

ALBERTO JOSÉ MOITTA PINTO DA COSTA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA SÉRIE LONGA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO, NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E COLIFORMES FECAIS, TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS NO NORDESTE DO BRASIL

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES: prof. SALOMÃO ANSELMO SILVA

prof. RUI DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE - PB

1992

01516-113
E-9314
Dio
623 23 (6-10)

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA SÉRIE LONGA DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO, NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E COLIFORMES
FECAIS, TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS NO NORDESTE DO BRASIL



C837a Costa, Alberto Jose Moitta Pinto da
Avaliacao do desempenho de uma serie longa de lagoas de estabilizacao, na remocao de materia organica e coliformes fecais, tratando esgotos domesticos no nordeste do Brasil / Alberto Jose Moitta Pinto da Costa. - Campina Grande, 1992. 90f. : il.

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

1. Tratamento de Aguas de Esgoto 2. Lagoas de Estabilizacao 3. Esgoto Domestico 4. Coliformes Fecais 5. Dissertacao I. Silva, Salomao Anselmo. II. Oliveira, Rui de. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). IV. Titulo

CDU 628.33(043)

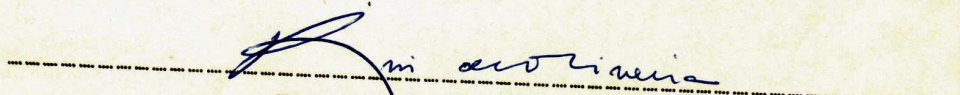
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA SÉRIE LONGA DE
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA E COLIFORMES FECAIS, TRATANDO ESGOTOS
DOMÉSTICOS NO NORDESTE DO BRASIL

ALBERTO JOSÉ MOITTA PINTO DA COSTA

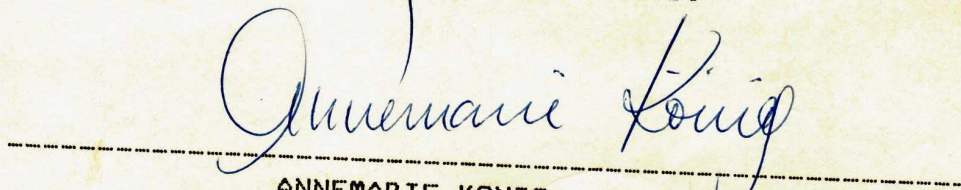
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/04/92



SALOMÃO ANSELMO SILVA - Ph.D.



RUI DE OLIVEIRA - Ph.D.



ANNEMARIE KONIG - Ph.D.



HENIO NORMANDO S. DE MELO - Dr. Ing.

CAMPINA GRANDE

ABRIL/1992

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Salomão Anselmo Silva e Rui de Oliveira pela orientação deste trabalho.

A Companhia de Abastecimento de Águas do Pará (COSANPA) pelo apoio e incentivo que me foi dado.

A equipe da EXTRABES, pelo apoio nos trabalhos de campo e momentos de descontração proporcionados, sem a qual seria extremamente difícil a realização desta Dissertação.

Aos seguintes órgãos convenentes da EXTRABES pelo suporte financeiro:

- Universidade Federal da Paraíba
- 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 a Pesquisa Técnico-Científica - FIPEC
- Banco do Brasil S.A.
- Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - PDCT/NE.

RESUMO

A pesquisa realizada teve como objetivo geral, avaliar o desempenho de uma série longa de lagoas de estabilização, na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais. O sistema experimental em escala-piloto, era alimentado com esgoto bruto doméstico, e estava localizado no Bairro da Catingueira nas dependências da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), e operado pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba). Era constituído de 10 unidades, sendo uma anaeróbia (A11), seguida de uma lagoa facultativa (F26) e oito lagoas de maturação (M25 a M32).

O monitoramento do sistema ocorreu no período de 15 de agosto a 19 de dezembro de 1991, com a série de lagoas funcionando com um tempo de detenção hidráulica total de 19 dias.

A metodologia da pesquisa consistiu na coleta de amostras de esgoto bruto e dos efluentes de todas as lagoas da série, para a determinação dos parâmetros de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, clorofila "a", Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e coliformes fecais.

O valor médio da carga orgânica volumétrica aplicada à lagoa anaeróbia (A11) da série foi de 244 g DBO₅/m³.d (3664 kg

DBO₅/ha.d), e a remoção de matéria orgânica expressa em DBO₅ foi de 95,4 %, com uma concentração média de DBO₅ de 11 mg/l no efluente final da série.

A percentagem para remoção de coliformes fecais pelo sistema foi de 99,9991 %, e correspondeu a uma concentração média de 131 CF/100 ml no efluente final da série. Os resultados obtidos demonstraram que o tempo de detenção hidráulica total exerce importante influência na redução de bactérias fecais. Com a utilização de projetos adequados, é possível obter percentuais em torno de 50 % de economia de terreno, com a implantação de sistemas longos de lagoas de estabilização tratando esgoto bruto doméstico em climas tropicais.

