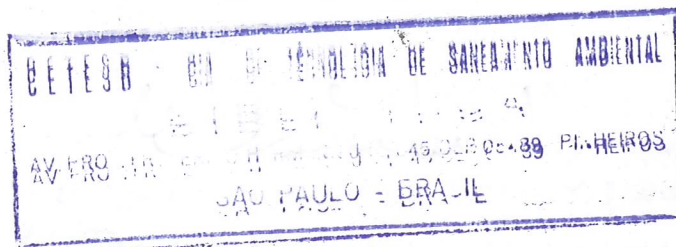


NHES

DIRETORIA DE TECNOLOGIA DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS

Engº Werner Eugênio Zulauf



SUPERINTENDÊNCIA DE APOIO TÉCNICO  
EM RESÍDUOS SÓLIDOS

Engº Max Arthur Veit

GERÊNCIA DE DISPOSIÇÃO FINAL

Eng.<sup>a</sup> Maria Helena de A. Orth

TRATABILIDADE DOS EFLUENTES LÍQUIDOS  
DE ATERROS SANITÁRIOS EM LAGOAS DE  
ESTABILIZAÇÃO

ARQUIVO TÉCNICO

EQUIPE TÉCNICA

Eng.<sup>a</sup> Maria Helena de A. Orth  
Engº Luiz Augusto Ramos Stellin  
Tecnólogo João Antonio Fuzaro  
Técnico Arloyaldo J. Barrotti

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO .....	2
2. OBJETIVOS DO ESTUDO .....	4
3. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVAS .....	6
3.1 - Princípios de funcionamento .....	6
3.2 - Vantagens do emprego de lagoas facultativas .....	9
4. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO EM ESTUDO.	11
4.1 - Fatores incontroláveis do processo ....	11
4.2 - Fatores parcialmente controláveis do processo .....	11
5. ENSAIO EFETUADO .....	19
5.1 - Metodologia do ensaio .....	19
5.2 - Particularidades construtivas do sistema .....	19
5.3 - Critérios de dimensionamento .....	23
5.4 - Resultados experimentais .....	26
5.4.1 - Regime de bombeamento de "chorme" .....	26
5.4.2 - Análises efetuadas .....	32
5.4.3 - Análise dos resultados obtidos.	41
5.4.3.1 - Taxas de aplicação superficial e tempo de detenção do líquido a ser tratado .....	43

5.4.3.2 - Eficiência dos sub sistemas na redução das concentrações de DBO, DQO, fósforo to tal, e Nitrogênio to tal do líquido a ser tratado .....	45
6. CONCLUSÕES .....	55
7. BIBLIOGRAFIA .....	58



1. INTRODUÇÃO.

3. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVAS

## 1. INTRODUÇÃO

Apresentam-se aqui os estudos de tratabilidade dos líquidos percolados de aterros, pelo processo de lagoas de estabilização, os quais foram desenvolvidos no aterro sanitário de Engenheiro Goulart, conforme solicitação da proposta nº 702.306 de 31 de outubro de 1977, dando continuidade aos estudos de caracterização físico-química e bacteriológica do "chorume".

A área onde se desenvolveram os estudos é formada por lagoas oriundas da extração de areia e que, devido à proximidade do rio Tietê, está sujeita a alagamentos, principalmente, na época de maior precipitação pluviométrica.

A implantação de aterros sanitários em tais locais, cujas condições ambientais se caracterizam por um elevado teor de umidade, apresenta problemas advindos da produção excessiva de efluentes líquidos, os quais necessitam ser tratados e dispostos de forma sanitária.

Como o aterro de Engenheiro Goulart oferecia condições apropriadas para a execução dos estudos, foi desenvolvido e executado o sistema de tratamento pelo processo de lagoa de estabilização facultativa.

2. OBJETIVOS DO ESTUDO.

## 2. OBJETIVOS DO ESTUDO.

Em face da preocupação fundamental de se preservar o meio ambiente local da contaminação dos líquidos oriundos do aterro, elaboraram-se estudos de viabilidade de tratamento desses efluentes, com o objetivo de atenuar sua carga poluidora.

Como esses líquidos apresentam características semelhantes às dos esgotos domésticos, com grande porcentagem de matéria orgânica biodegradável, optou-se pelo sistema de tratamento do tipo lagoa de estabilização facultativa, por ser este processo tecnicamente o mais adequado ao ensaio proposto e por já existir na área algumas lagoas. Uma delas foi selecionada como lagoa piloto, onde se desenvolveram os ensaios.

Portanto, o presente estudo objetiva avaliar a tratabilidade dos efluentes líquidos de aterros sanitários em lagoas de estabilização semelhantes às usadas no tratamento de esgotos domésticos.

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

### 3. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVAS.

#### 3.1 - Princípios de funcionamento.

Lagoas de estabilização facultativas são lagoas nas quais ocorre o tratamento natural da matéria orgânica degradável existente num corpo líquido em duas fases distintas, porém intimamente relacionadas, caracterizadas por atividades microbiológicas anaeróbias e aeróbias.

No ponto de chegada do líquido a ser tratado, onde é maior a concentração de matéria orgânica, e na camada de fundo predominam mecanismos de oxidação anaeróbios, cujos elementos resultantes são metabolizados aerobiamente nas camadas superiores da lagoa, rica em algas e oxigênio

Nas zonas anaeróbias, primeiramente os microorganismos anaeróbios metabolizam as proteínas, os hidratos de carbono e os lipídeos (gorduras), produzindo grande quantidade de âcidos orgânicos de baixa massa molecular, baixando conseqüentemente o pH do meio para 5 ou 6, e também matéria orgânica desprovida de oxigênio. Esta matéria volátil é formada principalmente por compostos mal-cheirosos, como o

gás sulfídrico, mercaptanas, indóis, nitrilas, fosfinas e outros.

As bactérias produtoras de metana e outros tipos de microrganismos encontram condições para se desenvolverem após a formação de ácidos orgânicos. Aquelas bactérias oxidam estes ácidos, havendo em consequência a formação de gás carbônico e metana principalmente. Nesta fase, o pH passa a se elevar até atingir um valor acima de 7, mantendo-se constante na faixa de 7,2 a 7,5. Este meio, agora ligeiramente alcalino, controla a produção de compostos odoríferos, principalmente o gás sulfídrico, o qual é substituído por sulfidrilas que permanecem em solução e são praticamente inodoras.

A matéria nitrogenada dá origem aos nitritos e nitrogênio. Às vezes são também encontrados nitratos. As matérias fosforadas dão origem a fosfitos e fosfatos, a maioria dos quais é incorporada à massa que se deposita no fundo.

Ao atingir este estado, a fase anaeróbia entra em equilíbrio biológico, onde os ácidos orgânicos formados pelos microrganismos presen

tes são imediatamente metabolizados pelas bactérias metânicas associadas a outros macro e microrganismos, e a lagoa pode ser considerada completamente inodora.

No restante da massa líquida, na fase aeróbia portanto, deve haver predominância dos mecanismos de oxidação aeróbicos, que se baseiam na simbiose entre algas e bactérias.

As bactérias, utilizando-se do oxigênio dissolvido na massa líquida, decompõem a matéria orgânica, produzindo, principalmente, gás carbônico, nitratos, fosfatos e sais de amônio. Na atividade fotossintetizante das algas, o gás carbônico e os sais minerais liberados pelas bactérias, em presença da luz solar, são utilizados na produção de oxigênio que, juntamente com aquele resultante das trocas com a atmosfera, irá manter a vida das próprias bactérias.

Esses fenômenos se fecham num círculo que se manterá harmonioso enquanto houver equilíbrio entre os elementos: oxigênio, alimentos e luz, e não houver influências de fatores limitantes tais como substâncias inibidoras ou tóxicas às bactérias ou algas.

### 3.2 - Vantagens do emprego de lagoas facultativas

As lagoas de estabilização, tanto as aeróbias como as facultativas, são de eficiência elevada, têm baixo custo de construção e apresentam operação e manutenção fáceis e econômicas quando comparadas com a maioria dos processos convencionais de tratamento de esgotos.

Sob o ponto de vista estético, essas lagoas têm a possibilidade de serem enquadradas em planos de urbanização, em vista do seu aspecto agradável e da ausência de odores ofensivos, o que não se verifica com as lagoas anaeróbias.

Outra vantagem é a de serem praticamente insensíveis a sobrecargas temporárias.

Ainda, sobre as lagoas aeróbias, as facultativas têm a vantagem de não dependerem da remoção de lodo e de algas.

Não há, também, a necessidade de instalação de equipamentos mecânicos para aeração da massa líquida e, até certo ponto, independem da agitação provocada pelos ventos. Em resumo, lagoas facultativas dispensam a condição de aerobiose no seio da massa de lodo que se acumula sobre o fundo.



4. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO EM ESTUDO.

