces e marinhas foi estudado por Gameson e Saxon (1967). Através da imersão de frascos de vidro que continham uma mistura de água residuária e/ou água doce ou do mar à profundidades de até 4 m, observaram que a taxa de mortalidade dos coliformes fecais era diretamente proporcional a quantidade de radiação solar de ondas curtas, recebida pelas amostras.

O comportamento de bactérias coliformes em águas marinhas foi estudada com detalhes por Fujioka et alii (1981) que observaram a inativação destas bactérias após poucas horas de exposição à luz solar. Os experimentos foram feitos na presença e ausência de luz solar com a utilização de esgoto doméstico diluído ou com água do mar ou solução tampoadada de água fosfatada, na proporção de 1:1000 à temperatura de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A sobrevivência dos coliformes e estreptococos fecais foi nitidamente afetada pela luz solar. Na sua presença, 90% dos coliformes e estreptococos fecais foram inativados no decorrer de 30 a 90 minutos e 60 a 80 minutos respectivamente. Na ausência de luz solar estas bactérias sobreviveram por vários dias. Quando o mesmo esgoto foi diluído com água doce, o efeito bactericida da luz solar ficou bastante reduzido. Desta maneira, ficou demonstrado que, em água do mar, o fator controlador da sobrevivência dos coliformes e estreptococos fecais é a presença de luz solar.

Os mesmos autores, realizaram experimentos no mar, em dias ensolarados a profundidades de 0,90 m e 3,3 m. Eles verificaram que a 0,90 m a inativação após 04 horas de imersão dos coliformes fecais e estreptococos foi superior à 99%. Na profundidade de 3,3 m, após 05 horas de imersão, houve a inativação de 99,9% dos coliformes fecais e 99% dos estreptococos. Entretanto, nos controles mantidos sob condição de escuridão, estas bactérias não foram afetadas.

O efeito bactericida da luz solar sobre a população de coliformes fecais presentes em lagoas de estabilização foi estudada por Moeller e Calkins (1980) durante o verão. Eles observaram uma redução de até 90%, em amostras coletadas junto à superfície da lagoa, expostas ao sol por 30 minutos. Em lagoas de estabilização, a penetração de luz no interior da massa líquida é muito limitada e James (1987) nos seus estudos sobre a redução de bactérias fecais, descartou a ação da luz solar como mecanismo na inativação de coliformes fecais.

2.4.7 - Tempo de detenção hidráulica

Em lagoas de estabilização o tempo de detenção hidráulica influencia diretamente na eficiência de remoção dos microrganismos patogênicos. Mara et alii (1983) estudando uma série de lagoas cujo tempo de detenção total era de 29,1 dias, observaram uma redução dos coliformes fecais de 99,99993%. Quando esta mesma série foi submetida a tempos

de detenção total de 8,5 e 17 dias, as eficiências de remoção diminuíram respectivamente para 99% e 99,96% (Silva, 1983). Em 4 lagoas facultativas primárias estudadas por Silva (1983), a remoção de coliformes fecais é influenciada pelo tempo de detenção hidráulica, ou seja, eficiências de remoção de coliformes fecais entre 98,7 e 99,4% eram observadas respectivamente para 9,5 e 18,9 dias de detenção. Quando estas mesmas lagoas tiveram o seu tempo de detenção reduzido para 6,3 esta remoção variou entre 94 e 96%.

Parker (1962) pesquisando a redução de E. coli e S. faecalis, em lagoas de estabilização nos E.U.A., sugeriu que além do tempo de detenção, a temperatura exerceu influência sobre a redução de 99,9% das bactérias estudadas.

2.4.8 - Sedimentação

Em lagoas de estabilização ou em reatores sujeitos à deposição de partículas, a remoção de coliformes fecais é bastante influenciada pela sedimentação. Na Extrabes, a redução de 47% dos coliformes fecais, foi observada em um decantador após uma hora de sedimentação (Soares, 1985). O aumento do tempo de sedimentação para 24 horas em sistemas de decantação, aumentou a percentagem de redução de coliformes para 90% (Branco, 1978). No entanto, James (1987) afirma que em sistemas de lagoas, o reator anaeróbio (quando presente), funciona como um tanque de sedimentação primário

propiciando uma redução de até 50% das bactérias presentes no esgoto.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Descrição do Sistema Experimental

Os experimentos foram realizados na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), na cidade de Campina Grande, Paraíba. Foi utilizado um sistema piloto, composto de cinco lagoas de estabilização profundas, com tempo de detenção hidráulica total de 40 dias. A primeira lagoa era uma lagoa anaeróbia (A_7), seguida de uma lagoa facultativa secundária (F_9) e três (03) lagoas de maturação (M_7 , M_8 e M_9). As características físicas e operacionais do sistema experimental são mostradas no quadro 3.1. A lagoa anaeróbia (A_7) era alimentada por esgoto bruto do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande, através de uma bomba peristáltica de velocidade variável (WATSON MARLOW, FALMOUTH-ENGLAND, modelo HRSV), que retirava o esgoto bruto de um tanque de nível constante situado na casa de bombas, que por sua vez era alimentado por uma bomba submersa do tipo Flygt com motor de 1,2 HP e 873,8 g instalada em um poço úmido, construído em anexo a um poço de visita do Interceptor da Depuradora. O excesso de esgoto do tanque de nível constante retornava ao poço úmido por gravidade. A lagoa facultativa secundária era alimentada com o efluente da lagoa (A_7), e assim sucessivamente para as demais lagoas. O efluente da lagoa M_9 era

descarregado para um riacho que atravessa o terreno da EX
TRABES, denominado Riacho da Depuradora. O afluente de ca
da lagoa do sistema piloto era descarregado no reator atra
vês de uma tubulação de PVC de 75 mm cuja extremidade fi
nal ficava a 50 cm do fundo da lagoa de modo a permitir um
fluxo de baixo para cima no sentido afluente-efluente. As
lagoas que constituíam o sistema piloto eram do tipo pro
fundo, e foram construídas em alvenaria, tendo suas pare
des revestidas interna e externamente com argamassa de ci
mento e areia. O fundo de cada lagoa recebeu o mesmo reves
timento. As figuras 3.1 e 3.2 ilustram esquematicamente o
sistema experimental.

3.2 - Metodologia da Pesquisa

A pesquisa teve como objetivo o estudo do comporta
mento de coliformes fecais ao longo da profundidade de um
sistema de lagoas de estabilização profundas em série.

Para a avaliação de tal estudo foi necessário o le
vantamento de um conjunto de parâmetros que possivelmente
exercem influência na sobrevivência e morte de coliformes
fecais, nos diversos níveis ao longo da profundidade das
lagoas.

3.2.1 - Descrição dos trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram iniciados no dia 22 de

março de 1987 e encerrados em 05 de novembro de 1987, per fazendo um total de 18 experimentos de frequência semanal distribuídos da seguinte maneira para os 05 (cinco) reato res da série:

- 02 experimentos para a lagoa A₇
- 04 experimentos para a lagoa F₉
- 04 experimentos para a lagoa M₇
- 04 experimentos para a lagoa M₈
- 04 experimentos para a lagoa M₉

Cada experimento tinha a duração de 24 horas com co leta de amostras a cada 04 (quatro) horas e em 10 (dez) dis tintos níveis da coluna líquida. Durante a coleta de amos tras, eram feitas leituras da temperatura (ao longo da pro fundidade do reator), além da velocidade do vento e da ra diação solar acumulada, na estação meteorológica anexa ao sistema experimental. Paralelamente à coleta de amostras, um relatório de coleta era redigido incluindo-se no mesmo, informações sobre as condições climáticas, o estado da su perfície da lagoa assim como a discriminação daqueles ní veis característicos do perfil de biomassa de algas. A co leta de amostras era levada a efeito em três séries distin tas de frascos: uma para a determinação de parâmetros físi co-químicos (oxigênio dissolvido e pH), outra para a determin ação da biomassa de algas e uma última para a enumera ção de coliformes fecais a qual era procedida com o uso de frascos previamente esterilizados. Após a coleta, as amos tras eram encaminhadas aos diferentes laboratórios da EX

TRABES para as devidas análises. Apesar de cada série de frascos consistir de 10 (dez) amostras coletadas, apenas 05 (cinco) eram analisadas na enumeração de coliformes fecais e biomassa de algas (níveis 5 cm, 195 cm, e três amostras que eram escolhidas de acordo com um critério visual; das dez amostras coletadas eram escolhidas as três que apresentavam biomassa de algas). Para oxigênio dissolvido e pH todas as 10 (dez) amostras coletadas eram analisadas.

Resumidamente, cada experimento pode ser descrito como constando de 07 (sete) horários de trabalho ao longo de um período de 24 horas (06 h₁, 10 h, 14 h, 18 h, 22 h, 02 h e 06 h₂) nos quais ocorriam operações de coleta de amostras, medição de temperatura e de parâmetros meteorológicos e análises de amostras.