ABSTRACT

A pilot-scale series of ponds, treating domestic sewage with a total hydraulic retention time of 19 days, and situated at the Campina Grande city's sewage treatment plant (7°13'11" S, 35°52'31" W, 550 m above mean sea level, Paraíba State, Northeast Brazil), was investigated, between August and December 1991, in order to evaluate its performance on the removal of organic matter and faecal coliform. The experimental system was made up of ten ponds, being the first an anaerobic (A11), fed with raw sewage, followed by a secondary facultative (F26) and eight maturation ponds (M25 - M32). The parameters pH, temperature, dissolved oxygen, chlorophyll "a", biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD) and faecal coliform (FC), were determined on grab samples of raw sewage and pond effluents, collected at 8 a.m., and also on daily composite samples of raw sewage.

The mean organic load applied to the anaerobic pond was 244 g BOD₅/m².d (3664 kg BOD₅/ha.d), and the final effluent of the series had a mean BOD₅ of 11 mg/l and 131 faecal coliform/100 ml, corresponding to removals of 95.4 and 99.9991 %, respectively.

Results showed that faecal bacterial removal is dependent

on the way the total hydraulic retention time is distributed throughout the series, and led to the conclusion that a long series represents a land-saving alternative (up to 50 % of saving can be obtained) for the design of waste stabilization pond systems, treating domestic sewage in tropics.

INDICE

página

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 - Lagoas de Estabilização	5
2.2 - Mecanismos Atuantes em Lagoas de Estabilização	7
2.2.1 - Digestão Anaeróbia de Compostos Orgâ- nicos	7
2.2.2 - Oxidação Aeróbia de Matéria Orgânica ...	8
2.3 - Classificação de Lagoas	9
2.3.1 - Lagoas Anaeróbias	10
2.3.2 - Lagoas Facultativas	12
2.3.3 - Lagoas de Maturação	19
2.4 - Lagoas de Estabilização em Série	21
2.5 - Critérios de Projeto para Lagoas de Estabiliza- ção	24
2.5.1 - Lagoas Anaeróbias	24
2.5.2 - Lagoas Facultativas	26
2.5.3 - Lagoas de Maturação	29
2.6 - Indicadores Biológicos	31
2.7 - Remoção de Coliformes Fecais Através de Lagoas de Estabilização	34
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	39

3.1 - Descrição do Sistema	39
3.2 - Alimentação do Sistema	40
3.3 - Metodologia da Pesquisa	41
3.3.1 - Coleta de Amostras	41
3.3.2 - Amostra Composta de Esgoto Bruto	42
3.3.3 - Parâmetros Analisados	43
3.3.4 - Procedimentos Analíticos	43
3.3.4.1 - DBO ₅	43
3.3.4.2 - DQO	44
3.3.4.3 - Temperatura	44
3.3.4.4 - pH	44
3.3.4.5 - Clorofila "a"	44
3.3.4.6 - Coliformes Fecais	45
4 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS	53
4.1 - Apresentação de Resultados	53
4.1.1 - Clorofila "a"	57
4.1.2 - pH	57
4.1.3 - Coliformes Fecais	57
4.1.4 - DBO ₅	58
4.1.5 - DQO	59
4.1.6 - Temperatura	59
4.1.7 - Oxigênio Dissolvido	59
5 - DISCUSSÃO	63
5.1 - Matéria Orgânica	63
5.2 - Coliformes Fecais	65
6 - CONCLUSÕES	74
7 - ANEXO I	77
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1 - INTRODUÇÃO

A concentração de populações humanas em regiões onde existe água em abundância, próximas de lagos ou ao longo de rios, originou o problema da poluição de corpos receptores pelos seus próprios despejos. A descarga contínua de esgotos em águas superficiais a torna imprópria para o consumo, trazendo riscos à saúde para a população que, por sua vez, não para de crescer, contribuindo ainda mais para o aumento gradativo da deterioração da qualidade da água do corpo receptor.

Uma das soluções para diminuir os perigos à saúde é o tratamento de esgotos, que tem como finalidade básica a correção de suas características, de modo a garantir que o lançamento de efluentes oriundos de estações de tratamento de águas residuárias, estejam de acordo com os limites estabelecidos pelos órgãos de fiscalização, responsáveis pela saúde pública. O tratamento de águas residuárias visa portanto, a remoção dos principais constituintes indesejáveis do esgoto, que são os sólidos em suspensão, a matéria orgânica biodegradável, os organismos patogênicos e nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio.