#### 4. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO EM ESTUDO.

Diversos fatores interferem no desenvolvimento deste processo de estabilização, podendo ser classificados em fatores incontroláveis e parcialmente controláveis.

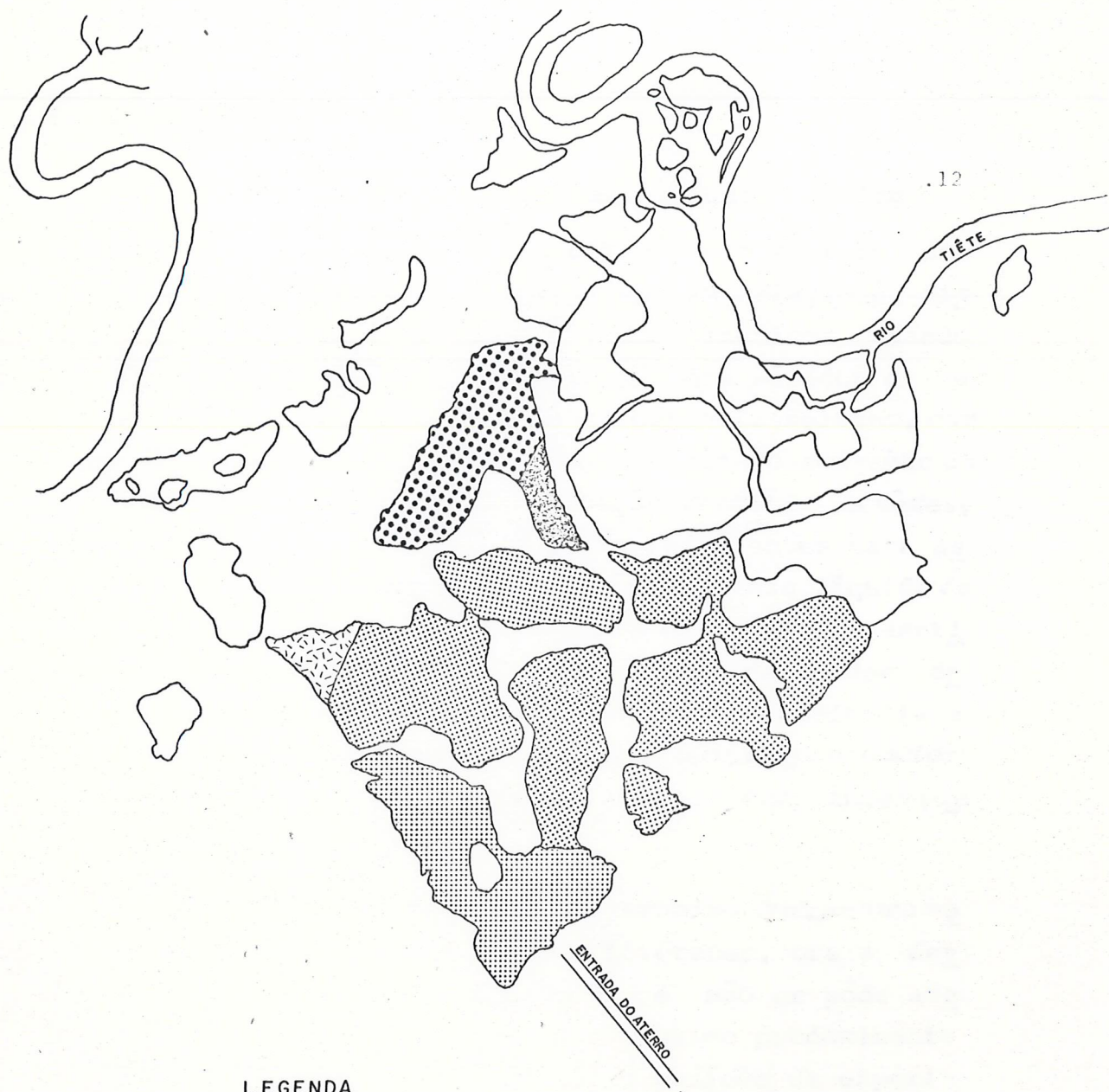
##### 4.1 - Fatores incontroláveis do processo

No caso do aterro sanitário de Engenheiro Goulart, não se projetou propriamente uma lagoa de estabilização e sim utilizou-se de uma lagoa já existente no local para o lançamento dos efluentes líquidos do aterro (vide fig. 4.1 - localização da lagoa piloto).

Durante a realização dos ensaios ocorreram diversos problemas, que foram considerados como fatores intervenientes de caráter incontrolável, quais sejam:

##### a) forma da lagoa

Ela apresenta o inconveniente de possuir um braço morto onde podem ter se acumulado lodos que se constituirão em carga poluidora extra, de difícil avaliação.



LEGENDA






- |   |                               |   |                             |
|---|-------------------------------|---|-----------------------------|
|  | LAGOAS ATERRADAS              |  | BRAÇO MORTO DA LAGOA PILOTO |
|  | LAGOA PILOTO                  |  | LAGOAS                      |
|  | LAGOA ARMAZENADORA DE CHORUME |   |                             |

Figura nº 4.1 LOCALIZAÇÃO DA LAGOA PILOTO DE TRATAMENTO, NA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO DE ENGENHEIRO GOULART.

b) Agitação da massa líquida da lagoa

Em geral, a direção e o sentido dos ventos predominantes, em relação à disposição da lagoa, são benéficos quando favorecem a dispersão dos sólidos e a distribuição do oxigênio dissolvido, com consequente homogenização do conteúdo da lagoa. Essa agitação permite, às vêzes, a formação de ondas suficientes para assegurar a circulação da massa líquida da lagoa com manutenção de condições estritamente aeróbias. A ação das ondas depende das dimensões da superfície livre da lagoa, sendo tanto maior quanto maior fôr a extensão na direção dos ventos predominantes.

Os ventos em Engenheiro Goulart ora sopravam de forma a favorecer, ora a desfavorecer o processo e não se pôde avaliar a direção e o sentido predominante dos mesmos durante o período da experi-ência.

c) Regularidade e permeabilidade do fundo da lagoa

A regularidade do fundo tem por finalidade assegurar a não concentração de lodos em determinados pontos da lagoa, o que pode aumentar consideravelmente o consumo de oxigênio nessas regiões, vin

do a prejudicar o processo.

Quanto à permeabilidade do fundo, dependendo do tipo de solo, pode permitir uma infiltração talque não haja efluente. No caso do aterro de Engenheiro Goulart, onde é bastante alto o nível do lençol freático e, como praticamente não ocorreu variação no nível da lagoa piloto, consideraram-se desprezíveis tanto a saída como a entrada dos líquidos na mesma, através dos fenômenos de infiltração.

d) Profundidade da lagoa

A profundidade da lagoa afeta diretamente a atividade fotossintetizante das algas que, devido a problemas com a penetração de luz, não conseguem sobreviver em grandes profundidades.

Por outro lado, pequenas profundidades (até 0,50m) permitem o desenvolvimento de plantas aquáticas no interior da lagoa, o que é indesejável. Assim, alguns autores, visando a solução desse problema, além de criar condições para a máxima produção de oxigênio pelas algas, fixam a profundidade de 0,60 m para lagoas facultativas. Outros autores visando ainda evitar problemas com grandes variações diárias de temperatura da massa líquida (temperaturas altas duran

te o dia e baixas à noite), recomendam profundidades superiores a 0,90m.

Como a lagoa em ensaio possuía profundidade média em torno de 2,20 m, tentou-se alterar o nível de água, e consequentemente reduzir a profundidade da lagoa aos níveis recomendados. Porém, devido à grande permeabilidade do solo que compõe o fundo da mesma e que permitiu a movimentação fácil de líquidos tanto para dentro como para fora da lagoa, foi praticamente impossível manter o seu nível abaixo do nível das outras lagoas circunvizinhas.

Contudo, como se pretendeu manter a lagoa piloto em regime de funcionamento facultativo, fez-se desnecessário manter toda a massa líquida em estado de aerobiose, dispensando-se assim alterações de profundidade da mesma.

#### 4.2 - Fatores parcialmente controláveis do processo

Como fatores parcialmente controláveis do processo, consideraram-se:

- a) Nutrientes

Além do gás carbônico, as algas necessitam de outros elementos para o seu metabolismo, principalmente nitrogênio e fósforo. Caso haja falta ou insuficiência de um desses elementos, o processo de desenvolvimento das algas poderá ser seriamente prejudicado, ou mesmo impedido. Assim, para evitar que tais inconvenientes ocorram, esses elementos podem ser adicionados artificialmente à lagoa.

Neste estudo, muito embora se verificasse uma significativa insuficiência de fósforo no líquido em tratamento, não se utilizou desse recurso, pois pretendeu-se observar o desenvolvimento do processo de estabilização do chorume em suas condições naturais.

