



Decisão de Diretoria nº 281/2016/P, de 20/12/2016 - Publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo – Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 126 (239) do dia 22/12/2016 páginas: 100 a 102.

NORMA TÉCNICA

P3.240

1981
71 PÁGINAS

Manual de projeto de lagoas de estabilização

RENOVADA

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo SP
Tel.: (11) 3133 3000 Fax.: (11) 3133 3402

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

REVOGADA

MANUAL DE PROJETO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

S U M Á R I O

	Páginas
INTRODUÇÃO	1
Capítulo 1 Simbologia	3
Capítulo 2 Classificação das Lagoas	4
Capítulo 3 Fatores a serem considerados no Projeto	6
Capítulo 4 Associação entre Lagoas e Arran jos Típicos	11
Capítulo 5 Lagoas Anaeróbias	13
Capítulo 6 Lagoas Facultativas	21
Capítulo 7 Análise dos Métodos de Cálculo de Lagoas Anaeróbias e Faculta tivas	47
Capítulo 8 Estudo da Localização, forma e período de alcance do projeto...	50
Capítulo 9 Dispositivos de entrada, saída, interconexão e proteção dos ta ludes	53
Capítulo 10 Unidades preliminares de trata mento e medidores de vazão	66
Bibliografia.....	68

INTRODUÇÃO

Este Manual cobre os aspectos relacionados a projetos de lagoas de estabilização aneróbias e facultativas, destinadas ao tratamento de esgotos domésticos. Procura sintetizar as diferentes aproximações que conduzem ao projeto das lagoas, levando em conta, de modo particular, a experiência e as condições próprias de nosso país.

No Brasil, com efeito, há condições extremamente favoráveis de clima e de áreas disponíveis, particularmente para cidades de pequeno e médio porte e que permitem contar as lagoas entre as alternativas mais favoráveis para o sistema de tratamento dos esgotos.

A primeira lagoa construída no Brasil, e cuja operação foi acompanhada com critério, data de 1960, constituindo uma experiência clássica e básica para o desenvolvimento deste sistema de tratamento em nosso país (lagoas de São José dos Campos, São Paulo).

Há hoje uma quantidade razoável de lagoas em operação no país, mais de 50 lagoas, tanto nos estados das regiões centro, sul, leste (Distrito Federal, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia, Espírito Santo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul), como na região nordeste (Pernambuco, Ceará, Paraíba).

Tendo em vista, custos de construção, manutenção e operação, aliados a seu bom desempenho, torna este sistema muito favorável às condições brasileiras.

O presente manual tem como objetivo:

- Apresentar e considerar os fatores que intervêm no projeto e funcionamento das lagoas;
- Apresentar os métodos usuais de dimensionamento das lagoas;
- Apresentar e analisar os critérios usuais de projeto das lagoas;
- Orientar os responsáveis por projeto de lagoas de estabilização, sobre os diferentes critérios e métodos existentes, fornecendo indicações sobre sua aplicabilidade em nosso país.

Este Manual é aplicável a lagoas de estabilização anaeróbias e facultativas, destinadas ao tratamento de esgoto doméstico, abrangendo também a utilização destes dois tipos de lagoas em série.

CAPÍTULO 1SIMBOLOGIA

Os principais parâmetros de projeto das lagoas de estabilização, utilizados no presente Manual, suas notações e respectivas unidades estão na Tabela 1.1.

TABELA 1.1PARÂMETROS, SÍMBOLOS E UNIDADE

PARÂMETRO	SÍMBOLO	UNIDADE
Vazão máxima	Q máx	l/s
Vazão média	Q méd	l/s
Vazão mínima	Q mín	l/s
Vazão afluente	Qa	l/s
Vazão efluente	Qe	l/s
DBO ₅ afluente	So	mg/l
DBO ₅ efluente	Se	mg/l
DBO total afluente	Sot	mg/l
DBO total efluente	Set	mg/l
Carga orgânica diária	Cod	kg DBO/d
Carga orgânica superficial de DBO	Cos	kg/ha.d
Carga orgânica volumétrica de DBO	Cov	kg/m ³ .d
Tempo de detenção	Td	d (dia)
Temperatura	t	°C
Eficiência de remoção da DBO	E	%
Área	A	m ²
Comprimento	a	m
Largura	b	m
Altura (profundidade)	h	m
Volume	V	m ³
População contribuinte	P	hab.