3.2.2 - Procedimento de coleta de amostras e de medição de temperatura na coluna de água das lagoas

A coleta de amostras e medição de temperatura na coluna líquida da lagoa foram realizadas com os equipamentos instalados numa plataforma móvel de coleta, instalada na posição central da lagoa objeto do experimento. A plataforma móvel de coleta era constituída por um caixote de madeira, revestido de material plástico, com divisões internas, instalado sobre dois trilhos ferroviários apoiados às paredes da lagoa no sentido transversal e distantes 60 cm um

do outro. As divisões internas do caixote serviam para proteger os equipamentos e bem como os frascos utilizados na coleta. No compartimento superior esquerdo era colocada a bomba peristáltica WATSON MARLOW LTD modelo MHRE (FALMOUTH-ENGLAND), provida de 10 (dez) canais de coleta, enquanto que o teletermometro YSI modelo 44TD provido de 12 (doze) canais sensores de temperatura era acondicionado no compartimento superior direito. Os dois compartimentos inferiores eram utilizados para a colocação dos frascos de amostragem, assim como de uma placa de madeira provida de tomadas elétricas, para a conexão da bomba peristáltica e de uma lâmpada para iluminação noturna. Além do caixote, duas hastes vazadas, de alumínio faziam parte da plataforma de coleta. Ambas tinham seção quadrada de 25 mm x 25 mm, mediam 03 (três) metros de altura e apresentavam uma sapata cilíndrica de concreto com 20 cm de altura e 15 cm de diâmetro. A haste instalada à esquerda do caixote constituía um suporte fixo para os vários tubos de coleta posicionados a diferentes níveis da profundidade da lagoa, os quais tinham a outra extremidade conectada à bomba peristáltica que bombeava o líquido dos diversos níveis para os frascos de coleta posicionados no interior do caixote. A segunda haste, instalada à direita da plataforma de coleta, constituía suporte para os sensores de temperatura posicionados a várias profundidades e cujos terminais eram conectados ao teletermômetro. Da plataforma de coleta ainda fazia parte uma passarela de madeira que se estendia da parede da lagoa à borda inferior do caixote sobre a qual o

operador podia movimentar-se durante o trabalho de coleta. A figura 3.3 mostra um esquema da plataforma de coleta.

3.2.3 - Parâmetros levantados ao longo da profundida de das lagoas

3.2.3.1 - Coliformes fecais

Permitiu a avaliação da densidade de coliformes fecais nos diferentes níveis, assim como a variação dessa densidade em função dos demais parâmetros estudados.

3.2.3.2 - pH

A determinação do pH auxiliou na caracterização das atividades de bactérias e algas na depuração de esgotos, a qual se baseia em dois mecanismos biológicos **fundamentais**: a respiração e a fotossíntese.

3.2.3.3 - Oxigênio dissolvido

A determinação do oxigênio dissolvido forneceu informações quanto as variações e distribuição deste parâmetro na coluna líquida a cada horário, permitindo uma avaliação da atividade fotossintética das algas nos diversos

níveis.

3.2.3.4 - Temperatura

A determinação da temperatura permitiu o estudo do ciclo da estratificação térmica e mistura no interior dos reatores.

3.2.3.5 - Clorofila a

A determinação da clorofila a permitiu a avaliação da biomassa de algas nos diferentes níveis dos reatores.

3.2.3.6 - Identificação e contagem de algas

Permitiu a avaliação qualitativa e quantitativa dos diversos gêneros de algas presentes na série de lagoas.

3.3 - Métodos Analíticos

3.3.1 - Coliformes fecais

A determinação de coliformes fecais foi feita pelo método da membrana filtrante de acordo com a técnica des

crita no STANDARD METHODS (1985). Todas as amostras eram filtradas em triplicata.

Para cada reator eram feitas diluições apropriadas para enumeração adequada dos coliformes fecais.

3.3.2 - pH

Foi utilizado um medidor pH METER-PW 9418 - PYE UNI CAN, com eletrodo combinado.

3.3.3 - Oxigênio dissolvido

Na medição de oxigênio dissolvido, foi utilizado um eletrodo de membrana seletiva de oxigênio acoplado a um me didor YSI, modelo 54 ABP, de acordo com o STANDARD METHODS (1985).

3.3.4 - Temperatura

A temperatura dos diversos níveis do reator foi me dido com um teletermômetro tipo YSI, modelo 44TD, contendo 12 (doze) canais sensores de temperatura, enquanto que a amostra da coluna d'água, com um termômetro de filamento de mercúrio, para a faixa de temperatura entre -10°C à $+164^{\circ}\text{C}$ marca ICOTERM.

3.3.5 - Clorofila a

A determinação da clorofila a foi feita de acordo com a técnica descrita por GOLTERMAN & CLYMO (1969): num papel FRAMEX quantitativo (filtração lenta - 1.500 segundos - 389/9 - faixa azul - Ø 7 cm), filtravam-se 20 ml de uma solução de $MgCO_3 \cdot 7H_2O$ a 0,1% e 100 ml de cada amostra, homogeneizada. A função do carbonato de magnésio era alcalinizar o extrator, pois a clorofila a se degrada em meio ácido. A filtração das amostras era feita em triplicata. Após a filtração, os papéis de filtro eram colocados em tubos de centrífuga e levados à geladeira a $\pm 4^\circ C$. Posteriormente, 7,0 ml de uma solução aquosa de acetona 90% (V/V) eram adicionados em cada tubo, permanecendo estes durante 16 horas a $\pm 4^\circ C$. Passado o tempo de extração, os tubos eram centrifugados por dois minutos a 650 g para separar o sobrenadante de partículas existentes em suspensão que poderiam interferir na leitura espectrofotométrica. Após a centrifugação o sobrenadante era transferido para um tubo de ensaio. A leitura espectrofotométrica era realizada em uma curveta com 01 (um) cm de espaço interno num espectrofotômetro marca MICRONAL modelo B 382. A absorbância era medida, primeiramente no comprimento de onda de 663 nm (melhor absorvido pela clorofila a). Em seguida a 750 nm (melhor absorvida pelo material em suspensão). Após essas leituras as amostras eram acidificadas com duas gotas de HCl 4N, homogeneizadas e novamente lidas a 663 e 750 nm.

A concentração de clorofila a foi calculada pela

equação:

$$\text{Clorofila } \underline{a} \text{ } (\mu\text{g/l}) = 2,43(\text{ODO}-\text{ODA}) \frac{1000 \times \text{vol. do extrator (ml)}}{\text{K} \times \text{vol. filtrado (l)}}$$

ODO = absorvância à 663 nm menos absorvância à 750 nm an
tes da acidificação.

ODA = absorvância à 663 nm menos absorvância à 750 nm ap^os
a acidificação.

K = coeficiente de extinção cujo valor para a clorofila
a é 89.

3.3.6 - Identificação e contagem de algas

Em tubos de centrífuga com capacidade para 50 ml, eram adicionados 20 gotas de formaldeido a 35% e 50 ml das amostras dos níveis escolhidos. Ap^os a centrifugação, os 45 ml do sobrenadante era descartados e os 5 ml restantes utilizados na contagem. Esta era feita colocando-se duas gotas do material previamente concentrado numa Camara de Neubauer e examinada num microscópio óptico comum marca OLYMPUS.

3.3.7 - Radiação solar

A intensidade de radiação solar foi medida com um integrador de radiação solar GUNN-BELLANI (BAIRD & TATLOCK). As leituras eram realizadas a cada horário de coleta.

3.3.8 - Velocidade do vento

A velocidade do vento era medida, a cada horário de coleta, com o auxílio de um anemômetro.

Tabela 3.1 - Características físicas e operacionais do sistema experimental.

Lagoa	Dimensões			Área (m ²)	Volume (m ³)	Vazão (m ³ /dia)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Carga orgânica superficial (kgDBO ₅ /ha.dia)
	Profundidade (m)	Comprimento (m)	Largura (m)					
A ₇	2,20	10,0	3,35	33,5	73,7	9,216	8	474,8
F ₉	2,20	10,0	3,35	33,5	73,7	9,216	8	227,0
M ₇	2,20	10,0	3,35	33,5	73,7	9,216	8	138,1
M ₈	2,20	10,0	3,35	33,5	73,7	9,216	8	77,8
M ₉	2,25	10,0	3,35	33,5	75,7	9,216	8	52,5