Apesar da existência de diversos métodos e sistemas propostos para o tratamento de esgotos, lagoas de estabilização

são amplamente utilizadas em inúmeras partes do mundo, em virtude de suas muitas vantagens, tais como o baixo custo de implantação, operação e manutenção, o que as torna bastante atrativas para a escolha, principalmente porque o fator econômico exerce notável influência. Dependendo do tamanho e necessidades específicas de cada comunidade, as lagoas podem ser utilizadas em tratamentos parciais ou completos, em conjunto ou não, com outros processos primários e/ou secundários de tratamento. ✕

Lagoas de estabilização são métodos de tratamento, no qual se estabelecem processos inteiramente naturais, razão pela qual, funcionam como reatores biológicos onde são verificadas interações entre as mais diferentes espécies de organismos. Apresentam bons resultados na remoção de sólidos sedimentáveis e matéria orgânica, com principal destaque para a redução de organismos patogênicos, não conseguindo entretanto, alcançar resultados expressivos para a remoção de nutrientes, ainda que estudos mais recentes (ELLIS, 1983; REED, 1985) expressem otimismo em relação aos percentuais alcançados na remoção de fósforo e nitrogênio.

Além da sedimentação, o principal responsável pela redução de DBO_5 , é a conversão de matéria orgânica para metano, que ocorre nas lagoas anaeróbias. A conversão de matéria orgânica para formação de nova biomassa de algas, verificada em lagoas facultativas, é de benefício duvidoso segundo alguns autores (JONES, 1987), uma vez que se o processo não for controlado,

elevadas concentrações de biomassa de algas serão descarregadas junto ao efluente do sistema, contribuindo para o aumento da concentração de sólidos suspensos.

No entanto, é na capacidade de eliminar organismos patogênicos, que as lagoas de estabilização são consideradas como um sistema altamente eficiente. Enquanto os métodos de tratamento convencionais alcançam geralmente faixas de 90 a 98%, os resultados encontrados em lagoas, mostram valores normalmente na faixa de 99,9 a 99,999% (MARA, 1976). Uma das possíveis explicações para essa elevada eficiência, é a presença de vários fatores que tornam o meio aquático, inóspito à sobrevivência de organismos patogênicos.

Realmente, a opção por projetos de sistemas com lagoas de estabilização, vem conquistando a cada dia maior número de adeptos, desde que se disponha de área para sua implantação, mas no entanto, a operação com longos tempos de detenção hidráulica, responsáveis pela excelente eficiência na remoção de organismos patogênicos, requer grandes extensões de terra para a construção do sistema. Devido a essa desvantagem, o EXTRABES vem desde 1984, desenvolvendo trabalhos de pesquisa direcionados para avaliação de economia potencial de terra, com a finalidade de encontrar alternativas e soluções, que justifiquem a opção por lagoas de estabilização em projetos de tratamento de esgotos.

Este trabalho segue as diretrizes adotadas pela EXTRABES, e tem como objetivo, avaliar o desempenho de uma série longa de

lagoas na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais. Relaciona também a atuação do tempo de detenção hidráulica na remoção de coliformes fecais, para determinação da economia de terreno que pode ser alcançada, proporcionando a caracterização do sistema e otimização dos critérios necessários para seu projeto e implantação.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

A definição mais comumente utilizada para lagoas de estabilização é que são grandes reservatórios, de pequena profundidade, delimitados por diques de terra, nos quais o material orgânico, presente nas águas residuárias, é estabilizado por processos biológicos, e portanto naturais, envolvendo principalmente algas e bactérias (SILVA e MARA, 1979).

Lagoas de estabilização, além de apresentarem custo muito baixo e empregarem tecnologia muito simples, possuem uma eficiência elevada no tratamento de águas residuárias (MARA e PEARSON, 1986).

Em virtude dessas lagoas atuarem através de processos inteiramente naturais, sem o auxílio de nenhum aparato mecânico, sua velocidade de oxidação da matéria orgânica é reduzida, e por conseguinte, necessitam de longos períodos de detenção hidráulica, e portanto, uma grande área de terreno é requerida para sua implantação. Isso representa, sem dúvida, a maior desvantagem do uso de lagoas de estabilização, a qual no entanto, é superada pelas suas muitas vantagens, conforme será descrito adiante. É justamente devido aos seus longos tempos de detenção e

condições de quiescência hidráulica, que as lagoas de estabilização representam um excelente método de remoção de parasitas intestinais presentes nas águas residuárias, uma vez que após a sedimentação de cistos de protozoários e ovos de helmintos, no fundo das lagoas, eles tendem a morrer (SILVA e MARA, 1979).