NOTA: Os parâmetros não constantes da tabela, e menos usuais, encontram-se definidos quando aparecem no texto.

CAPÍTULO 2

CLASSIFICAÇÃO DAS LAGOAS

De acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, as lagoas são classificadas em:

- Anaeróbias : nas quais predominam processos de fermentação anaeróbica; imediatamente abaixo da superfície não há oxigênio dissolvido;
- Facultativa : nas quais ocorrem simultaneamente processos de fermentação anaeróbica, oxidação aeróbica, e redução fotossintética: uma zona anaeróbica de atividade benthica, de fundo, é sobreposta por uma zona aeróbica de atividade biológica, próxima à superfície;
- De maturação : usadas como refinamento do tratamento prévio por lagoas ou outro processo biológico; reduz bactérias, sólidos em suspensão e nutrientes, mas uma parcela negligenciável da DBO;
- Estritamente Aeróbias : nas quais se chega a um equilíbrio da oxidação e da fotossíntese para garantir condições aeróbicas em todo o meio; é comum chamar-se de aeróbica as lagoas facultativas, embora não seja correto;
- Mecanicamente Aeradas : nas quais se introduz oxigênio no meio líquido através de um sistema mecanizado de aeração; as la

goas aeradas podem ser estritamente aeróbias ou facultativas, dependendo da densidade de potência introduzida no sistema.

Na verdade, as lagoas de estabilização quer naturais ou artificiais, são lagoas em que prevalecem condições técnicas adequadas aos fenômenos físicos, químicos e biológicos que caracterizam a autodepuração. Este manual cobre apenas as lagoas anaeróbias e facultativas.

RENOVAÇÃO

CAPÍTULO 3

FATORES A SEREM CONSIDERADOS NO PROJETO

Quando se projeta lagoas de estabilização, os seguintes fatores deverão ser considerados, embora nem sempre sejam fatores imprescindíveis ao di mensionamento:

- Precipitação pluviométrica;
- Evaporação;
- Infiltração;
- Temperatura;
- Ventos;
- Intensidade da radiação solar;
- Características do esgoto a ser tratado;
- Vazão afluyente média;
- Características do corpo receptor;
- Características locais.

3.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

As precipitações médias anuais deverão ser consideradas principalmente, para se projetar o sistema de proteção e coleta das águas de chuva, evitando-se assim a penetração das mesmas no interior da lagoa. Além de serem desfavoráveis pelo aspecto de produzirem uma diluição dos esgotos no interior da lagoa, são as águas de chuva prejudiciais ao processo, pois carregam para o interior da lagoa grandes quantidades de areia.

3.2 EVAPORAÇÃO

O conhecimento do índice de evaporação local permitirá ao projetista saber inclusive através do balanço hídrico, se haverá ou não efluente final da lagoa. Uma evaporação intensa poderá causar desequilíbrio ao processo biológico pelo aumento da concentração dos sólidos, ao mesmo tempo que poderá reduzir a altura da lâmina a níveis indesejáveis.

3.3 INFILTRAÇÃO

Um estudo das características do solo em cujo local será construída a lagoa é de grande importância, uma vez que permitirá conhecer as taxas de percolação do terreno, a profundidade do lençol freático, a necessidade ou não da impermeabilização do fundo da lagoa. O tipo de solo, fornecerá também, dados típicos para se estimar o custo das escavações e dos aterros, compactação dos diques, etc.

3.4 TEMPERATURA

O tratamento dos esgotos através de lagoas de estabilização se processa por reações físicas, químicas e biológicas que são afetadas diretamente pela ação da temperatura. Assim, a velocidade de fotossíntese, a intensidade do metabolismo dos microorganismos se processarão mais rapidamente nas temperaturas mais altas, ao passo que diminuirão ao cair a temperatura e com isso haverá queda da eficiência do processo.

Para se assegurar que o tratamento ocorra satisfatoriamente

durante todo o decorrer dos meses, as lagoas deverão ser di mensionadas para as condições mais desfavoráveis, ou seja, levando-se em conta a temperatura média do mês mais frio.