#### b) Área superficial

A área superficial da lagoa é o fator de maior importância na determinação da capacidade estabilizadora de uma lagoa facultativa, já que dela depende diretamente a exposição da massa líquida à luz solar e à atmosfera, o que é de suma importância para as trocas gasosas e à fotossíntese.

Como a área da lagoa piloto é fixa (4,14 hectares), determinou-se a vazão afluente de chorume de modo a se garantir

tir a aplicação de uma carga orgânica sempre tolerável ao processo de estabilização, respeitando-se assim uma determinada taxa de aplicação superficial, expressa em quilos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) por dia e por unidade de área (hectare).

A área considerada útil ao processo de tratamento foi obtida subtraindo-se a área do braço morto citado, chegando-se assim ao valor de 2,94 hectares, valor este que foi aplicado nos cálculos necessários ao dimensionamento do sistema.

5. ENSAIO EFETUADO.

## 5. ENSAIO EFETUADO.

### 5.1 - Metodologia do Ensaio

O processo em si resumiu-se em introduzir o líquido percolado do aterro na lagoa piloto, onde se deu o tratamento, principalmente através de processos biológicos.

A vazão desse afluente foi calculada tendo-se como meta a manutenção da lagoa em condições facultativas de funcionamento, além de se obter um rendimento máximo na redução das concentrações dos principais elementos poluentes contidos no líquido.

O controle do processo foi realizado através do monitoramento do afluente e da lagoa piloto, isto pela coleta e análises físico-químicas e bacteriológicas de amostras de chorume e de diversos pontos da lagoa piloto.

### 5.2 - Particularidades construtivas do sistema

O sistema de tratamento utilizado cons

tituiu-se de:

- . lagoa armazenadora de chorume
- . bomba de recalque
- . medidor de vazão
- . canal de terra
- . lagoa piloto

A seguir apresentam-se algumas das características desses componentes, suas instalações e localizações conforme indicado na fig. 5.1.

a) lagoa armazenadora de chorume

Com a paralização da aterragem da antiga lagoa IX, restou uma extremidade não aterrada na mesma lagoa IX, na qual acumularam-se os líquidos percolados do aterro. Essa massa líquida esteve sujeita às águas de infiltração das lagoas vizinhas, bem como à diluição pelas águas de chuvas. Ao mesmo tempo, como o conteúdo da lagoa IX ficou retido durante um tempo significativo de alguns meses na mesma, ele esteve sujeito a processos biológicos de estabilização, através de mecanismos anaeróbios. A ação conjunta desses elementos resultou na produção de um líquido semelhante a chorume diluído.

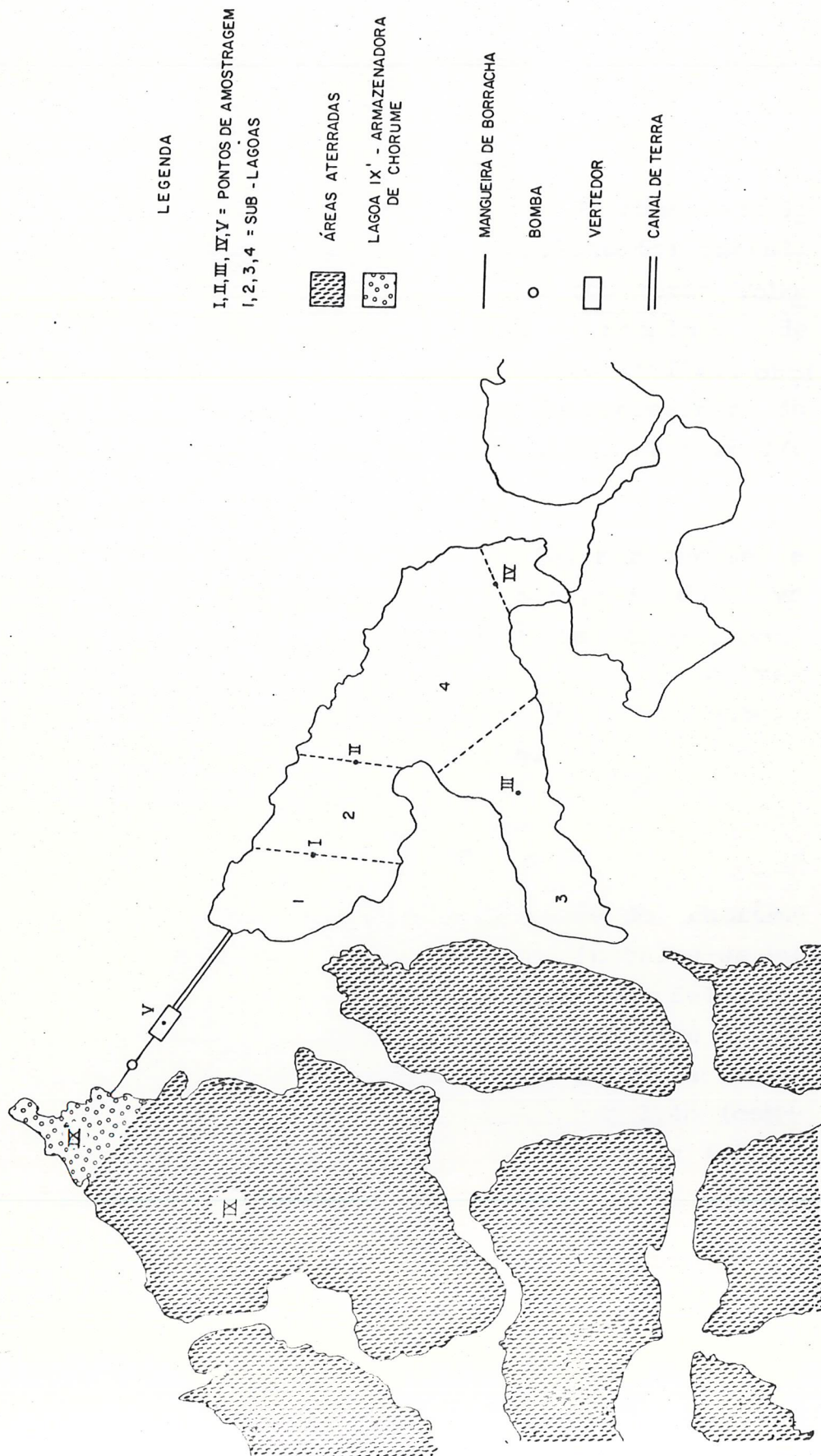


Figura nº 5.1 - ESQUEMA GERAL DE LOCALIZAÇÃO DAS SUB-LAGOAS E DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

b) Bomba de recalque

Para a transferência do chorume da lagoa IX' para a lagoa piloto foi instalada uma bomba centrífuga com motor "Volkswagen" e com tubulação de recalque de diâmetro "4", cujas vazões limites, obtidas com as regulagens da aceleração do motor foram de 22 l/s (mínima) e 28 l/s (máxima).

Durante a experiência, manteve-se a bomba funcionando no seu ponto de vazão mínima, visando não se sobrecarregar o motor, o qual deveria ficar pelo menos uma hora parado para resfriamento, e duas horas trabalhando.

c) Medidor de vazão

Para o controle da vazão do chorume afluente à lagoa piloto, instalou-se um vertedor triangular, de paredes delgadas na saída da tubulação de recalque da bomba. Esse vertedor foi acoplado a uma caixa de madeira de dimensões 3,4m (comprimento), 1,0m (largura) e 0,5m (altura).

O cálculo das vazões foi efetuado através da fórmula:

$$Q = 1.400 h^{2,5}$$

Onde:

$Q$  = vazão instantânea (em l/s)

$h$  = nível do líquido que escoá pelo ver  
tedor (em m)

Durante a experiência, a condição de vazão mantida - 22 l/s - refere-se a um nível de líquido de  $h = 0,19$  m

Na figura 5.2, apresenta-se a curva de calibração do vertedor triangular.

d) Canal de terra

Para o transporte do líquido do vertedor até a lagoa foi aberto no solo um canal e colocado em seu leito uma cama da de pedra britada de, aproximadamente, 0,2 m no intuito de proteger o canal da erosão.