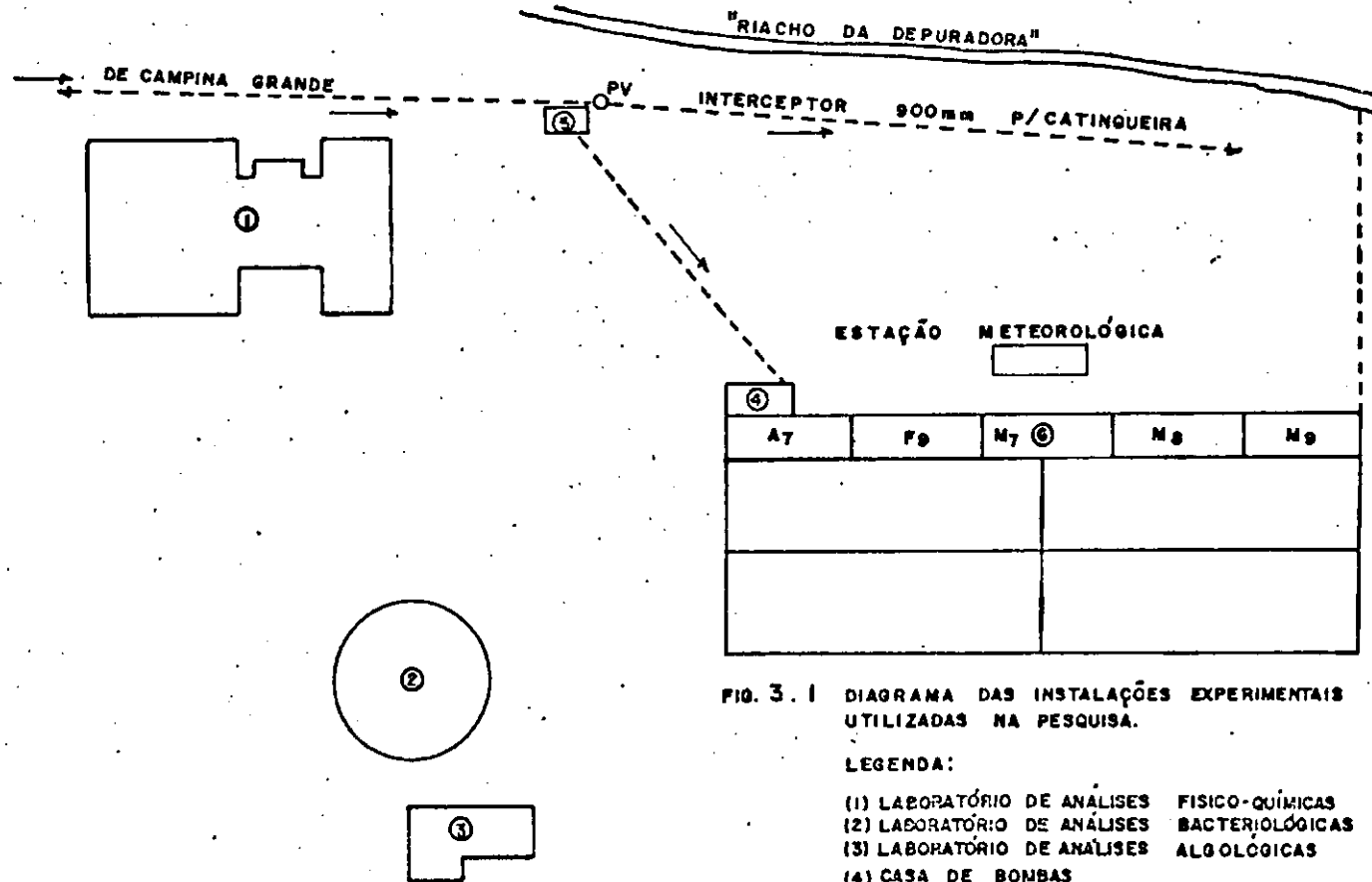
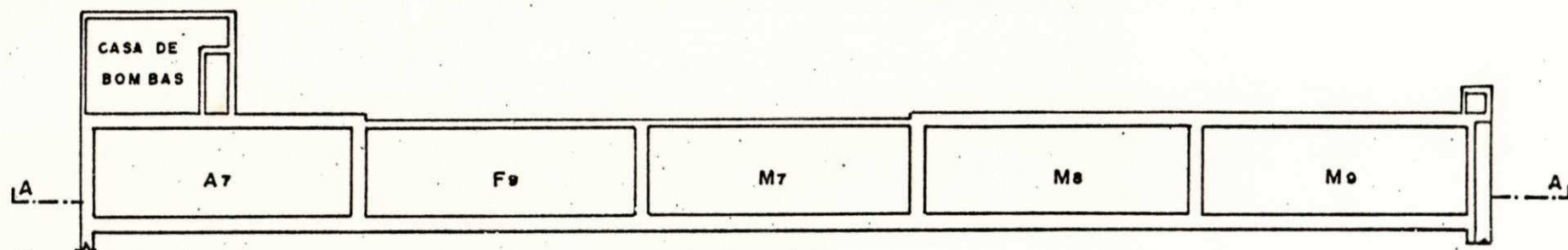


FIG. 3.1 DIAGRAMA DAS INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS UTILIZADAS NA PESQUISA.

LEGENDA:

- (1) LABORATÓRIO DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS
- (2) LABORATÓRIO DE ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS
- (3) LABORATÓRIO DE ANÁLISES ALGOLÓGICAS
- (4) CASA DE BOMBAS
- (5) PDÇO ÚMIDO
- (6) SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO



PLANTA BAIXA
 ESC. — 1:250

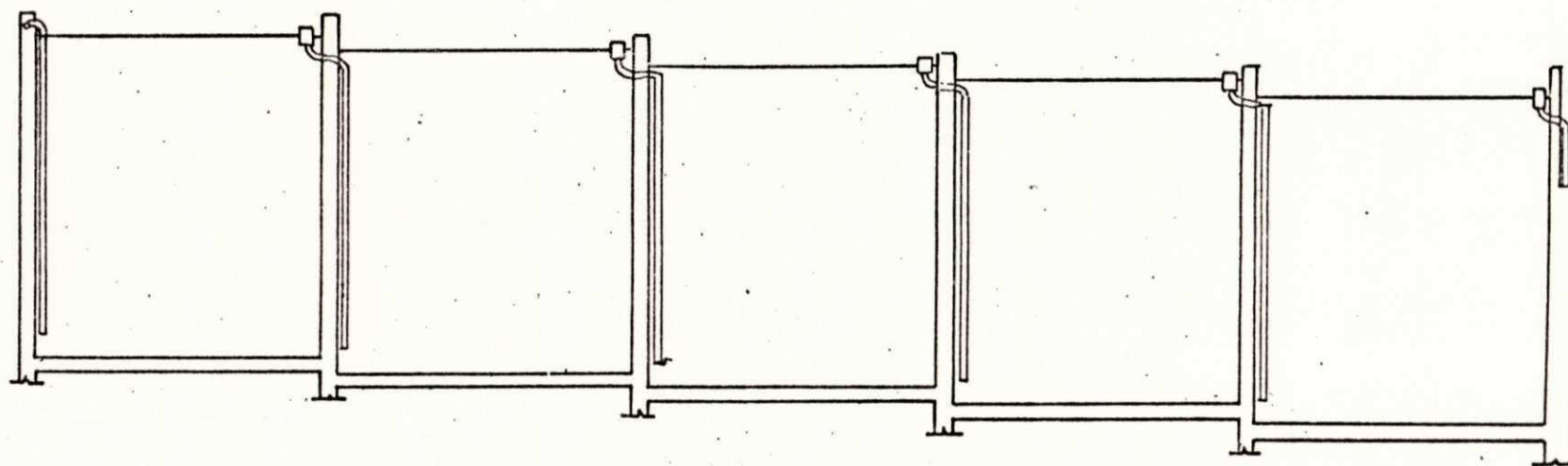
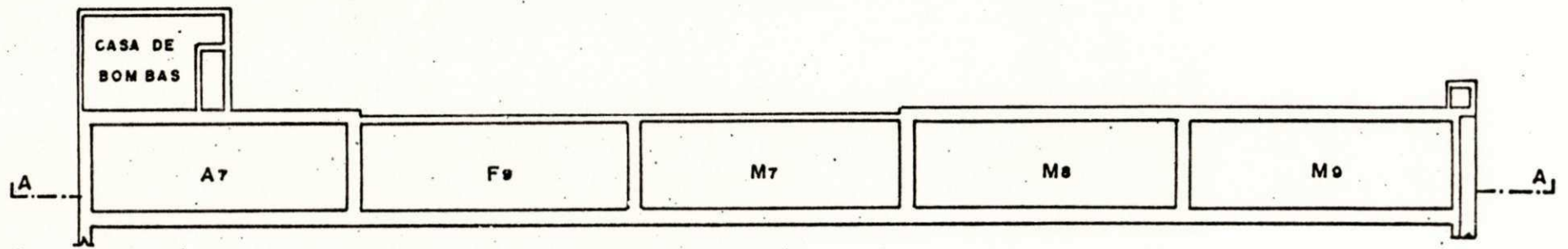