+ Dentre as vantagens apresentadas por sistemas de lagoas MARA e PEARSON (1986) citam as seguintes:

a) são com certeza a forma mais barata de tratamento, tanto em sua implantação como em operação e manutenção, não requerendo nenhuma espécie de suprimento de energia externa que não seja a solar;

b) são capazes de reduzir a concentração afluyente de organismos patogênicos excretados para níveis extremamente baixos, e essa capacidade é de suma importância na reutilização de efluentes para agricultura e aquacultura, ou onde a prevalência de doenças relacionadas às excretas é alta, como na maioria dos países em desenvolvimento, tais como o Brasil;

c) suportam e são capazes de absorver grandes variações de cargas hidráulicas e orgânicas;

d) possuem tolerância e são capazes de remover altas concentrações de metais pesados;

e) sua operação e manutenção além de simples não é onerosa.

2.2 - MECANISMOS ATUANTES EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

ARTHUR (1983), relata que os mais importantes processos que atuam no tratamento de águas residuárias através de lagoas de estabilização são:

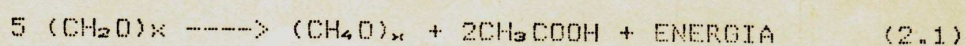
a) o efeito reservatório, capacitando as lagoas a absorver tanto altas cargas orgânicas quanto hidráulicas;

b) sedimentação, permitindo que sólidos sedimentáveis sejam depositados no fundo da lagoa;

c) estabilização da matéria orgânica presente no esgoto por bactérias aeróbias, na presença de oxigênio e por bactérias anaeróbias na ausência de oxigênio.

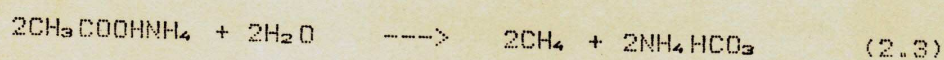
2.2.1 - DIGESTÃO ANAERÓBIA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS

A digestão anaeróbia é basicamente um processo de dois estágios, no qual o primeiro deles é denominado de putrefação, ou fermentação ácida. Na fase de putrefação, compostos orgânicos hidrolizados são convertidos em ácidos orgânicos, tais como acético, propiônico e butírico, por bactérias anaeróbicas produtoras de ácidos (de OLIVEIRA, 1990; van HAANDEL and LETTINGA, no prelo).



Após serem neutralizados pela ação tamponadora de bicarbonatos presentes na solução os ácidos orgânicos, produtos

do primeiro estágio, são bioquimicamente transformados em metano e outros produtos simples, pela ação de bactérias metanogênicas (OSWALD, 1968; ARTHUR, 1983; de OLIVEIRA, 1983, 1990). Esta segunda fase é conhecida como fermentação metanogênica e as principais reações envolvidas são demonstradas pelas equações abaixo:



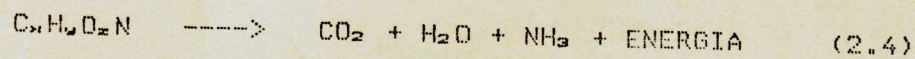
Na digestão anaeróbia a neutralização, ocorrida pela ação do bicarbonato, é de suma importância para a realização do processo, visto que as bactérias metanogênicas são muito sensíveis a condições ácidas, variações no pH, presença de detergentes e metais pesados, variações de alcalinidade, temperatura e sulfetos (OSWALD, 1968; de OLIVEIRA, 1983, 1990).

2.2.2 - OXIDAÇÃO AERÓBIA DA MATÉRIA ORGÂNICA

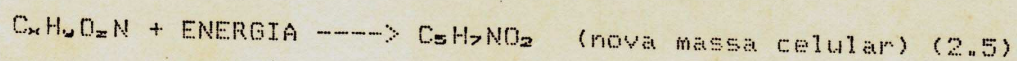
Na oxidação aeróbia parte do material orgânico metabolizado é transformado bioquimicamente para produtos finais estáveis, tais como dióxido de carbono, água, fosfato e amônia, num processo denominado de catabolismo ou dissimilação, que é acompanhado por liberação de energia. Parte dessa energia é utilizada para a síntese de nova massa celular, em outro processo que ocorre simultaneamente ao primeiro, e é denominado anabolismo (MARA, 1976; van HAANDEL, 1981).

As equações abaixo representam as reações que ocorrem em ambos os processos:

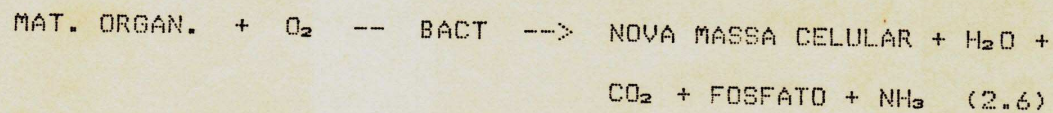
- CATABOLISMO:



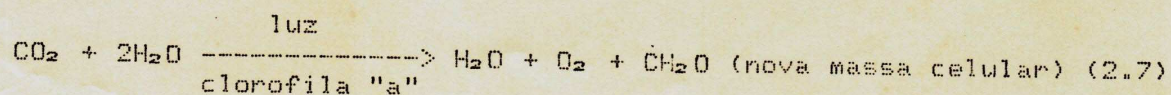
- ANABOLISMO:



O metabolismo aeróbio também pode ser representado através da equação geral abaixo (ARTHUR, 1983).