### 5.3 - Critérios de dimensionamento

O dimensionamento das lagoas de estabilização pode ser feito baseando-se em fórmulas derivadas de critérios racionais ou através do emprego de valores empíricos. A maioria das lagoas é dimensionada com base em valores em

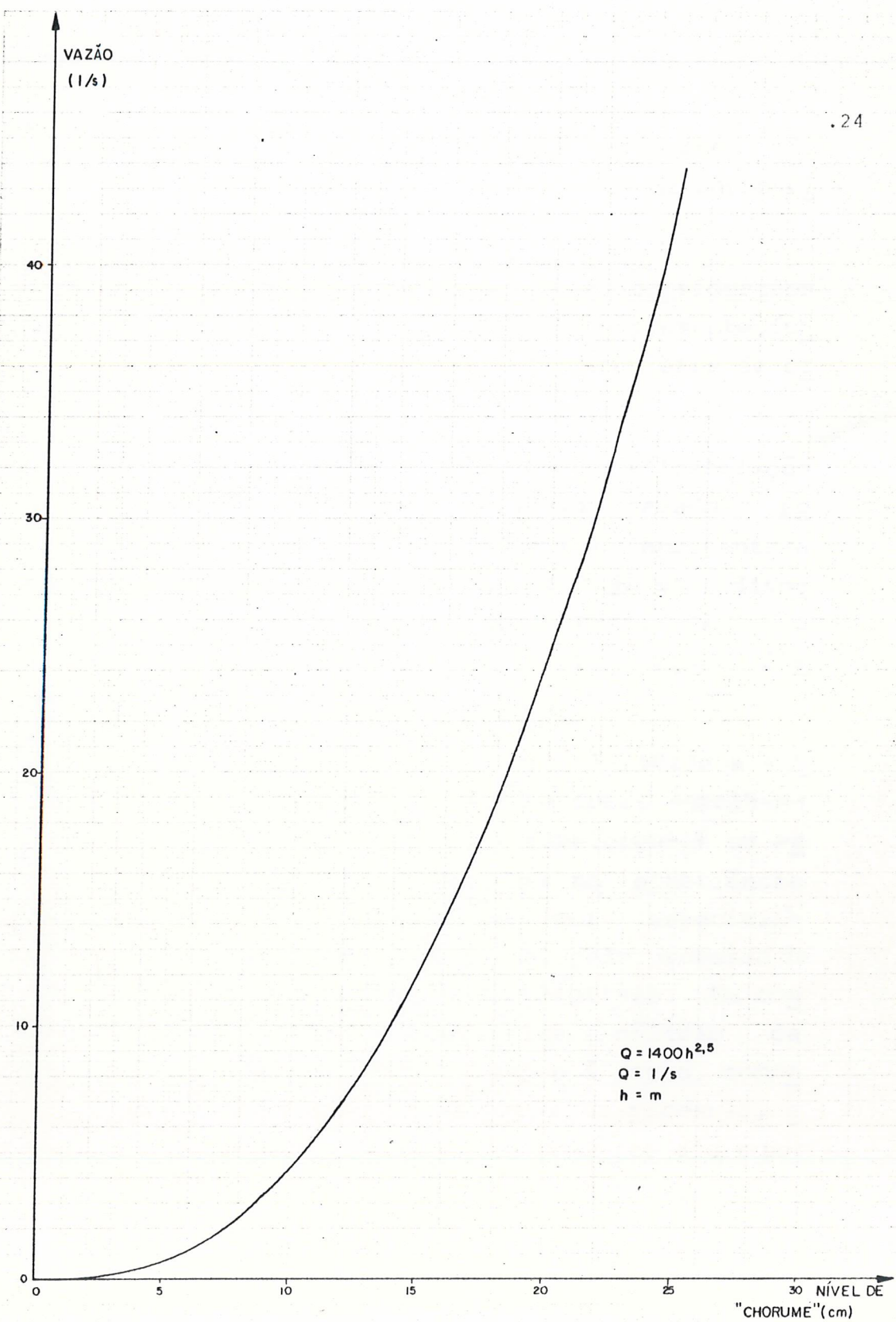


FIG. 5.2 - CURVA DE CALIBRAÇÃO DO VERTEDOR TRIANGULAR

píricos, já que as tentativas de emprego de critérios racionais estão em fase de desenvolvimento.

Diversos fatores devem ser considerados no projeto de uma lagoa, tendo-se presente, fundamentalmente, as condições particulares de cada caso.

É prática comum moldar-se a instalação de tratamento ao efluente a ser tratado, porém, neste caso particular que apresentava um carácter experimental, e que já se dispunham das instalações de tratamento, moldou-se o efluente às capacidades de instalações disponíveis.

Considerando essa particularidade e a inexistência de trabalhos anteriores semelhantes ao ora desenvolvido, estabeleceu-se um esquema de trabalho baseando-se na experiência acumulada ao longo dos anos, por especialistas em tratamento de esgotos, pelo processo de lagoas de estabilização facultativas. Em consequência desses estudos, para o cálculo da carga orgânica diária afluente à lagoa, compatível para o melhor rendimento do processo, adotou-se a taxa de 100 kg de DBO por dia e por hectare de área superficial da lagoa.

Assim, em função dos valores periódicos da DBO do chorume, calculou-se a carga orgânica total que deveria ser aplicada à lagoa.

Na prática, o controle foi feito variando-se o tempo de bombeamento de chorume, já que a vazão da bomba era fixa e igual à mínima possível de 22 l/s. Na figura 5.3, apresenta-se a variação de volume bombeado de chorume em função do tempo de bombeamento. Dessa forma, o sistema era mantido em regime de funcionamento intermitente.

As análises físico-químicas realizadas semanalmente em amostras de "chorume" realizavam uma constante redução em sua concentração. Assim, para compensar tais mudanças e, na medida do necessário, aumentou-se o tempo de funcionamento da bomba de modo a garantir sempre a taxa de aplicação pré-fixada.

#### 5.4 - Resultados experimentais.

##### 5.4.1 - Regime de bombeamento de "chorume".

Na figura 5.4, apresentam-se em gráfico os valores dos tempos teóricos de bombeamento do "chorume" em função da demanda bioquímica de oxigênio, necessários para se ter uma taxa de aplicação na lagoa piloto de 100 kg de DBO/dia. ha para uma vazão da bomba de 22 l/s e pa-