3.5 VENTOS

Quando se projeta um sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, o conhecimento da intensidade e da direção predominante dos ventos é de grande importância para a localização da lagoa, por vários aspectos. Se os ventos predominantes varrem toda a parte urbanizada, a localização da lagoa deverá ser tal, que se ocorrer problemas de odores, estes não sejam dirigidos em direção a cidade. Por outro lado, sendo a lagoa localizada em áreas sujeitas à ação de ventos intensos poderão tornar-se necessários, estruturas de proteção interna aos taludes, a fim de evitar a ação erosiva das ondas. Por outro lado os ventos provocam uma agitação benéfica sobre a homogeneização do líquido com a dispersão dos sólidos e melhor distribuição do oxigênio dissolvido na massa líquida.

3.6 INTENSIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR

As lagoas de estabilização aeróbia e facultativas dependem da radiação solar, que varia principalmente com a latitude do lugar. Um dos processos para seu dimensionamento, desenvolvido por Oswald, leva em conta a latitude do local e conseqüentemente o valor provável da energia solar visível.

Um dos fatores a ser considerado também, é o referente à co
bertura de nuvens na região do projeto, uma vez que as mes
mas interferem na passagem da radiação solar.

3.7 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO A SER TRATADO

O dimensionamento das lagoas de estabilização está diretamen
te relacionado as características dos esgotos a elas contri
buintes. Essas características dos esgotos variam de região
para região, de país para país, de acordo com os costumes,
hábitos e alimentos das populações.

A qualidade dos esgotos sofre a influência da rede e do sis
tema de coleta, quer seja ele unitário ou separador absoluto.
A quantidade de água de infiltração na rede, a distância e o
tempo de permanência dos esgotos no interior das redes, a
contribuição de afluentes industriais para as redes domésti
cas, enfim, uma série de fatores contribuem para definir
tanto a qualidade como a quantidade dos esgotos e por conse
guinte, a sua carga orgânica.

Sendo essa carga orgânica o parâmetro fundamental de dimen
sionamento, quando se projeta um sistema de tratamento todos
os fatores acima relacionados deverão ser critériosamente
analisados; a realização de análises físico-químicas para
caracterizar os esgotos é de fundamental importância para o
correto dimensionamento e operação do sistema.

3.8 VAZÃO AFLUENTE MÉDIA

As lagoas de estabilização serão dimensionadas para as vazões médias, levando-se em conta o número de habitantes, a contribuição de esgoto por habitante e a vazão de infiltração na rede.

3.9 CARACTERÍSTICAS DO CORPO RECEPTOR

De acordo com a eficiência de tratamento desejada, em função da legislação estadual vigente e a classificação do corpo receptor, poderão ser definidos vários tipos de tratamento por lagoas de estabilização. O conhecimento das cotas de enchentes máximas e vazão mínimas dos corpos receptores é um fator essencial para a definição do projeto. As características do corpo receptor em muitos casos são fatores preponderantes para a escolha do local onde deverá ser construída a lagoa.

3.10 CARACTERÍSTICAS LOCAIS

As condições topográficas e geológicas do terreno, custo e disponibilidade de área, sua localização em relação a zona urbana, e suas expansões, são fatores a serem considerados no projeto.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ASSOCIAÇÃO ENTRE LAGOAS E ARRANJOS TÍPICOS

Após serem considerados todos os aspectos intervenientes no projeto e com o intuito de melhorar seu desempenho, pode empregar-se lagoas associadas em série ou em paralelo. A experiência tem demonstrado que uma série de lagoas é mais eficiente em termos de tratamento biológico do que uma única lagoa de área equivalente. Nos casos mais comuns a construção de uma lagoa anaeróbia precedendo a uma lagoa facultativa reduz a área total utilizada no tratamento.

Este sistema anaeróbio-facultativo, conhecido como sistema australiano deverá ser usado sempre que exista dificuldade de se conseguir grandes áreas ou quando os custos das mesmas sejam muito elevados.

Uma outra associação que poderá ser usada é a construção de uma lagoa após a lagoa facultativa, sendo essa segunda conhecida como lagoa de maturação e cuja finalidade é dar um polimento ao efluente da lagoa facultativa que a preceda, principalmente em termos de redução de vírus e de bactérias.

O destino a ser dado ao efluente final poderá definir a necessidade da implantação de lagoas de maturação, principalmente nos casos de se usar esse efluente como água de irrigação.

Vários tipos de lagoas em série e paralelo podem vir a fazer parte de um sistema de lagoas de estabilização, como indicado na Figura 4.1, lagoas anaeróbias, facultativas, aeróbias e de maturação, eventualmente participam de esquemas típicos de associação.