FIG. 3.2 SISTEMA DE LAGOAS EM SÉRIE UTILIZADO
 NA PESQUISA

CORTE AA
 ESC. HORIZONTAL — 1:250
 ESC. VERTICAL — 1:50



PLANTA BAIXA
 ESC. — 1:250

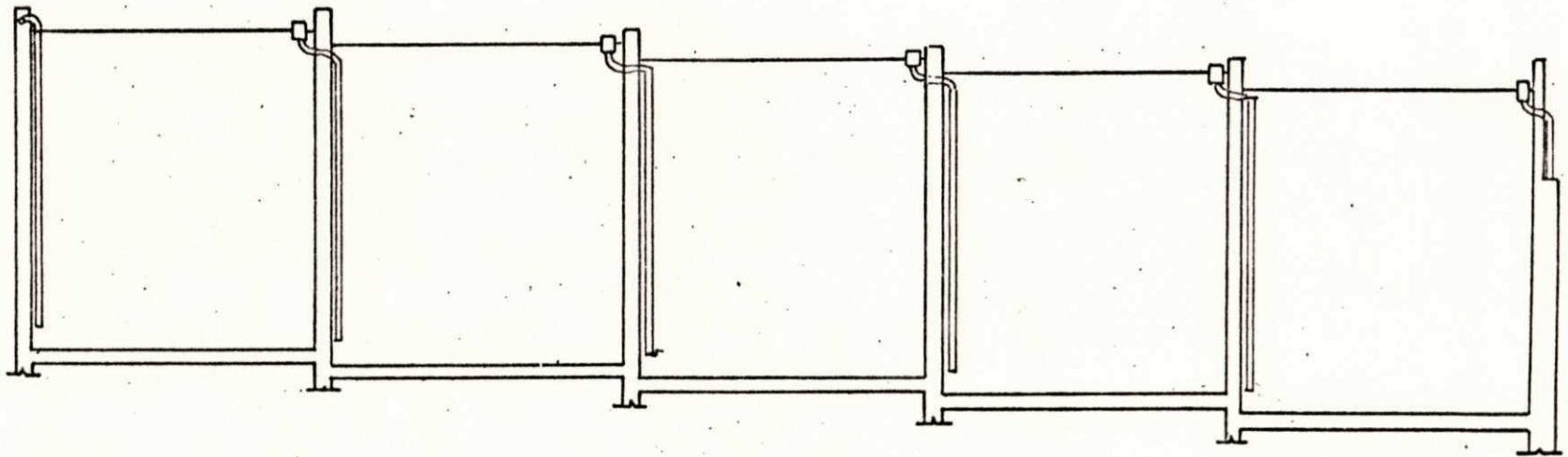


FIG. 3.2. SISTEMA DE LAGOAS EM SÉRIE UTILIZADO
 NA PESQUISA

CORTE AA
 ESC. HORIZONTAL — 1:250
 ESC. VERTICAL — 1:50

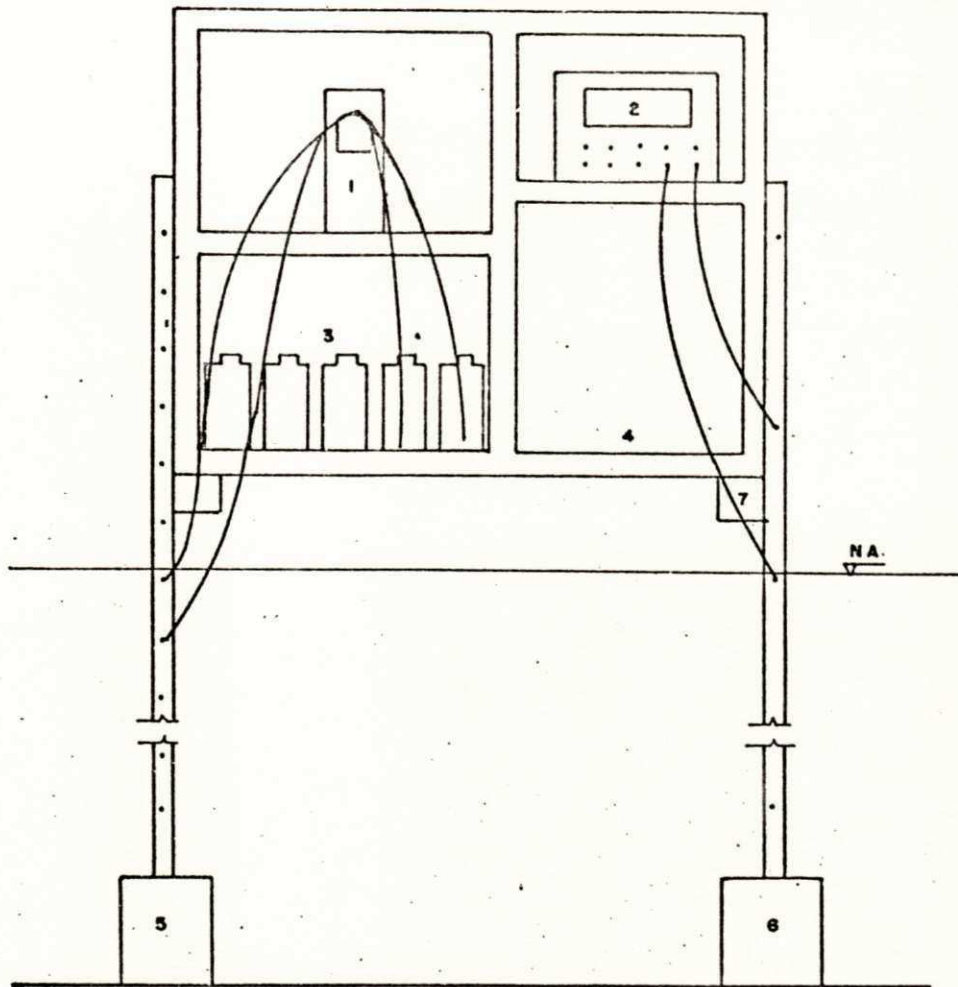


FIG. 3.3 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PLATAFORMA MÓVEL DE COLETA

- (1) BOMBA PERISTÁLTICA
- (2) TELETERMÔMETRO
- (3) FRASCOS DE COLETA
- (4) FONTE DE ENERGIA
- (5) HASTE P/ FIXAÇÃO DAS MANGUEIRAS DE SUÇÃO
- (6) HASTE P/ FIXAÇÃO DOS SENSORES
- (7) TRILHOS REMOVÍVEIS

4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 - Meteorologia

As variações da radiação solar acumulada e a velocidade média dos ventos observadas durante os 18 experimentos realizados na série de cinco lagoas são mostradas na tabela 4.1, que também inclui o horário e profundidade da temperatura máxima registrada em cada lagoa.

A radiação solar acumulada observada nos vários experimentos variou entre 348 (lagoa M₉ Exp. 03) e 730 g cal. cm⁻².d⁻¹ (lagoa A₇ Exp. 17) como mostra a tabela 4.1. Durante a realização dos experimentos foram feitas observações sobre as condições climáticas predominantes. A consulta a estes registros mostrou que durante o experimento 3 (10-11/06/87) o tempo estava encoberto com chuvas e portanto com pouca luminosidade. Já no experimento 17 (28-29/10/87), as condições climáticas eram de um dia típico de verão ou seja céu claro com poucas nuvens o que explica a alta radiação solar acumulada registrada.

As temperaturas máximas na massa líquida das lagoas sempre foram registradas às 14 horas e nos experimentos 03, 05 e 15 também às 18 e 02 horas. Estas temperaturas máximas variaram entre 26 e 30°C sendo registradas nas lagoas de maturação M₈ (Exp. 05 e 14) e M₉ (Exp. 03).

Em todas as lagoas, as temperaturas máximas sempre foram registradas à 5 cm de profundidade podendo se estender até 40 cm (Exp. 05, lagoa M₈). O aumento da temperatura da água de qualquer corpo aquático é função da quantidade de radiação solar que incide sobre a massa líquida e penetração de luz na água. Segundo Round (1981), quanto maior a turbidez de um corpo aquático menor será a penetração de luz e no caso de ambientes aquáticos com alta turbidez como em lagoas de estabilização este aquecimento só vai ocorrer nas camadas mais superficiais (Remmert, 1980 citado por Bach, 1986) atribui a elevação da temperatura da água mais especificamente a absorção dos raios ultravioleta e infravermelho nas camadas mais superficiais da lagoa.

Durante o período experimental (entre 27/05 e 05/11/87) houve uma grande variação nas velocidades médias diárias do vento (tabela 4.1) e tais valores quando relacionados aos dados de temperatura da lagoa não mostraram uma influência no rompimento da estratificação térmica devido, provavelmente as reduzidas dimensões das lagoas. A ação dos ventos, para ser eficaz no processo de mistura, está diretamente relacionada com as dimensões das lagoas pois Silva e Mara (1979) afirmam que é necessário pelo menos uma superfície de 100 m sem qualquer obstrução para que se atinja uma ação máxima de mistura pela ação dos ventos.

4.2 - Identificação e Contagem de Algas

A tabela 4.2 mostra a presença e ausência dos gêneros

ros de algas identificados em todas as amostras coletadas durante os 18 experimentos realizados nas 5 lagoas da série no período entre 25/05 e 05/11/87.

Os gêneros flagelados Euglena, Pyrobotrys e Chlamydomonas estiveram presentes nas 5 lagoas da série suportando uma grande variação de cargas orgânicas, ou seja entre 474,8 e 52,2 $\text{KgDBO}_5 \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ respectivamente de A₇ e M₉. Outro gênero identificado em todas as lagoas da série foi Chlorella, uma alga verde não flagelada. Todos os gêneros identificados durante este trabalho, exceto Nitzschia e Cyclorella foram também identificados nas lagoas rasas estudadas na EXTRABES por Mara et alii (1983) e König (1984).

A presença de Chlamydomonas em lagoas de estabilização com altas cargas orgânicas de até 336 $\text{kgDBO}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ e sua capacidade de sobreviver às condições anaeróbias já foi observada por Cadweel (1946) e Neel e Hopkins (1956). Em estudos, sobre a diversidade de algas, realizados na EXTRABES, em sistemas rasos (König, 1984) e profundos (Back, 1986; Sousa, 1988) além de Chlamydomonas, outros gêneros como Euglena, Pyrobotrys e Chlorella foram também capazes de sobreviver sob condições de cargas orgânicas elevadas e longos períodos de anaerobiose.

O desenvolvimento de Pyrobotrys e Chlamydomonas sob condições anaeróbias segundo Myres (1962), pode estar relacionada com sua capacidade de crescer heterotroficamente e de realizar fotossíntese anoxigênica. Estes microrganismos utilizam um subproduto da degradação anaeróbia, o acetato,

em substituição ao CO_2 sem a posterior evolução de O_2 . Neste tipo de fotossíntese a água não é utilizada como substrato.

A presença de Euglena nas 5 lagoas, cujas cargas variaram entre 474,8 e 52,5 $\text{kgDBO}_5\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ concorda com o trabalho realizado por Palmer (1969) que concluiu ser Euglena o gênero mais tolerante à poluição e sua presença em ambientes aquáticos está diretamente relacionada com o material orgânico existente.

A medida que o esgoto flui de A_7 para M_9 , outros gêneros além daqueles já mencionados começaram a surgir. Em M_7 , gêneros como Phacus, Pandorina, Ankistrodesmus são observados pela primeira vez indicando que ocorreram transformações no meio aquático as quais permitiram o aparecimento e sobrevivência de tais gêneros. Na última lagoa da série M_9 , foram identificados 15 gêneros contrastando com os 5 gêneros observados em A_7 . Dois gêneros, Scenedesmus e Cyclorella foram identificados somente na lagoa M_9 , sugerindo-os neste estudo, como indicadores de ambientes pouco poluídos.