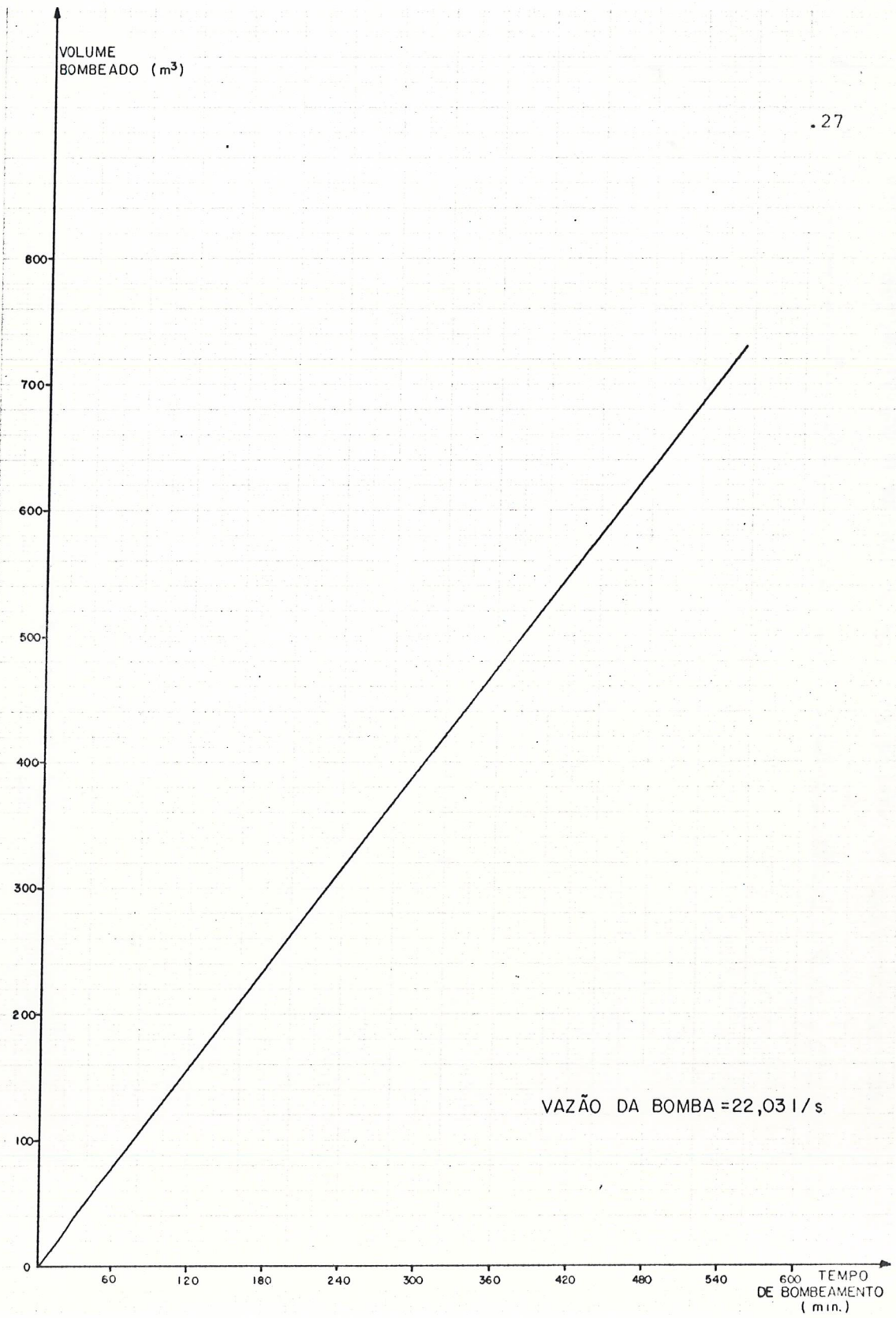


FIG.5.3 -VARIAÇÃO DE VOLUME EM FUNÇÃO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO DO CHORUME

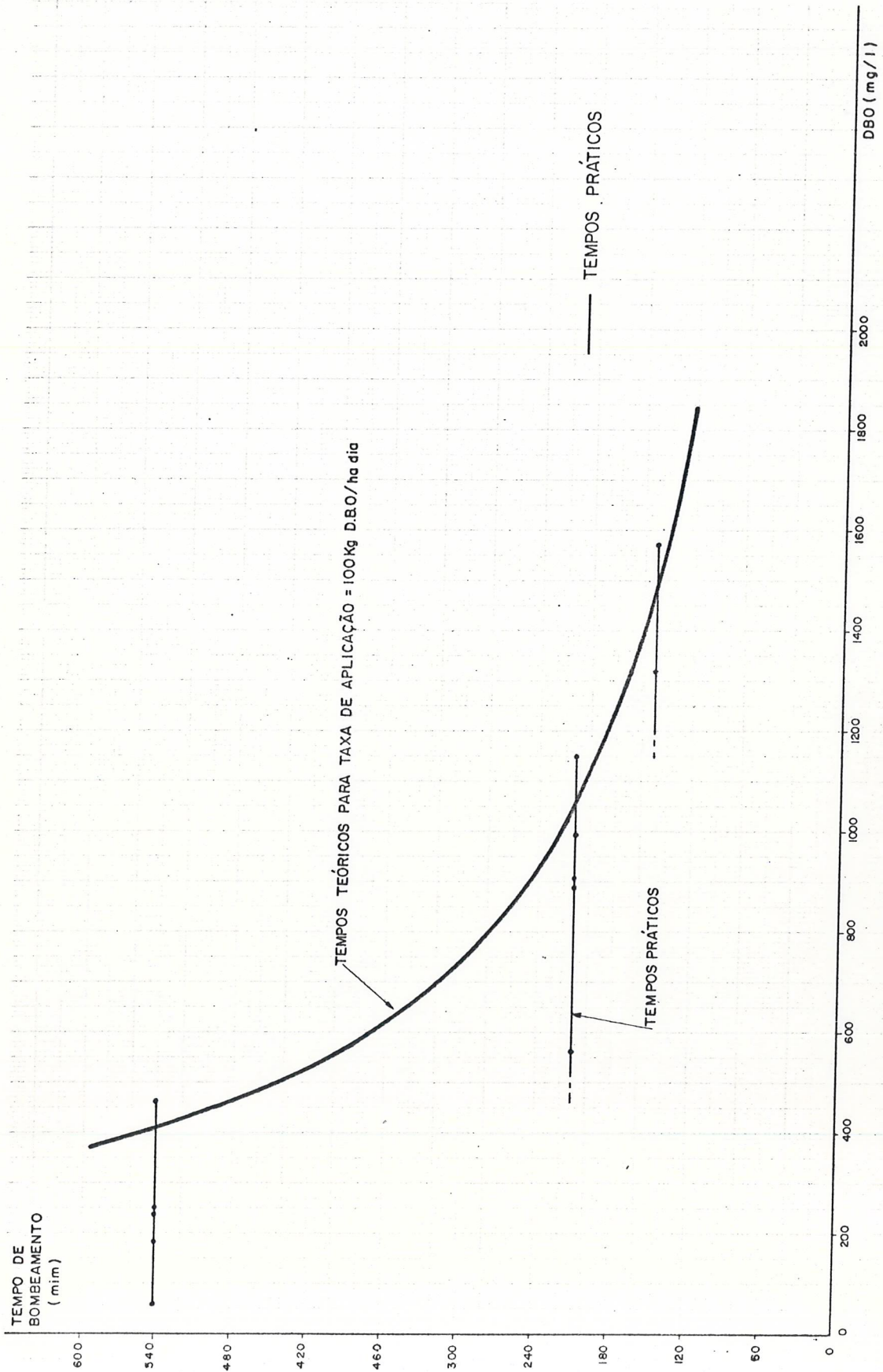


FIG. 5.4 - VARIACÃO DO TEMPO DE BOMBAMENTO DO CHORUME EM FUNÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

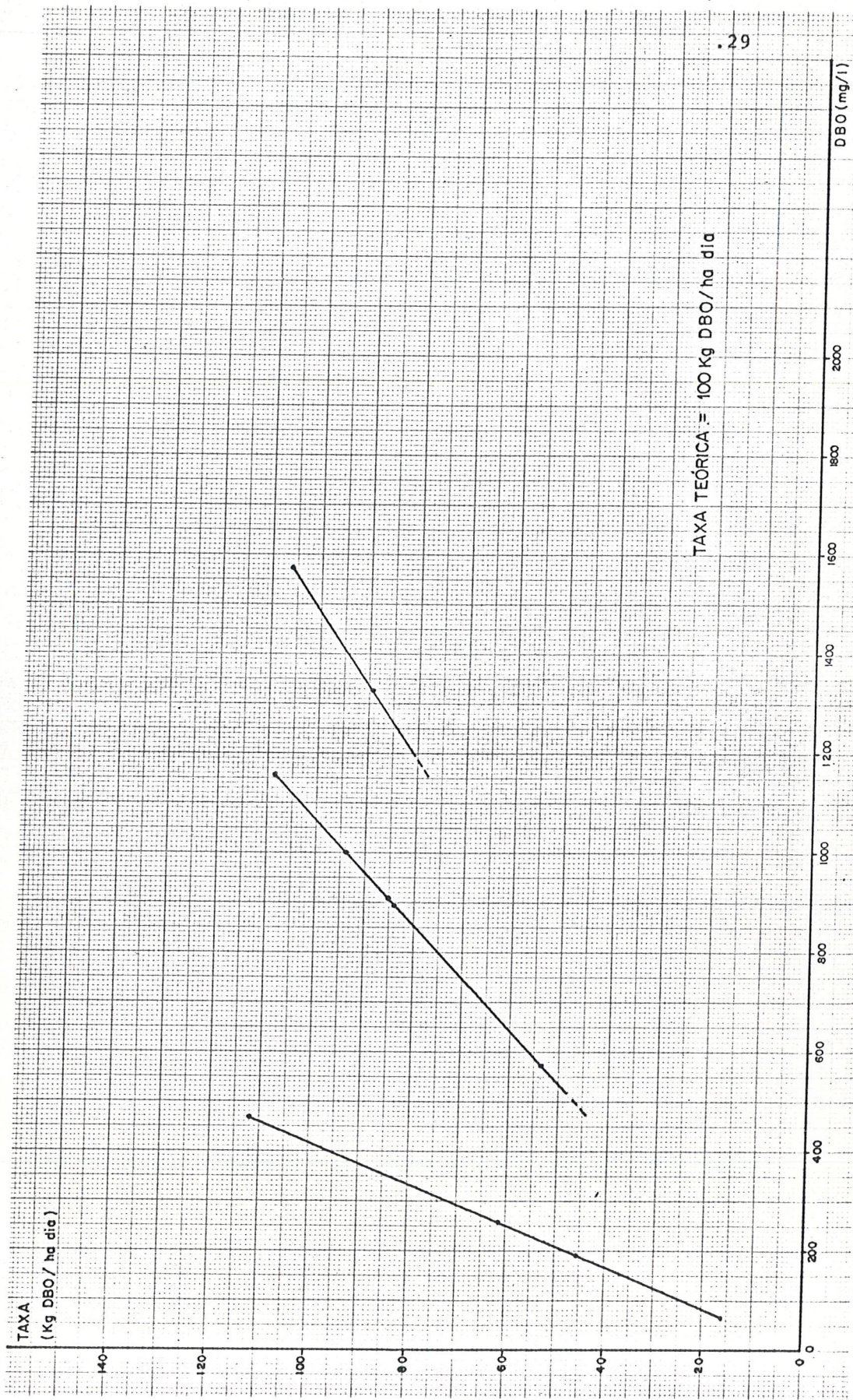


FIG. 5.5 - TAXAS REAIS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL EM FUNÇÃO DA DBO

ra uma área superficial de 2,94 ha.

Na prática, devido à impossibilidade de se conhecer continuamente a DBO do líquido, procurou-se ajustar os tempos, quando era notada uma tendência de variação desse parâmetro, após análise do efluente em laboratório.