O oxigênio requerido para a oxidação aeróbia da matéria orgânica é fornecido principalmente por algas e cianobactérias (algas verde-azuladas) através de atividade fotossintética que pode ser expressa de maneira simples através da equação (ARTHUR, 1983):



2.3 - CLASSIFICAÇÃO DE LAGOAS

Lagoas de estabilização são geralmente classificadas de acordo com a predominância dos dois processos, tanto aeróbio como

anaeróbio, pelos quais o material orgânico, geralmente expresso como DBO, é removido. Lagoas anaeróbias operam com altas cargas orgânicas e atuam como uma unidade primária em um sistema de lagoas e baseiam-se na digestão anaeróbia para degradar matéria orgânica. Já as lagoas facultativas operam com cargas orgânicas mais baixas que as utilizadas em lagoas anaeróbias, permitindo que algas se desenvolvam nas camadas mais superficiais, realizando atividade fotossintética.

As lagoas de maturação são predominantemente aeróbias, em virtude da remoção da maior parte da carga orgânica afluyente do sistema ser efetuada pelas unidades precedentes que, normalmente, são lagoas anaeróbia e/ou facultativa. Sua principal função é a destruição de organismos patogênicos.

Existe um quarto tipo de lagoa denominada de alta taxa de degradação. Essas lagoas possuem pequenas profundidades, que geralmente não ultrapassam 0,50 m e são projetadas para tratar esgoto decantado. Sua principal utilidade é a cultura e a alta produção de algas (SILVA, 1982; MENDONÇA, 1990).

2.3.1 - LAGOAS ANAERÓBIAS

As lagoas anaeróbias são projetadas para funcionar como tratamento primário para águas residuárias com elevadas concentrações de matéria orgânica biodegradável e alto teor de sólidos suspensos (MARA, 1976). De acordo com MARA e PEARSON (1986) valores de DBO₅ em torno de 300 mg/l e de sólidos

suspensos maiores que 300 mg/l representam a faixa ótima na qual são obtidas as maiores eficiências e vantagens da utilização de tais lagoas. A completa falta de oxigênio dissolvido nessas lagoas deve-se às elevadas cargas orgânicas (100 - 400 g DBO₅/m³.d). Para que a digestão anaeróbia ocorra adequadamente é essencial que a temperatura seja suficientemente alta. Temperaturas na faixa de 15 a 19°C são consideradas mínimas para o funcionamento do processo, sendo que, abaixo dessas a digestão não ocorre consistentemente e as lagoas atuam mais como simples tanques de sedimentação e acumulação de lodos (SILVA e MARA, 1979).

MARA (1976) afirma que para a operação de lagoas anaeróbias ser bem sucedida é necessário que exista um delicado equilíbrio entre as atividades das bactérias formadoras de ácidos e das bactérias metanogênicas. Para que tal equilíbrio seja alcançado, temperaturas acima de 15°C são necessárias e o valor do pH deve ser em torno de 7,0, pois valores tendendo para 6,0 indicam que o processo pode entrar em colapso iminente. A operação dessas lagoas dentro dos parâmetros citados acima, além de produzirem rendimento satisfatório, tornam mínima a acumulação de lodo nessas lagoas. LUMBERS (1979), por sua vez, relata que temperaturas acima de 20°C e valores de pH na faixa de 6,0 a 8,0 em conjunto com a aplicação contínua de altas cargas e ausência de substâncias tóxicas, são os principais fatores que promovem o sucesso da operação de uma lagoa anaeróbia.

Uma lagoa, portanto, pode ser mantida anaeróbia através da aplicação de uma carga orgânica, que ultrapasse sua capacidade de atividade fotossintética, e a impossibilidade de produzir oxigênio. Na Califórnia, USA, a carga orgânica crítica, varia de 100 lbs DBO_5 /acre.dia, no inverno, a 460 lbs DBO_5 /acre.dia, no verão, (112 - 516 kg DBO_5 /ha.d) (OSWALD, 1968).

O desempenho das lagoas anaeróbias está realmente, tão ligado à temperatura (MARA, 1976; MARA e PEARSON, 1987), que ELLIS (1983) as considerou " um fenômeno dos climas tropicais ".

Remoções de DBO na faixa de 70% são obtidas nessas lagoas (OSWALD, 1968). De acordo com WHO (1989) remoções de DBO variando entre 40 e 60% podem ser alcançadas, dependendo do tempo de detenção e da temperatura. SILVA (1982), trabalhando com lagoas em escala-piloto, encontrou remoções de DBO na faixa de 68 a 80%.