As algas dos gêneros Oscillatoria, Navicula, Nitzschia necessitam de um substrato sólido (escuma na parede da lagoa) para sua fixação, pois são microrganismos epilíticos, não fazendo parte do fitoplâncton. Seu aparecimento nas amostras analisadas pode ser atribuído ao seu despreendimento do substrato sólido e ser considerado como ocasional.

A diversidade das algas presentes em ecossistemas aquáticos poluídos pode contribuir para uma avaliação do

seu grau de poluição e no caso de lagoas de estabilização o caráter destes ambientes. Um corpo aquático cujo número de gêneros é reduzido, mas com muitos representantes de cada gênero (ex. A₇ e F₉, tabela 4.2) pode ser considerado pouco diverso e caso os gêneros predominantes sejam Chlamydomonas, Euglena e Pyrobotrys é bastante provável que esteja recebendo uma elevada carga orgânica. No caso inverso, a presença de muitos gêneros de algas com poucos representantes de cada gênero, indica um ambiente muito diverso, cujo grau de poluição é reduzido, como no caso da lagoa M₉.

* A presença de uma população mista de algas é sugerida como um fator que influencia na redução dos coliformes fecais. Estudos sobre as interações entre as populações de algas e bactérias mencionam vários trabalhos sobre Chlorella produzindo uma substância antibacteriana chamada Clorelina (Pratt et alii, 1944). Esta substância foi isolada, assim como o seu efeito bactericida testado, em culturas de laboratório. Até o momento, as referências quanto a sua presença em lagoas de estabilização é assunto de muito controvérsia onde pesquisadores como Oswald et alii (1953) e King (1970) sustentam a idéia de sua presença enquanto que outros negam sua importância (Parker, 1962). No entanto, reduções significativas de coliformes fecais ocorrem na presença de um crescimento intenso de algas (Neel e Hopkins, 1956).

* Sendo Chlorella o gênero de alga mais comumente citado na literatura como aquele que exerce influência na redução de coliformes fecais, foi feito aqui uma averiguação entre o número de algas do gênero Chlorella e as concentra

ções mínimas e máximas de coliformes fecais (Tabela 4.3) no sentido de confirmar ou não tal influência. Estão incluídas também nesta tabela, o número total de algas observadas e o gênero predominante das amostras analisadas.

A presença de Chlorella em A₇ foi reduzida quando comparada ao número total de algas presentes. Em F₉ nos experimentos 01 e 10, a concentração mínima de coliformes fecais esteve associada a um número elevado de Chlorella (86 e 79% deste gênero respectivamente compunham a população total de algas). Em contrapartida o inverso ocorreu nos experimentos 02 e 09 (20 e 16% respectivamente). Com relação às concentrações máximas de CF estas estiveram associadas a uma população reduzida de Chlorella nos experimentos 01, 09 e 10. Nos reatores seguintes, M₇ e M₈, o gênero Chlorella esteve ausente em metade dos experimentos realizados nestes dois reatores. Quando presente, a população de Chlorella era reduzida com exceção de M₈ no experimento 14, onde este gênero representou 43 e 20% da população total de algas. Na lagoa M₉, o gênero Chlorella foi aquele que predominou nas amostras onde foram observadas as concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais mas esta predominância foi mais acentuada nas amostras com número máximo de coliformes fecais.

Neste estudo de campo, o gênero Chlorella esteve associado ora com números mínimos de coliformes fecais, ora com o máximo sugerindo que a presença de Chlorella não sendo preponderante na redução da população das bactérias fecais, embora Oswald et alii (1953) encontraram números redu

zidos de bactérias fecais quando estas cresciam em meio contendo Chlorella. O mesmo resultado foi encontrado por Moawad (1968) onde substâncias inibitórias ao crescimento de coliformes fecais foram detectadas em filtrados contendo Chlorella. Estes pesquisadores, no entanto, obtiveram estas reduções de bactérias fecais na presença de Chlorella em estudos realizados em laboratório, o que não reflete de maneira segura o que acontece dentro da massa líquida de lagoas de estabilização. Embora a atividade antibacteriana das algas sobre a população de bactérias tenha sido detectada somente em estudo de laboratório sua relevância não pode ser ignorada. Tais estudos são necessários para o entendimento das interrelações complexas que ocorrem nos vários microrganismos presentes nos ambientes naturais como por exemplo lagoa de estabilização.

4.3 - Concentração Mínima e Máxima de Coliformes Fecais nos 18 Experimentos

Nos 18 experimentos realizados na série de lagoas de estabilização, foram coletadas, a diferentes profundidades, um total de 630 amostras as quais foram submetidas para análises de coliformes fecais, clorofila a, pH, oxigênio dissolvido e temperatura. Devido a problemas de diluição incorreta, não foi possível quantificar os coliformes fecais em 55 amostras (9% do total coletado) impossibilitando o seu aproveitamento neste trabalho. Portanto os resultados aqui

apresentados provêm de 575 amostras, cujas determinações de coliformes fecais foram satisfatórias ou seja, um número quantificável de bactérias fecais foi detectado sobre a membrana filtrante.

Neste estudo sã^o serão consideradas as concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais ao longo da coluna líquida dos reatores da série e os valores de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura associados a estes valores mínimos e máximos.

As tabelas 4.4 a 4.8 mostram os valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados para cada lagoa e experimento. As respectivas tabelas também incluem os dados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura associados a estes valores mínimos e máximos, juntamente com a hora e profundidade da ocorrência.

Através da avaliação do comportamento dos coliformes fecais presentes em cada lagoa da série, baseado nos valores mínimos e máximos, foi possível verificar que num mesmo experimento ocorreram grandes variações na população de bactérias fecais. Por exemplo na lagoa anaeróbia A₇, num período de 24 horas (exp. 17 - tabela 4.4) a variação da população de coliformes fecais, ao longo da profundidade chegou a 98,09886% (mín. $0,05 \times 10^6$ CF/100 ml - máx. $2,63 \times 10^6$ CF/100ml). O mesmo aconteceu em M₉ (exp. 11, tabela 4.8) onde a variação da população bacteriana, ao longo da coluna d'água da lagoa, num período de 24 horas chegou a 98,84616% (mín. $0,06 \times 10^2$ CF/100 ml - máx. $5,2 \times 10^2$ CF/100 ml). Foi verificado também que, em 15 dos 18 experimentos realizados, as con

centrações mínimas de coliformes fecais foram observadas a 5 cm de profundidade entre os horários de 10 e 22 mas geralmente às 18 horas. Esta profundidade corresponde justamente ao ponto onde o efluente de uma lagoa flue para a seguinte e o da descarga final do efluente da série de lagoas. Em 10 experimentos dos 12 realizados nas lagoas de maturação M_7 , M_8 e M_9 , as concentrações máximas de coliformes fecais ocorreram em horários variados mas sempre à profundidade de 195 cm.

A tabela 4.9 mostra os valores mínimos e máximos de coliformes fecais, pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura observada nos 2 experimentos realizados em A_7 e nos 4 experimentos de F_9 , M_7 , M_8 e M_9 . Não se levando em consideração nem a profundidade nem a hora da coleta, as variações da população de bactérias fecais observadas durante o período experimental foram de um máximo de $3,85 \times 10^6$ CF/100 ml na lagoa A_7 a um mínimo de $0,06 \times 10^2$ CF/100 ml em M_9 . Esta redução significativa de quatro ordens de grandeza da população bacteriana de A_7 até M_9 foi semelhante à aquela obtida por Mara et alii (1983) no monitoramento dos efluentes de uma série de lagoas com a profundidade de 1,25 m.

Segundo Marais (1966) citado por Konig (1984) esta diminuição dos coliformes fecais e a subsequente melhoria da qualidade da massa líquida da lagoa e portanto do efluente final, é produzida quando o tratamento de esgoto é feito por uma série de lagoas ao invés de uma única lagoa com área equivalente. Além disso, uma remoção máxima de bacté

rias fecais também é obtido quando o tempo de detenção de cada lagoa da série for o mesmo (Marais, 1974).

Todas as lagoas da série estiveram sob condições anaeróbias em pelo menos uma coleta como atestam os valores mínimos de oxigênio dissolvido entre 0,0 e 0,1 mg/l (tabela 4.9). Quanto aos valores máximos observados, houve um aumento nas concentrações de oxigênio dissolvido de A₇ para M₉ com valores supersaturados de 20 mg/l na lagoa M₉ (tabela 4.9).

Ao analisar as variações do pH na série de lagoas, foi verificado que de A₇ a M₉ houve um aumento do valor mínimo observado de 7,1 a 7,8 assim como do valor máximo, de 8,1 a 9,1.

Estas variações de pH e oxigênio dissolvido na série de lagoas indicam que ocorreram transformações no ambiente aquático, principalmente no que se refere à presença de uma população de algas. Isto pode ser observado nos valores máximos de clorofila a cuja concentração aumentou de A₇ a F₉ e depois decresceu nas três lagoas de maturação. Em muitas amostras, não foi detectado a presença de algas (0,0 ug/l clorofila a). Esta ausência pode estar associada à capacidade de movimentação que alguns gêneros, como a Euglena, Pyrobotrys e Chlamydomonas, possuem trazendo como consequência o fenômeno da estratificação, resultando à certas profundidades ou numa presença excessiva de algas ou na completa ausência (Back, 1986).