Analisando-se as curvas de variação dos tempos de bombeamento (vide figura 5.4), observa-se uma significativa defasagem entre as curvas dos tempos teóricos e as de tempos práticos, resultando daí taxas de aplicação reais diferentes da taxa pré-estabelecida (vide tabela 5.1 e figura 5.5). Essas defasagens ocorreram devido aos seguintes fatores:

a) dificuldade de obtenção dos valores da DBO, logo após as coletas de amostras, visto que são necessários cinco dias para realização dessas análises em laboratório.

b) impossibilidade de se constatar alterações imediatas no processo de tratamento, logo após ocorrerem mudanças na carga orgânica devido à mudança do tempo de bombeamento.

c) dificuldades na previsão de

TABELA 5.1 - TAXAS REAIS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE "CHORUME" NA LAGOA PILOTO

DATA	TEMPO DE BOMBAMENTO (min)	VOLUME BOMBEADO (m <sup>3</sup> )	D.B.O (mg / l)	CARGA ORGÂNICA (Kg DBO / dia)	TAXA REAL DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO / ha dia)
16.12.77	150	198,0	1.570	310,9	106
02.01.78	150	198,0	1.320	261,4	89
09.01.78	210	277,2	1.150	318,8	108
16.01.78	210	277,2	892	247,3	84
23.01.78	210	277,2	993	275,3	94
30.01.78	210	277,2	906	251,1	85
09.02.78	210	277,2	564	156,3	53
16.02.78	540	712,8	468	333,6	113
23.02.78	540	712,8	253	180,3	61
02.03.78	540	712,8	252	179,6	61
20.03.78	540	712,8	190	135,4	46
05.04.78	540	712,8	65	46,3	16

Observ.: . Vazão da bomba = 22 l/s

. Taxa de aplicação Teórica = 100 kg DBO/ha.dia

. Área útil da lagoa considerada = 2,94 ha

variações da concentração de matéria orgânica do "chorume" (expressa em D.B.O), impossibilitando a programação de alterações sistemáticas do tempo de bombeamento.

Como já citado, a concentração de matéria orgânica diminuiu continuamente com o tempo, ao contrário do esperado, resultando taxas de aplicação superficial quase sempre inferiores à fixada.

Observações:

- . Após o dia 02/03/78, ocorreu danificação na bomba e os ensaios foram paralisados por vinte dias;
- . Devido à interferência das obras do Parque Ecológico no local onde se realizavam os ensaios, os mesmos foram suspensos a partir do dia 5 de maio de 1978.

5.4.2 - Análises efetuadas.

Para controle da evolução do processo e visando obter-se um maior número de informações sobre o processo de tratamento biológico do "chorume", considerou-se a lagoa piloto dividida em

quatro sub-lagoas distintas, que foram estudadas separadamente.

Essas sub-lagoas foram numeradas de 1 a 4 e, na saída de cada uma delas, foi demarcado um ponto para amostragem do líquido efluente de uma sub-lagoa e afluente da sub-lagoa subsequente.

Nos pontos das sub-lagoas, foram coletados semanalmente amostras da massa líquida, além de amostras do "chorume" no vertedor, sendo determinados os seguintes parâmetros:

- . temperatura;
- . pH;
- . nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e total;
- . fósforo total;
- . demanda bioquímica de oxigênio (DBO);
- . demanda química de oxigênio (DQO).

Quinzenalmente, procurou-se analisar ainda os seguintes parâmetros do "chorume" afluente ao sistema:

- . resíduos totais, fixos, filtráveis, não filtráveis e sedimentáveis.



TABELA nº 5.3 - PARÂMETROS DE CONTROLE DA LAGOA PILOTO

ANÁLISE	UNIDADE	16.12.77				02.01.78				09.01.78				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
pH	-	6,4	7,2	6,8	6,6	7,1	7,3	7,0	7,1	7,2	7,1	7,1	7,1	7,1
TEMPERATURA	°C	26	26	26	26	23	23	23	23	27	27	27	27	27
NITROGÊNIO AMONÍACO	mg/l N	0,28	0,03	0,01	0,00	0,62	0,41	0,25	0,28	0,25	0,26	0,26	0,26	0,30
NITROGÊNIO NITRITO	mg/l N	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NITROGÊNIO NITRATO	mg/l N	0,02	0,02	0,01	0,01	0,22	0,23	0,25	0,24	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
NITROGÊNIO TOTAL	mg/l N	1,14	0,76	0,78	0,69	1,58	1,24	1,14	1,01	0,94	1,03	0,96	1,04	
FÓSFORO TOTAL	mg/l P	0,008	0,017	0,011	0,020	0,014	0,023	0,017	0,020	0,011	0,017	0,014	0,011	
D. B. O	mg/l	7	6	4	2	15	9	6	5	4	4	4	5	
D. Q. O	mg/l	26	18	19	17	33	40	31	30	25	29	27	26	

TABELA nº 5.3 - PARÂMETROS DE CONTROLE DA LAGOA PILOTO

ANÁLISE	UNIDADE	16.01.78				23.01.78				30.01.78			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PH	-	7,3	7,1	7,1	7,0	-	-	-	-	6,9	6,9	6,9	6,9
TEMPERATURA	°C	24	24	24	24	26	26	26	26	27	27	27	27
NITROGÊNIO AMONIAICAL	mg/l N	1,22	0,86	0,64	0,76	1,15	1,23	1,23	1,18	2,58	2,30	2,39	1,83
NITROGÊNIO NITRITO	mg/l N	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
NITROGÊNIO NITRATO	mg/l N	0,10	0,12	0,17	0,15	0,09	0,07	0,09	0,08	0,03	0,04	0,02	0,04
NITROGÊNIO TOTAL	mg/l N	2,33	2,00	1,59	1,90	2,46	2,47	2,40	2,45	4,22	3,74	3,77	3,26
FÓSFORO TOTAL	mg/l P	0,020	0,017	0,014	0,044	0,014	0,011	0,038	0,035	0,038	0,032	0,044	0,017
D. B. O	mg/l	10	6	4	4	11	11	11	10	18	15	20	13
D. G. O	mg/l	41	38	34	35	43	43	41	41	53	46	45	42

TABELA nº 5.3 - PARÂMETROS DE CONTROLE DA LAGOA PILOTO

ANÁLISE	UNIDADE	09.02.78				16.02.78				23.02.78			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PH	-	7,2	7,1	7,1	7,0	7,0	7,1	7,1	7,1	6,4	6,7	6,7	7,0
TEMPERATURA	°C	23	23	23	26	26	26	26	26	26	26	26	26
NITROGÊNIO AMONÍACAL	mg/l N	3,60	3,04	3,16	0,53	0,69	3,20	2,58	2,22	3,60	3,93	3,55	3,55
NITROGÊNIO NITRITO	mg/l N	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NITROGÊNIO NITRATO	mg/l N	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
NITROGÊNIO TOTAL	mg/l N	4,18	4,26	3,26	1,57	1,54	4,12	3,43	3,07	76,7	13,1	4,59	11,9
FÓSFORO TOTAL	mg/l P	0,035	0,029	0,035	0,011	0,038	0,020	0,029	0,017	0,029	0,041	0,035	0,048
D. B. O	mg/l	19	13	11	14	8	8	6	6	11	8	29	33
D. Q. O	mg/l	56	45	45	43	35	36	36	34	37	54	52	55

TABELA nº 5.3 - PARÂMETROS DE CONTROLE DA LAGOA PILOTO

ANÁLISE	UNIDADE	02.03.78				20.03.78				05.04.78 (superfície)			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PH	-	7,4	7,4	7,4	7,5	7,6	7,8	8,3	8,1	8,0	8,0	8,0	8,0
TEMPERATURA	°C	26	26	26	26	-	-	-	-	-	-	-	-
NITROGÊNIO AMONÍACAL	mg/l N	4,32	1,95	4,52	5,28	3,46	3,10	2,78	2,95	2,67	2,26	3,10	2,36
NITROGÊNIO NITRITO	mg/l N	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
NITROGÊNIO NITRATO	mg/l N	0,03	0,03	0,03	0,03	0,10	0,10	0,09	0,09	0,06	0,06	0,06	0,07
NITROGÊNIO TOTAL	mg/l N	22,7	5,9	18,7	9,74	4,62	3,52	3,18	4,08	4,27	3,39	3,25	3,52
FÓSFORO TOTAL	mg/l P	0,011	0,029	0,023	0,029	0,023	0,017	0,023	0,020	0,023	0,035	0,026	0,032
D. B. O	mg/l	7	7	6	6	2	3	3	2	10	6	5	4
D. Q. O	mg/l	32	29	32	30	30	29	27	28	32	26	23	21

TABELA nº 5.3 - PARÂMETROS DE CONTROLE DA LAGOA PILOTO

ANÁLISE	DATA		05.04.78 (profundidade)											
	UNIDADE	PONTO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
pH	-		7,8	7,8	7,7	7,6								
TEMPERATURA	°C													
NITROGÊNIO AMONIACAL	mg/l N		2,46	2,96	2,41	2,82								
NITROGÊNIO NITRITO	mg/l N		0,02	0,02	0,02	0,02								
NITROGÊNIO NITRATO	mg/l N		0,06	0,06	0,06	0,06								
NITROGÊNIO TOTAL	mg/l N		3,70	4,06	3,52	3,98								
FÓSFORO TOTAL	mg/l P		0,023	0,026	0,029	0,029								
D. B. O	mg/l		6	3	4	5								
D. Q. O	mg/l		26	26	22	22								

Observ.: . Bomba avariada dia 02.03.78  
 . Ensaio encerrados dia 05.04.78

- . cloretos;
- . sulfatos;
- . ferro;
- . cobre;
- . chumbo;
- . zinco;
- . manganês;
- . cromos hexavalente e total;
- . cádmio.