"O pré-tratamento anaeróbio é tão vantajoso que a primeira consideração em projetos de séries de lagoas deveria sempre incluir a possibilidade de pré-tratamento anaeróbio " (MARAIS, 1974).

2.3.2 LAGOAS FACULTATIVAS

Lagoas facultativas são classificadas em primárias e secundárias. As lagoas facultativas primárias são aquelas que recebem águas residuárias brutas, ao passo que as lagoas facultativas secundárias são assim classificadas por receberem

águas residuárias pré-tratadas, como efluentes de lagoas anaeróbias, de decantadores primários ou de qualquer outro tipo de sistema de tratamento.

Em lagoas facultativas é possível distinguir zonas de anaerobiose e aerobiose. As condições de aerobiose são principalmente mantidas através de algas nas camadas superiores da lagoa. Essas algas se estabelecem nas lagoas por intermédio de um relacionamento simbiótico com bactérias aeróbicas e facultativas. Este relacionamento é de fato um sistema cíclico de trocas, no qual as bactérias metabolizam a matéria orgânica presente nas águas residuárias produzindo, entre outros compostos, dióxido de carbono, amônia e fosfatos. As algas utilizam esses compostos inorgânicos para a formação da nova massa celular, produzida através de fotossíntese, liberando oxigênio ao final do processo, o qual atua como agente oxidante, e é utilizado por bactérias aeróbicas e facultativas na degradação de mais matéria orgânica, completando o ciclo que aparece representado na Figura 2.1 (SILVA e MARA, 1979; de OLIVEIRA, 1990).

As condições de anaerobiose em lagoas facultativas são mantidas, em parte, pela camada de lodo formada no fundo das lagoas devido à sedimentação de uma parcela da DBO afluente. A profundidade é outro fator de relevância pois, limitando a penetração dos raios solares à camada superior da massa líquida, não permite que as algas se desenvolvam ao longo de toda a coluna

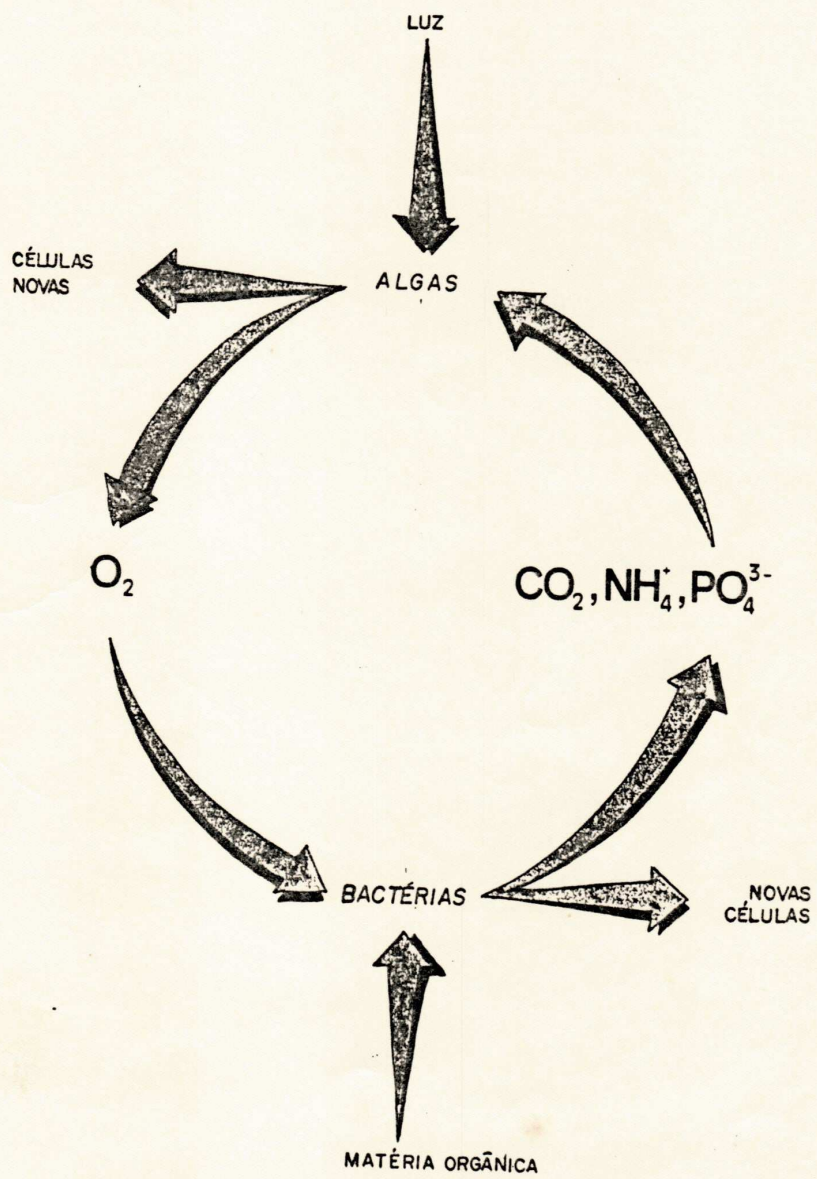
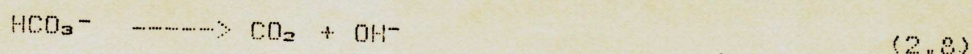