4.4 - Variações nos Coliformes Fecais à 5 e 195 cm de Profundidade

As tabelas 4.10 e 4.11 mostram as concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais, observadas à 5 e 195 cm, nas cinco lagoas da série, considerando todos os experimentos. Estas profundidades representam, respectivamente as camadas superficial e do fundo das lagoas. Nestas tabelas também são apresentados os valores de pH, OD, clorofila a e temperatura associados às mínimas e máximas concentrações de coliformes fecais.

Em todas as lagoas na profundidade de 5 cm (tabela 4.10) as concentrações mínimas de CF quando comparadas às máximas estavam sempre associadas aos maiores valores de pH e oxigênio dissolvido. As amostras analisadas a esta profundidade foram coletadas diretamente na coluna d'água e os resultados concordam com aqueles obtidos por König (1984). A autora, estudando a qualidade do efluente (também coletado à mesma profundidade de 5 cm) de lagoas facultativas e de maturação encontrou uma correlação negativa entre os valores de pH e OD e o número de coliformes fecais ou seja, as menores concentrações de coliformes fecais estavam associadas a altos valores de pH e OD. Foi sugerido por König (1984) que o importante não é a presença de uma grande população de algas, mas sim sua elevada atividade metabólica com a posterior elevação do pH e da concentração de oxigênio dissolvido. Nos períodos de fotossíntese intensa, a redução de coliformes fecais estava associada à excreção, pelas algas,

de produtos antibacterianos eficazes na diminuição da população de bactérias.

Na camada mais profunda da lagoa, a 195 cm (tabela 4.11) não ocorreu uma associação clara entre pH e OD com a concentração mínima de coliformes fecais como aquela observada a 5 cm. Apesar da presença de uma população de algas a 195 cm, a atividade fotossintética foi pequena, devido a ausência de luz, resultando em baixas concentrações de oxigênio dissolvido e valores menores de pH.

Neste trabalho foram coletadas algumas evidências sobre as concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais na superfície e fundo das lagoas em série. Ao longo da coluna líquida de cada lagoa existem, ao longo do ciclo diário, variações significativas nas concentrações mínimas e máximas das bactérias fecais (veja ítem 4.3) mas as mínimas concentrações encontradas na maioria dos experimentos realizados, foram sempre observada a 5 cm. Tais informações são importantes e de grande utilidade nos projetos de dispositivos de saída de efluente em lagoas de estabilização sugerindo que tais dispositivos sejam colocados junto à superfície.

As evidências aqui discutidas, sobre o comportamento dos coliformes fecais, devem ser mais exploradas tanto em estudos de campo e de laboratório o que permitirá o melhor entendimento dos fatores que regulam a população das bactérias fecais.

CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho foi possível concluir que:

- Foi verificado durante o ciclo diário que ao longo da coluna líquida de cada reator, existem variações significativas nas concentrações mínimas e máximas das bactérias fecais.

- As mínimas concentrações na maioria dos experimentos foram sempre observadas a 5 cm de profundidade e estavam geralmente associadas a altos valores de pH e oxigênio dissolvido e a baixas concentrações de clorofila a.

- Houve uma redução significativa de quatro ordens de grandeza da população bacteriana de A₇ até M₉.

- As temperaturas máximas no interior da massa líquida das lagoas, que variaram entre 26 e 30°C, sempre foram registradas as 14 horas a uma profundidade de 5 cm.

- Ao longo da série houve um aumento significativo da diversidade de algas, com uma variação de 5 gêneros identificados em A₇ à 15 gêneros presentes em M₉.

- Os gêneros de algas flageladas Chlamydomonas, Pyrobotrys e Euglena, assim como Chlorella, uma alga verde não flagelada, estiveram sempre presentes em todas as lagoas da série.

- Existem evidências que o gênero de alga Chlorella não influencia preponderantemente a redução da população das bactérias fecais.

- Constatado que a 5 cm ocorreram as menores concentrações de coliformes fecais, sempre que se desejar uma menor concentração destas bactérias nos efluentes, os dispositivos de saída deverão ser colocados nas camadas mais superficiais.

- Neste estudo foi verificado que pH e oxigênio dissolvido foram os fatores que, dentre os pesquisados, mais influenciaram a redução de coliformes fecais.

SUGESTÕES

Tomando por base os estudos realizados na presente pesquisa, sugere-se a continuidade de investigações no referido sistema de lagoas, no que se refere a:

- a) Influência da radiação solar no comportamento dos coli formes fecais ao longo da coluna líquida dos reatores.
- b) Influência da toxicidade de sulfetos em forma de H_2S sobre a população bacteriana.
- c) Um estudo mais profundo sobre a influência de substân cias tóxicas excretadas por algas no decaimento da con centração de coliformes fecais ao longo da profundidade da massa líquida.
- d) Influência da luz no decaimento de coliformes fecais, principalmente nas camadas superiores das lagoas.
- e) Investigar porque as concentrações mínimas de coliformes fecais sempre ocorreram as 18 horas.

Tabela 4.1 - Radiação Solar Acumulada, Velocidade Média do Vento referente a cada experimento realizado nas cinco lagoas da série juntamente com hora e profundidade da temperatura máxima no período entre 25.05 e 01.11.87.

Reator	Exp.	Data	R S A (gcal cm ⁻² .d ⁻¹)	Veloc. Média do Vento (km/h)	T. Máx. °C	Hora	Prof. (cm)
A ₇	17	28-29/10	730	5,98	28,5	14	5
	18	04-05/11	600	6,25	28,0	14	5
F ₉	01	27-28/05	690	2,30	29,0	14	5 e 10
	02	03-04/06	564	4,57	26,5	14	5
	09	12-13/08	672	3,65	28,0	14	5
	10	19-20/08	377	3,40	26,5	14	5
M ₇	07	22-23/07	719	1,73	29,0	14	5
	08	29-30/07	564	2,48	28,0	14	5
	15	30/09-01/10	564	5,20	27,0	14 e 18	5 e 30
	16	07-08/10	672	6,70	26,5	14	5
M ₈	05	08-09/07	420	3,11	26,0	14, 14, 14 18 e 02	5, 20, 40, 30, 5
	06	15-16/07	492	2,05	27,5	14	5
	13	16-17/09	672	4,74	29,0	14	5
	14	23-24/09	718	6,70	30,0	14	5
M ₉	03	10-11/06	348	1,58	26,0	18	5 e 30
	04	17-18/06	402	2,14	27,0	14	5
	11	02-03/09	586	3,62	27,5	14	5 e 30
	12	16-17/09	658	4,00	28,5	14	5

ANEXO 2 METEOROLOGIA

Tabela 4.2 - Gêneros de algas presentes (+) e ausentes (-) na série de cinco lagoas de estabilização durante os 18 experimentos realizados no período de 25/05/87 à 05/11/87.

Phylum	Gêneros de Algas	Reatores				
		A ₇	F ₉	M ₇	M ₈	M ₉
Cyanobacteria	<u>Oscillatoria</u>	+	+	+	+	+
Euglenophyta	<u>Euglena</u>	+	+	+	+	+
	<u>Phacus</u>	-	-	+	+	-
Chlorophyta	<u>Chlamydomonas</u>	+	+	+	+	+
	<u>Pyrobotrys</u>	+	+	+	+	+
	<u>Eudorina</u>	-	-	-	+	+
	<u>Pandorina</u>	-	-	+	+	+
	<u>Chlorella</u>	+	+	+	+	+
	<u>Coelastrum</u>				+	+
	<u>Ankistrodesmus</u>	-	-	+	+	+
	<u>Oocystis</u>	-	-	-	+	+
	<u>Scenedesmus</u>	-	-	-	-	+
	<u>Micractinium</u>	-	-	-	-	+
Bacillariophyta	<u>Navicula</u>	-	+	+	+	+
	<u>Nitzschia</u>	-	-	+	+	+
	<u>Cyctotella</u>	-	-	-	-	+
	Total de gêneros presentes	5	6	10	13	15

Tabela 4.3 - Número de algas no gênero Chlorella presentes nas amostras onde se observou o número mínimo e máximo de coliformes fecais. Estão também incluídos o número total de algas e o gênero de alga predominante nestas.

(continua)

Lagoa	Exp.	Conc. mín/máx Colif. fecais (nºCF/100 ml)	Número total de algas (nº x10 ⁴ /ml)	<u>Chlorella</u> (nº x10 ⁴ /ml)	Gênero de alga predominante (nº x10 ⁴ /ml)
A ₇	17	0,05x10 ⁶	54,0	2,0	<u>Chlamydomonas</u> 44,0
		2,63x10 ⁶	69,0	1,0	<u>Chlamydomonas</u> 65,0
	18	0,22x10 ⁶	22,5	0,5	<u>Chlamydomonas</u> 21,5
		3,85x10 ⁶	10,5	0,5	<u>Chlamydomonas</u> 4,5
F ₉	01	3,0x10 ⁵	123,0	105,5	<u>Chlorella</u> 105,5
		8,73x10 ⁵	62,5	10,0	<u>Chlamydomonas</u> 10,5
	02	0,45x10 ⁵	22,0	4,5	<u>Chlamudomonas</u> 16,5
		7,65x10 ⁵	47,5	31,0	<u>Chlorella</u> 31,0
	09	0,1x10 ⁵	3,0	0,5	<u>Chlamudomonas</u> 0,5
		2,6x10 ⁵	301,0	27,0	<u>Chlamudomonas</u> 271,0
	10	0,9x10 ⁵	55,0	43,5	<u>Chlorella</u> 43,5
		2,8x10 ⁵	67,0	11,5	<u>Chlamydomonas</u> 65,5

Tabela 4.3 - Número de algas no gênero Chlorella presentes nas amostras onde se observou o número mínimo e máximo de coliformes fecais. Estão também incluídos o número total de algas e o gênero de alga predominante nestas.