Essas análises (ver resultados nas tabelas 5.2 e 5.3) tiveram como objetivo observar o comportamento de alguns elementos considerados como inibidores do processo, relacionando-os assim com eventuais alterações na eficiência do tratamento.

Estudando-se esses resultados obtidos com as análises efetuadas do "chorume" e dos pontos limítrofes das sub-lagoas, obtiveram-se subsídios para observar cada fase do tratamento, bem como a avaliar a eficiência de cada uma dessas sub-lagoas.

No dia 05.04.78, foram efetuadas duas coletas nos pontos 1, 2, 3 e 4 da lagoa piloto, sendo uma de superfície (normal) e outra de profundidade,

a fim de se confrontarem os resultados das análises. Esta comparação mostrou não serem significativas as diferenças apresentadas nos valores dos parâmetros determinados, quais sejam: temperatura, pH, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato, nitrogênio total, DBO e DQO.

#### 5.4.3 - Análise dos resultados obtidos.

Após uma análise mais aprofundada da configuração geral da lagoa piloto e, baseando-se em experiências anteriores com tratamento de esgotos, conforme já comentado, considerou-se a sub-lagoa 3 como um "braço morto" no sistema (influência desprezível no processo de tratamento do "chorume"). Assim, tanto a sua área superficial, bem como o seu volume não foram considerados nos cálculos envolvidos no sistema.

Na figura 5.1, são apresentadas a localização e a configuração geral da lagoa piloto com suas divisões em sub-lagoas e pontos de amostragem de líquido. Os dados de área superficial e volume de

cada sub-sistema considerado são apresentados na tabela 5.4.

TABELA 5.4 - DIMENSÕES DOS SUB-SISTEMAS

PARÂMETROS	SUB-SISTEMAS (SUB-LAGOAS)				
	1	2	3	1+2	1+2+3
Área superficial (ha)	0,66	0,75	1,53	1,41	2,94
Volume (l)	14544	16590	33664	31134	64798

A eficiência do processo foi avaliada em cada sub-sistema, considerando-se:

- . cada uma das três sub-lagoas isoladamente;
- . e os conjuntos de sub-lagoas.

Em cada um desses sub-sistemas es  
tudaram-se:

- . taxas de aplicação superficial;
- . tempos de detenção do líquido a ser tratado;
- . eficiência nas reduções de DBO, DQO, fósforo e nitrogênio.

5.4.3.1 - Taxas de aplicação su-  
perficial e tempo de de  
tenção do líquido a ser  
tratado.

A tabela 5.5 apresenta os valores das taxas de aplicação e os tempos de detenção mínimos, médios e máximos aplicados em cada sub-sistema.

Observou-se que a situaçãõ mais crítica foi a da sub-lagoa 1 (sub-sistema de menor volume), onde os tempos de detenção foram os menores encontrados nos ensaios e as taxas de aplicação superficial foram as maiores, chegando à cinco vezes o valor da taxa teórica considerada de 100 kg DBO/ha.dia para a lagoa piloto.

TABELA 5.5 - VALORES DAS TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL E TEMPOS DE DETENÇÃO

SUB-SISTEMA (SUB-LAGOAS)	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO/ha dia)			TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)		
	MÍNIMA	MEDIANA	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIANA	MÁXIMA
1	237	389	505	20	52	73
2	1,5	5,4	10,5	23	60	84
4	0,7	2,4	3,7	47	121	170
1 + 2	111	182	236	44	112	157
1 + 2 + 4	53	87	113	91	254	327

5.4.3.2 - Eficiência dos sub-sistemas na redução das concentrações de DBO, DQO, Fósforo Total e Nitrogênio Total do líquido a ser tratado.

A eficiência dos sub-sistemas na redução das concentrações desses elementos foi avaliada comparando-se os resultados de análises simultâneas de amostras do líquido a tratar com as de massa líquida dos sub-sistemas.

Nas tabelas 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 são apresentadas as eficiências nas reduções de DBO, DQO, fósforo total e nitrogênio total, em função das taxas de aplicação superficial para os diversos sub-sistemas considerados.

Analisando-se os valores contidos nas tabelas 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10, conclui-se que todo o processo de tratamento biológico deu-se praticamente na sublagoa 1, onde o "chorume" foi lançado em seu estado natural. As

**TABELA 5.6 - EFICIÊNCIAS NAS REDUÇÕES DE D.B.O, DQO, FÓSFORO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NA SUB-LAGOA 1**

DATA	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO/ho dia)	EFICIÊNCIAS (%)			
		D.B.O	D.Q.O	FÓSFORO TOTAL	NITROGÊNIO TOTAL
16.12.77	471	99,55	99,53	99,46	98,33
02.01.78	396	98,86	97,96	98,41	94,85
09.01.78	483	99,65	98,34	95,65	98,90
16.01.78	375	98,88	96,55	97,59	93,38
23.01.78	417	98,89	96,61	97,77	91,41
30.01.78	381	98,01	95,00	93,25	89,56
09.02.78	237	96,63	92,49	96,46	89,55
16.02.78	505	98,29	93,40	97,13	89,56
23.02.78	273	95,65	92,97	31,52	91,92
02.03.78	272	97,22	94,37	87,60	96,88

TABELA 5.7 - EFICIÊNCIAS NAS REDUÇÕES DE D.B.O, DQO, FOSFORO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NA SUB-LAGOA 2

DATA	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO/ha dia)	EFICIÊNCIAS (%)				NITROGÊNIO TOTAL
		D.B.O	D.Q.O	FÓSFORO TOTAL	NITROGÊNIO TOTAL	
16.12.77	1,85	14,29	30,77	- 112,50	33,33	
02.01.78	3,96	40,00	- 21,21	- 64,29	21,52	
09.01.78	1,48	0,00	- 16,00	- 54,55	- 9,57	
16.01.78	3,70	40,00	7,32	15,00	14,16	
23.01.78	4,07	0,00	0,00	21,43	- 0,41	
30.01.78	6,65	16,67	13,21	15,79	11,37	
09.02.78	7,02	31,58	19,64	17,14	- 1,91	
16.02.78	7,60	0,00	- 2,86	47,37	-167,53	
23.02.78	10,45	27,27	- 45,95	- 41,38	82,92	
02.03.78	6,65	0,00	9,38	-163,64	74,01	

TABELA 5.8 - EFICIÊNCIAS NAS REDUÇÕES DE D.B.O, DQO, FÓSFORO, NITROGÊNIO TOTAL NA SUB-LAGOA 4

DATA	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO/ha dia)	EFICIÊNCIAS (%)				NITROGÊNIO TOTAL
		D.B.O	D.Q.O	FÓSFORO TOTAL	FÓSFORO TOTAL	
16.12.77	0,78	- 44,44	5,56	- 17,65	9,21	
02.01.78	1,16	16,67	25,00	13,04	18,53	
09.01.78	0,72	- 25,00	10,34	35,29	- 0,97	
16.01.78	1,09	33,33	7,89	-158,82	5,00	
23.01.78	1,99	9,09	4,65	-218,18	0,81	
30.01.78	2,72	13,33	8,70	46,88	12,83	
09.02.78	2,36	- 7,69	4,44	62,07	63,15	
16.02.78	3,73	25,00	5,56	15,00	25,49	
23.02.78	3,73	-312,50	- 1,85	- 17,07	9,16	
02.03.78	8,26	14,29	- 3,45	0,00	- 65,08	

TABELA 5.9 - EFICIÊNCIAS NAS REDUÇÕES DE D.B.O, DQO, FÓSFORO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NAS SUB-LAGOAS 1+2

DATA	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO/ha dia)	EFICIÊNCIAS (%)			
		D.B.O	D.Q.O	FÓSFORO TOTAL	NITROGÊNIO TOTAL
16.12.77	220	99,62	99,67	96,46	99,64
02.01.78	186	99,32	97,53	91,54	98,75
09.01.78	226	99,65	98,08	94,04	95,23
16.01.78	175	99,33	96,81	94,37	97,93
23.01.78	195	98,89	96,61	93,25	97,76
30.01.78	178	98,34	95,66	91,21	94,02
09.02.78	111	97,70	93,97	91,34	96,39
16.02.78	236	98,29	93,21	94,51	92,47
23.02.78	128	96,84	89,73	88,58	88,30
02.03.78	127	97,78	94,89	91,78	96,78