FIGURA 2.1 - SIMBIOSE DE ALGAS E BACTÉRIAS EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.

de água, contribuindo desse modo, para a predominância de condições anaeróbias nas camadas mais próximas ao fundo (SILVA, 1982).

Durante o dia, importantes mudanças são verificadas ao longo da coluna de água. A fotossíntese, sendo uma atividade dependente da luz solar, sofre variações ao longo do ciclo diário. Nas horas do dia que apresentam intensidade luminosa favorável (10000 lux) (HALL and RAO, 1977), a produção fotossintética de oxigênio sofre um aumento considerável, elevando a concentração de oxigênio dissolvido a níveis que podem chegar eventualmente à condição de supersaturação. Ao entardecer, um declínio na concentração de oxigênio é verificado, pela diminuição da produção fotossintética (ELLIS, 1983). A lagoa pode tornar-se à noite totalmente anóxica, existindo somente uma estreita camada aeróbia à superfície.

Ao longo do dia também é observada uma elevação nos valores de pH em uma lagoa, provocada por uma demanda elevada de dióxido de carbono pelas algas durante os períodos de intensa atividade fotossintética. Dióxido de carbono dissolvido é retirado da massa líquida, na quantidade necessária para o processo. Na ausência de dióxido de carbono dissolvido, inicia-se a dissociação dos íons bicarbonato presentes, produzindo mais dióxido de carbono, com a formação de íons hidroxila, responsáveis pelo aumento no valor do pH:



Em lagoas facultativas é verificada a ocorrência de um fenômeno que impede o transporte de oxigênio das camadas mais próximas da superfície para as camadas mais profundas da coluna de água. Este fenômeno é conhecido como estratificação térmica e se desenvolve como resultado da radiação solar intensa e da ausência de ventos, que aquecendo as camadas superficiais, produz uma camada quente superior, de baixa densidade na qual, muitas vezes, temperaturas acima de 35°C são comuns (ELLIS, 1983; BACK, 1986). Inversamente ao que ocorre na camada superficial, a zona inferior é constituída por uma camada mais fria e de maior densidade. A camada quente superior é separada da fria por uma zona que apresenta grande variação de temperatura, denominada de termoclina (SILVA e MARA, 1979).

Outro efeito que contribui consideravelmente para o fenômeno de estratificação é a mobilidade dos vários gêneros de algas ao longo da coluna de água em uma lagoa. Os gêneros móveis, através de sua capacidade de movimentação pela massa líquida, ao não suportarem a intensa radiação solar incidente nas camadas superficiais, afastam-se para níveis mais inferiores. Essa densa camada de algas pode ter a espessura de 30 mm (ELLIS, 1983), e estar localizada a 300 mm, podendo chegar em certas ocasiões, a 500 mm abaixo da superfície da lagoa, e portanto, impedindo a penetração de luz solar nas camadas mais profundas. Devido à formação dessa camada opaca, o efeito de estratificação torna-se maior, com a camada superior tornando-se mais quente e menos densa, e as regiões inferiores tornando-se relativamente mais

frias e mais densas. A termoclina encontra-se usualmente logo abaixo dessa camada de algas (MARA, 1976). O resultado do excessivo aquecimento das camadas superficiais é uma queda na viscosidade da solução, provocando um movimento descendente das espécies de algas não móveis da camada superior até a camada de lodo, onde exercem certa demanda, aumentando ainda mais o efeito de estratificação (SILVA e MARA, 1979). As espécies de algas não móveis que sedimentam através da termoclina até as regiões mais profundas e escuras das lagoas, passam a exercer uma demanda de oxigênio por estarem impossibilitadas de executar atividade fotossintética, tornando essa região, abaixo da termoclina, rapidamente anaeróbia (MARA, 1976).