(continuação)					
Lagoa	Exp.	Conc. mín/máx Colif. fecais (nºCF/100 ml)	Número total de algas (nº x10 ⁴ /ml)	<u>Chlorella</u> (nº x10 ⁴ /ml)	Gênero de alga predominante (nº x10 ⁴ /ml)
M ₇	07	0,08x10 ⁴	0,0	0,0	0,0
		3,0x10 ⁴	5,5	0,0	<u>Pyrobotrys</u> 2,0
	08	0,033x10 ⁴	0,0	0,0	0,0
		1,79x10 ⁴	2,0	0,0	<u>Pyrobotrys</u> 1,0
	15	0,33x10 ⁴	4,5	0,0	<u>Chlamydomonas</u> 4,5
		5,4x10 ⁴	16,5	5,0	<u>Chlamydomonas</u> 4,5
	16	0,17x10 ⁴	0,0	0,0	0,0
		5,0x10 ⁴	12,0	1,0	<u>Chlamydomonas</u> 4,5 <u>Euglena</u> 4,5
M ₈	05	0,05x10 ³	26,5	0,0	<u>Euglena</u> 13,5
		0,47x10 ³	3,0	0,0	<u>Euglena</u> 3,0
	06	0,25x10 ³	0,0	0,0	0,0
		3,60x10 ³	0,5	0,0	<u>Euglena</u> 0,5

Tabela 4.3 - Número de algas no gênero Chlorella presentes nas amostras onde se observou o número mínimo e máximo de coliformes fecais. Estão também incluídos o número total de algas e o gênero de alga predominante nestas.

						(conclusão)	
Lagoa	Exp.	Conc. mín/máx Colif. fecais (nºCF/100 ml)	Número total de algas (nº x10 ⁴ /ml)	<u>Chlorella</u> (nº x10 ⁴ /ml)	Gênero de alga predominante (nº x10 ⁴ /ml)		
M ₈	13	0,12x10 ³	3,0	0,5	<u>Euglena</u>	1,0	
		4,3x10 ³	5,0	1,0	<u>Pyrobotrys</u>	2,0	
	14	0,1x10 ³	3,5	1,5		0,0	
		1,5x10 ³	5,0	1,0	<u>Pyrobotrys</u>	1,5	
M ₉	03	1,7x10 ²	53,5	43,0	<u>Chlorella</u>	43,0	
		6,3x10 ²	36,5	33,5	<u>Chlorella</u>	35,5	
	04	1,26x10 ²	25,0	24,0	<u>Chlorella</u>	24,0	
		3,57x10 ²	52,5	52,0	<u>Chlorella</u>	52,0	
	11	0,06x10 ²	4,5	2,0	<u>Chlorella</u>	2,0	
		5,2x10 ²	8,0	6,0	<u>Chlorella</u>	6,0	
	12	0,1x10 ²	7,5	4,5	<u>Chlorella</u>	4,5	
		1,8x10 ²	4,5	3,5	<u>Chlorella</u>	3,5	

Tabela 4.4 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados na lagoa anaeróbia A₇ durante os experimentos 17 e 18. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Exp.	Concentração mín. - máx. Colif.fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados a mín. e max. concentração de CF				Hora-Prof. (cm)
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. <u>a</u> (ug/l)	Temper. (°C)	
17	0,05x10 ⁶	7,8	0,1	40,1	27,0	10- 5
	2,63x10 ⁶	7,7	0,1	19,1	27,0	22- 30
18	0,22x10 ⁶	7,3	0,0	5,7	26,0	22-195
	3,85x10 ⁶	7,8	0,0	8,3	27,0	14- 40

Tabela 4.5 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados na lagoa facultativa secundária F₉ durante os experimentos 1, 2, 9 e 10. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Exp.	Concentração mín. - máx. Colif. fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados a mín. e máx. concentração de CF				Hora - Prof. (cm)
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. <u>a</u> (ug/l)	Temper. (°C)	
1	3,0 x10 ⁵	8,4	1,5	53,5	29,0	14- 5
	8,73x10 ⁵	7,6	0,1	53,5	25,0	22-150
2	0,45x10 ⁵	7,6	0,1	40,8	25,5	02-100
	7,65x10 ⁵	7,6	0,1	6,4	25,0	14-100
9	0,1 x10 ⁵	7,9	3,4	10,8	26,0	18- 5
	2,6 x10 ⁵	7,4	0,3	182,2	24,0	14- 40
10	0,9 x10 ⁵	7,8	1,6	108,3	26,5	14- 5
	2,8 x10 ⁵	7,4	0,1	58,4	24,0	22-150

Tabela 4.6 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados na lagoa de maturação M₇ durante os experimentos 7, 8, 15 e 16. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Exp.	Concentração mín. - máx. Colif. fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados à mín. e máx. concentração de CF				Hora-Prof. (cm)
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. a (ug/l)	Temper. (°C)	
7	0,08x10 ⁴	7,8	3,1	1,3	25,0	22- 5
	3,0 x10 ⁴	7,8	0,1	31,9	24,0	6(2)-195
8	0,033x10 ⁴	7,8	1,7	1,3	26,5	18h- 5
	1,79x10 ⁴	7,7	0,1	15,3	24,0	6(1)-195
15	0,33x10 ⁴	8,2	9,1	10,2	27,0	18- 5
	5,4 x10 ⁴	7,5	0,0	74,5	25,0	02-195
16	0,17x10 ⁴	8,2	4,2	14,7	26,0	18- 5
	5,0 x10 ⁴	7,5	0,1	70,1	24,0	6(2)-195

Tabela 4.7 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados na lagoa de maturação M₈ durante os experimentos 5, 6, 13 e 14. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Exp.	Concentração mín. - máx. Colif. fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados à mín. e máx. concentração de CF				Hora-Prof. (cm)
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. a (ug/l)	Temper. (°C)	
5	0,05x10 ³	8,5	11,0	7,6	26,0	18,2-5,5 10,14-150,20
		8,5	2,7	5,1	25,0	
		8,1	0,6	51,3	27,0	
		8,0	12,4	87,0	27,0	
	0,47x10 ³	7,9	0,9	38,9	25,0	18-195
6	0,25x10 ³	7,9	1,6	5,1	25,0	22- 70
	3,6 x10 ³	7,7	0,5	16,6	24,5	02-195
13	0,12x10 ³	8,4	11,7	2,5	29,0	22- 5
	4,3 x10 ³	7,7	0,1	34,4	25,0	02-195
14	0,1 x10 ³	8,7	4,2	15,9	29,5	14,14-5,40
		8,5	4,6	654,2	27,5	
	1,5 x10 ³	7,9	0,3		25,0	10-195

Tabela 4.8 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados na lagoa de maturação M₉ durante os experimentos 3, 4, 11 e 12. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Exp.	Concentração mín. - máx. Colif. fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados à mín. e max. concentração de CF				Hora-Prof. (cm)
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. a (ug/l)	Temper. (°C)	
3	1,7 x10 ²	8,2	7,3	35,7	26,0	18- 5
	6,3 x10 ²	7,9	0,6	66,2	25,0	02- 70
4	1,26x10 ²	8,1	0,6	3,8	25,5	02- 5
	3,57x10 ²	8,4	12,2	48,4	27,0	14-195
11	0,06x10 ²	8,0	2,2	18,5	26,0	22- 5
	5,2 x10 ²	8,0	4,6	2,5	26,0	6(2)-195
12	0,1 x10 ²	8,5	15,0	11,5	27,0	10- 5
	1,8 x10 ²	8,1	5,2	10,8	25,5	10- 70

Tabela 4.9 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais, pH, oxigênio dissolvido, clorofila a, temperatura, observados nos 18 experimentos realizados na série de 05 lagoas.

Lagoa	Coliformes fecais (nº/100ml)	pH (unidades)	Oxigênio dissolvido (mg/l)	Clorofila <u>a</u> (ug/l)	Temperatura (°C)	Número de Exper.
A ₇	0,05- 3,85x10 ⁶	7,1-8,1	0,0-0,1	5,7- 115,3	26,0-28,5	2
F ₉	0,10- 8,73x10 ⁵	7,2-8,4	0,0-6,1	0,0- 2730,0	23,5-29,0	4
M ₇	0,03- 5,4x10 ⁴	7,4-8,4	0,0-11,3	0,0- 530,0	23,5-29,0	4
M ₈	0,05- 4,3x10 ³	7,6-8,8	0,0-14,0	2,5- 654,2	24,0-30,0	4
M ₉	0,06- 6,3-10 ²	7,8-9,1	0,1-720,0	0,0- 147,0	25,0-28,5	4

Tabela 4.10 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados nas 05 lagoas da série a profundidade de 5 cm. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Lagoa	Concentração mín. - máx. Colif. fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados à mín. e máx. concentração de CF				Hora-Exp.
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. a (ug/l)	Temper. (°C)	
A ₇	0,05x10 ⁶	7,8	0,1	40,1	27,0	10- 17
	3,13x10 ⁶	7,2	0,0	11,5	27,0	22- 18
F ₉	0,1 x10 ⁵	7,9	3,4	10,8	26,0	18- 9
	8,5 x10 ⁵	7,8	0,1	43,3	25,0	6(1)- 1
M ₇	0,03x10 ⁴	7,8	1,7	1,3	26,5	18- 8
	4,48x10 ⁴	7,9	0,1	61,2	25,0	6(2)- 16
M ₈	0,05x10 ³	8,5	11,0	7,6	26,0	18- 5
	1,9 x10 ³	7,9	1,2	72,6	25,0	6(1)- 13
M ₉	0,1 x10 ²	8,5	15,0	8,3	26,0	22- 11
	5,8 x10 ²	8,1	5,7	5,1	26,0	02- 11

Tabela 4.11 - Valores mínimos e máximos de coliformes fecais observados nas 05 lagoas da série à profundidade de 195 cm. Os valores apresentados de pH, oxigênio dissolvido, clorofila a e temperatura são aqueles associados às concentrações mínimas e máximas de coliformes fecais.