**TABELA 5.10 - EFICIÊNCIAS NAS REDUÇÕES DE D.B.O, DQO, FOSFORO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NAS SUB-LAGOAS 1+2+4**

DATA	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Kg DBO/ha dia)	EFICIÊNCIAS (%)				NITROGÊNIO TOTAL
		D.B.O	D.Q.O	FÓSFORO TOTAL	NITROGÊNIO TOTAL	
16.12.77	106	98,92	99,69	95,83	99,67	
02.01.78	89	99,62	98,15	92,65	98,98	
09.01.78	108	99,57	98,28	96,14	95,19	
16.01.78	84	99,55	97,06	85,43	98,03	
23.01.78	94	98,99	96,77	78,53	97,78	
30.01.78	85	98,57	96,04	95,33	94,78	
09.02.78	53	97,52	94,24	96,72	98,67	
16.02.78	113	98,72	93,58	95,33	99,94	
23.02.78	61	86,96	89,54	86,63	89,38	
02.03.78	61	97,62	94,72	91,78	94,68	

sub-lagoas subsequentes receberam o "chorume" já tratado e, portanto, as características dos seus afluentes foram diferentes das do afluente da sub-lagoa 1, onde a matéria orgânica tratável biologicamente era quase totalmente oxidada, restando a fração de difícil tratamento. Isto justifica as baixas eficiências encontradas nas sub-lagoas 2 e 4. Os valores negativos verificados nas tabelas 5.7 e 5.8 podem ser atribuídos aos seguintes fatores:

- pequena eficiência dos processos biológicos de estabilização quando as concentrações dos componentes do líquido a tratar eram muito baixas;
- possíveis influências de lodos depositados no fundo das sub-lagoas, aumentando assim as concentrações dos elementos analisados na massa líquida das sub-lagoas.

Observa-se, da tabela 5.6, que a taxa de aplicação superficial na sub-lagoa 1 variou de 237 a 505 kg DBO/ha.dia, com as eficiências na redução da DBO va-

riando de 95,65% a 99,65%. Como a eficiência do processo na redução de DBO do líquido a tratar esteve sempre acima de 95% na sub-lagoa 1, pode-se considerar que o valor da taxa de aplicação superficial máxima admissível, para tratamento de "chorume" em lagoas de estabilização é superior aos 505 kg DBO/ha.dia ensaiado. Devido aos problemas surgidos e com a paralização dos ensaios não foi possível, porém, a determinação desse valor, tão importante para o dimensionamento de outros sistemas semelhantes ao desenvolvido.

Com a continuação dos ensaios e a elevação gradativa da taxa de aplicação superficial, poder-se-ia obter o comportamento teórico da eficiência do processo, em termos de redução da DBO, em função da taxa de aplicação superficial, expressa na figura 5.1.1.

Esse comportamento seria verificado caso se considerassem os três sub-sistemas separadamente, a saber:

- . sub-lagoa 1
- . sub-lagoa 1 + 2
- . sub-lagoa 1 + 2 + 4.

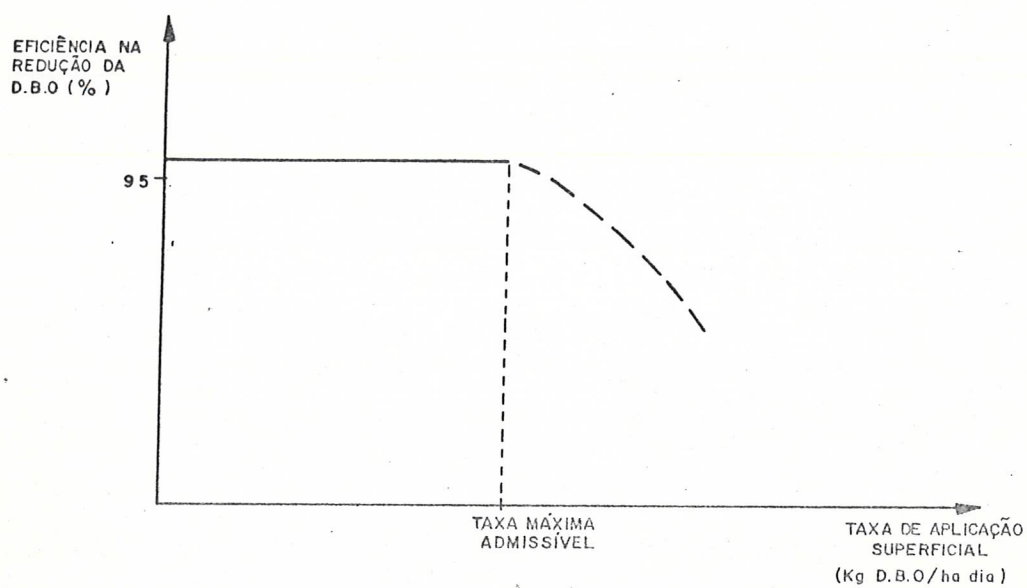


FIGURA 5.1.1 - Comportamento teórico da eficiência do processo de tratamento.

6. CONCLUSÕES.

## 6. CONCLUSÕES.

Os resultados obtidos no presente estudo e aqui apresentados levam às seguintes conclusões:

- . é viável o tratamento de "chorume" oriundo de aterros sanitários em lagoas de estabilização facultativas.
- . é boa a tratabilidade deste líquido por este tipo de lagoa.
- . pode-se utilizar taxas de aplicação superficial superiores a 500 kg de DBO/ha.dia, obtendo-se, por ocasião da estação de verão, eficiências nas reduções de DBO acima de 95%.
- . na execução de aterros sanitários com previsão de grande produção de "chorume", deve-se prever um método ou sistema de tratamento para este líquido, antes de sua disposição final. Entre os processos mais viáveis se apresenta aquele das lagoas de estabilização biológicas funcionando em regime facultativo.
- . é de suma importância frizar que: o presente estudo se desenvolveu durante o verão, estação que oferece as melhores condições de temperatura ao processo e que não foi atingida uma taxa de aplicação superficial máxima para a manutenção das condições de funcionamento

facultativo da sub-lagoa 1. Por esses motivos torna-se indispensável a repetição do ensaio, corrigindo-se esses inconvenientes.

- Sugere-se a realização de novos experimentos de tratabilidade do "chorume", por processos de lagoas de estabilização facultativas visando a determinação da taxa de aplicação superficial máxima admissível no sistema, bem como obtenção de maior grau de certeza nos resultados, e ensaios realizados.

7. BIBLIOGRAFIA.

7. BIBLIOGRAFIA.

- 1) Carrique, Carlos S. Lagunas Anaeróbias.  
in: INSTITUTO de Ingenieria Sanitaria.  
Lagunas de Estabilización. Buenos Aires,  
1971. Cap. VI, p. 45 - 50
- 2) Carrique, Carlos S. Lagunas Facultativas.  
in: INSTITUTO de Ingenieria Sanitaria.  
Lagunas de Estabilización. Buenos Aires,  
1971 Cap. IV, p. 51 - 58
- 3) ESTUDO Experimental sobre lagoas de Estabi-  
lização para esgotos sanitários. São Pau-  
lo, FESB/CETESB, s.d. 59 p.
- 4) Hess, Max Lothar. Lagoas Anaeróbias. in:  
CETESB. Lagoas de Estabilização. São Pau-  
lo, 1975. cap. VI, p. 67 - 75
- 5) Hess, Max Lothar. Lagoas Facultativas. in:  
CETESB. Lagoas de Estabilização. São, Pau-  
lo, 1975 cap. VII, p. 77 - 97.
- 6) Jordão, Eduardo Pacheco & Pessoa, Constanti  
no Arruda. Lagoas de Estabilização. in:  
CETESB. Tratamento de Esgotos Domésticos  
São Paulo, 1975 Cap. XVII, p. 409 - 493
- 7) Moya, Ignácio L. Critério de Dimensionamen-  
to. in: INSTITUTO de Ingenieria Sanitaria  
Lagunas de Estabilización. Buenos Aires,  
1971 cap. VI, p. 59 - 72.

50/1/1

- 8) Ortega, B. Carlos Hernán. Critérios Racionales de Proyecto. in: CETESB. Lagoas de Estabilização. São Paulo, 1975. cap. IX, p. 127 - 142.
- 9) Povinelli, Jurandyr. Processos Econômicos de Tratamento de Águas Residuárias - Lagoas de Estabilização - Lagoas Aeradas - Valores de Oxidação. in: CETESB/SUBIN/USAID/BNH. Sistemas de Esgotos Sanitários. São Paulo, 1973. cap. XXV, p. 389 - 407.