Uma das desvantagens da estratificação é o aparecimento de curto-circuito, que permite a passagem de águas residuárias através das camadas superficiais sem se misturar com o restante de água acumulada na lagoa, reduzindo consideravelmente, o tempo de detenção efetivo a períodos insatisfatórios. A outra grande desvantagem é que a estratificação não permite a distribuição do oxigênio por toda a massa líquida e, como resultado, a região onde ocorre atividade aeróbia torna-se bastante limitada reduzindo extremamente a capacidade de purificação da lagoa. Durante a estratificação, pode ser observado, a um determinado nível da coluna de água, o aparecimento de um ponto de compensação. Esse ponto determina a profundidade na qual a taxa de produção fotossintética de oxigênio pelas algas é igual a taxa de remoção de oxigênio por respiração (ELLIS, 1983).

A ação do vento é o meio mais eficaz para quebrar a estratificação térmica. Isto ocorre pois o vento age resfriando as camadas superficiais, e seu efeito de cisalhamento gera turbulência formando ondas em lagoas de grande área, produzindo por convecção, a mistura vertical que, não somente destrói a estratificação mas contribui para o aumento da absorção de oxigênio pelas camadas superficiais, e aumenta circunstancialmente, a transferência de oxigênio ao longo da massa líquida, melhorando conseqüentemente a eficiência da lagoa (MARA, 1976; ELLIS, 1983).

Remoções de DBD em lagoas facultativas primárias variam geralmente na faixa de 70 a 80% (ARTHUR, 1983). SILVA (1982) determinou que a remoção média é de cerca de 75% da carga orgânica superficial, expressa em termos de DBD₅. MARAIS (1974), afirma que a camada de lodo é a responsável, através de fermentação metanogênica anaeróbica, pela remoção de percentuais acima de 30% da DBD que entra na lagoa.

Remoções de coliformes fecais nas lagoas em escala-piloto estudadas por SILVA (1982), variaram entre 94 e 99,5% para lagoas operadas com tempos de detenção de 6,3 e 18,9 dias, respectivamente.

As remoções em lagoas facultativas secundárias são pequenas se comparadas às de lagoas primárias. Remoções de DBD na faixa de 15 a 30% e de coliformes fecais variando entre 55 e 89%.

respectivamente para tempos de detenção de 3,2 e 5,5 dias, são relatadas por SILVA (1982). Para efeito de cálculo geralmente são utilizados valores de remoção de DBO de 30% (MARA,1976).

2.2.2 LAGOAS DE MATURAÇÃO

Geralmente lagoas de maturação são utilizadas como estágio posterior a lagoas facultativas e têm como principal função a destruição de microrganismos patogênicos. Bactérias de origem fecal e vírus, morrem rapidamente no que é para eles um meio ambiente inóspito (MARA,1976). De fato, as lagoas de maturação devem ser projetadas principalmente para realizar a remoção de bactérias de origem fecal e vírus, uma vez que a maior parte da DBO já foi removida nas unidades precedentes (lagoas facultativas e anaeróbias) (LUMBERS, 1979; ELLIS, 1983). Além disso, as lagoas podem ser projetadas para algumas das finalidades descritas abaixo (ELLIS, 1983):

- a) diminuir a concentração de material orgânico biodegradável;
- b) oxidar a amônia remanescente para nitrato;
- c) diminuir a concentração de sólidos suspensos;
- d) diminuir a concentração de nutrientes solúveis.

Diversas explicações para sua eficiência na remoção de patogênicos já foram sugeridas, tais como a presença de agentes

bactericidas, bacteriófagos, presença de predadores tais como rotíferos e vários protozoários, elevados valores de pH, deficiência de nutrientes, competição entre as diversas espécies de organismos, variação de temperatura e ação da luz solar. ELLIS (1983), coloca em debate a possibilidade de existir uma relação entre a taxa de mortalidade dos microrganismos entéricos e a diversidade de algas, a qual depende das condições ambientais:

ARTHUR (1983) afirma que as lagoas de maturação são geralmente rasas, com profundidades variando na faixa de 1,2 a 1,5 m para manter suas condições aeróbicas, mas com a vantagem adicional que a remoção de vírus é indiscutivelmente melhor nas lagoas mais rasas do que nas lagoas mais profundas. Lagoas de maturação são predominantemente aeróbias e capazes de manter essas condições de aerobiose até profundidades de 3,0 m (MARA, 1976).

É também possível obter considerável sucesso na remoção de nutrientes, principalmente de fosfatos através de lagoas de maturação. Tanto nitrogênio (amônia) como fósforo (fosfato) podem ser removidos através da atividade anabólica ocorrida durante o aumento da biomassa de algas e outros microrganismos, mas no entanto, este não é o principal mecanismo pelo qual tais nutrientes são retirados. O fosfato é removido principalmente através de precipitação como hidroxapatita $[Ca_5(PO_4)_3OH]$, a altos níveis de pH (acima de 10,0), resultantes da atividade fotossintética. A volatilização da amônia pela superfície da lagoa, a valores de pH elevados (9,0 a 11,0), e a sedimentação de