Lagoa	Concentração mín. - máx. Colif.fecais (nº/100ml)	Parâmetros associados à mín. e máx. concentração de CF				Hora-Exp.
		pH (unid.)	Oxig. dissol. (mg/l)	Clorof. <u>a</u> (ug/l)	Temper. (°C)	
A ₇	0,22x10 ⁶	7,3	0,0	5,7	26,0	22- 18
	2,06x10 ⁶	7,8	0,0	23,6	26,0	6(1)- 17
F ₉	0,5 x10 ⁵	7,8	0,2	14,7	24,0	18- 9
	7,43x10 ⁵	7,8	0,1	52,2	25,0	6(1)- 2
M ₇	1,24x10 ⁴	7,7	0,1	10,8	24,0	18- 8
	5,4 x10 ⁴	7,5	0,0	74,5	25,0	02- 15
M ₈	0,17x10 ³	7,9	0,7	53,5	25,0	14- 5
	4,3 x10 ³	7,7	0,1	34,4	25,0	02- 13
M ₉	0,06x10 ²	8,0	2,2	18,5	26,0	22- 11
	0,98x10 ²	8,1	2,1	8,3	26,0	02- 11

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIST. NEFARCTICA

AZEVEDO NETTO, J.; HESS, M.L.; PERA, A.F.; VICTORETTI, B.A.; ORTEGA, C.H.B.; RODRIGUES, J.M.C., BRANCO, S.M. - Lagoas de Estabilização. BNH/ABES/CETESB. São Paulo, 2^a ed., 1975. 241p.

BACK, J.F. - Caracterização de Sistemas Profundos de Lagoas de Estabilização - Lagoas em Série. Dissertação de Mestrado. UFPb, Campina Grande. 1986. 119p.

BRANCO, S.M. - Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 2^a ed. CETESB, São Paulo, SP. 1978. 680p.

CADWELL, D.H. - Sewage Oxidation Ponds. Performance, Operation and Design Sew. Works. Vol. 18, 1946. 433-458p.

DAVIS, E.M. & GLOYNA, E.F. - Bacterial Die-off in Ponds. J. Sanit. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. Vol 98 (SA1), 1972, 59-69p.

ENGELBERT REPORT - Health Aspects of Wastewater and Excreta Use in Agriculture and Aquaculture, Dubendorf, Switzerland Inter. Ref. Cen. for Waste Desposal Publ., 1985. 25p.

FEACHEN, R.G.; BRADLEY, D.J.; GARELICK, H.; MARA, D.D. - Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. World Bank Studies in Water Supply

and Sanitation, nº 3, Chichester, John Wiley and Sons, 1983, 501p.

FUJIOKA, R.S.; HASHIMATO, H.H.; SIWAK, E.B.; HOUNG, R.H.F. - Effect of Sunlight on Survival of Indicator Bacteria in Seawater. *App. Environ. Microb.* Vol. 41(3), 1981, 690-696p.

GAMESON, A.L.H. & SAXON, J.R. - Field Studies on Effect of Daylight on Mortality of Coliform Bacteria. *Wat. Res.* Vol. 1. 1967, 279-295p.

GRAY, E.A. - Survival of Escherichia coli in Stream Water in Relation to Carbon Dioxide and Plant Photosynthesis. *J. Appl. Bact.* Vol. 39, 1975, 47-54p.

GOLTERMAN, H.L. & CLYMO, R.S. Eds. *Methods for Chemical Analysis of Freshwaters* IBP Book nº 8, Blackwell Scientific Public. Oxford England, 1969, 166p.

JAMES, A. An Alternative Approach to the Design of Waste Stabilization Ponds. *Water Science Technology.* Vol. 19(12), 1987. 213-218p.

KING, D.L. - The Role of Carbon in Eutrophication. *J.W.P.C.F.* Vol. 42, 1970, 2035-2051p.

KONIG, A. - Ecophysiological Studies on Some Algal and Bacteria of Waste Stabilization Ponds. Tese de Doutorado, Universidade de Liverpool, Inglaterra, 1984, 175p.

MARA, D.D. - *Sewage Treatment in Hot Climate.* John Wiley

and Sons Chichester, 1976, 168p.

MARA, D.D.; PEARSON, H.W.; SILVA, S.A. - Brazilian Stabilization Pond Research Suggests Low Cost Urban Applications. World Water. Vol 6. 1983, 20-24p.

MARAIS, G.v.R. - Faecal Bacterial Kinetics in Stabilization Ponds. J. Envir. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 100 (EE1), 1974, 119-139p.

MOAWAD, S.K. - Inhibition of Coliform Bacteria by Algal Population in Micro-Oxidation Ponds - Environmental Health, Vol. 10. 1968, 106-112p.

MOELLER, J.R. & CALKINS, J. - Bactericidal Agents in Wastewater Lagoons and Lagoon Design. J.W.P.C.F. Vol. 52, 1980, 2442-2449p.

MYRES, J. Laboratory Cultures. In Physiologi and Biochemistry of Algal. Ed by R.A. Lewin, New York, 1962, 603-615p.

NEEL, J.K. & HOPKINS, G.J. - Experimental Lagooning of Raw Sewage, Sew. Ind. Wastes. Vol. 23, 1956, 1326-1356p.

OSWALD, W.J., todos os autores - "Algae Symbiosis in Oxidation Ponds. Part II - Growth Characteristics of Chlorella Pyrenoidosa, Cultured in Sewage". Sew. Ind. Wastes, 25, 1, 26. 1953.

PALMER, C.M. - A composite Rating of Algae Tolerating Organic Pollution. J. Phycol. Vol. 5. 1969. 78-82p.

PARHAD. N.M. & RAO, N.V. - Effect of pH on Survival of E.

- coli. J.W.P.C.F. Vol. 46, 1974. 980-986p.
- PARKER, C.D. - Microbiological Aspects of Lagoon Treatment. J.W.P.C.F. Vol. 34. 1962, 149-161p.
- PEARSON. H.W. & SILVA, S.A. - Variações de Certos Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos em Efluentes de Lagoas Facultativas e de Maturação. X Cong. Bras. Eng. Sanit. e Amb. Manaus - AM. 1979.
- PEARSON, H.W.; MARA, D.D.; MILLS, S.W.; SMALLMAN, D.J. - Physico-Chemical Parameters Influencing Faecal Bacterial Survival in Waste Stabilization Ponds. Water Science Technology. Vol. 19(12), 1987. 145-152p.
- PRATT, R.; DANIELS, T.C.; Eiler, J.J.; GUNNISON, J.V.; KUMLER, W.D.; ONETO, J.F.; STRAIT, L.A.; SPOEHR, H.A.; HARDIN, G.J.; MILNER, H.W.; SMITH, J.H.C.; STRAIN, H.H. - Chlorellin, an Antibacterial Substance from Chlorella. Science. Vol. 99(2574), 1944, 351-352p.
- REPORT 71. THE BACTERIOLOGICAL EXAMINATION OF DRINKING WATER SUPPLIES (Reports on Public Health and Medical Subjects nº 71) First published, H.M.S.O., London. 1983. 122p.
- ROUND, F.E. - The Ecology of Algae. 2nd Ed, Edward Arnold London, 1981. 653p.
- SILVA, S.A. & MARA, D.D. - Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias - Lagoas de Estabilização. ABES, Rio de Janeiro. 1979. 140p.

SILVA, S.A. - Eficiência de Lagoas Facultativas Primárias no Tratamento de Esgotos Domésticos no Nordeste do Brasil. XII Cong. Bras. Eng. Sanit. e Amb. Camboriu, SC., 1983.

SOARES, J. - Avaliação do Comportamento de um Sistema de Lagoas de Estabilização Profundas em Série. Dissertação de Mestrado - UFPb, Campina Grande, 1985. 65p.

SOUSA, M.F.N. - Estudo da Influência do Tempo de Detenção no Comportamento de Nutrientes ao Longo de uma Série de Lagoas de Estabilização. Dissertação de Mestrado, UFPb, Campina Grande. 1988. 185p.

SMALLMAN, D.J. - An Ecological Appraisal of Waste Stabilization Pond Performance. Tese de Doutorado, Universidade de Leeds, Inglaterra, 1986, 246p.

STANIER, R.Y.; ADELBERG, E.A.; INGRAHAM, J.L. - General Microbiology. 4th Ed. Prentice-Hall, Inc, New Jersey, USA. 1977, 871p.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - 16th Ed. APHA. Washington DC. 1985, 1268p.

TROUSSELLIER, M.; LEGENDRE, P.; BALEUX, B. - Modelling of the Evolution of Bacterial Densities in a Eutrophic Ecosystem (Sewage Lagoons). Microb. Ecology. Vol. 12, 1986. 355-379p.