SIMBOLOGIA:
 AN = anaeròbia
 F = facultativa
 M = maturação
 MA = mecanicamente aerada

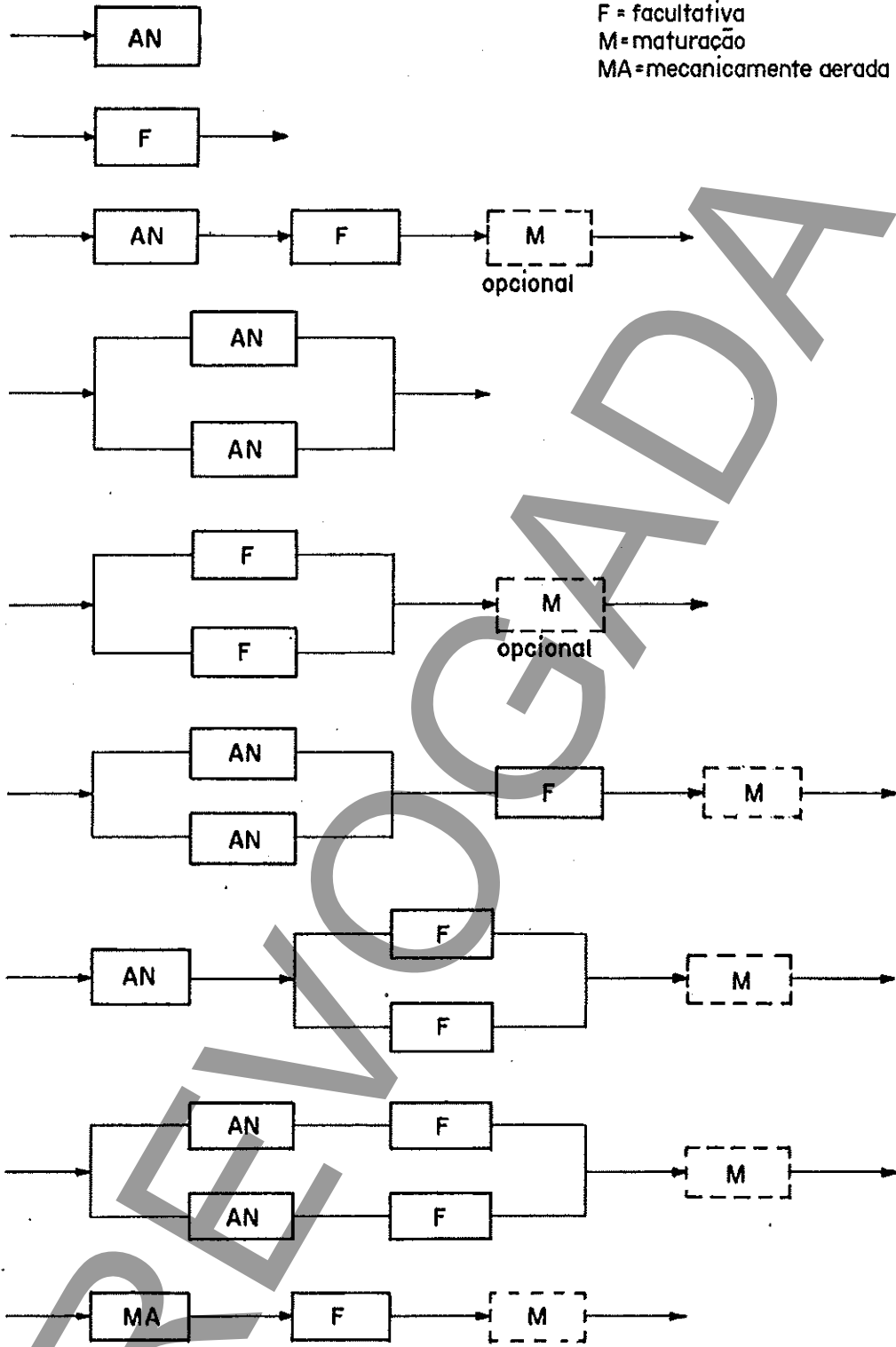


FIGURA 4.1 - Associações de Lagoas

CAPÍTULO 5

LAGOAS ANAERÓBIAS

As lagoas anaeróbias recebem cargas orgânicas elevadas, de modo a se comportarem como digestor anaeróbio aberto, sem agitação, havendo completa ausência de oxigênio e de atividade fotossintética. Usualmente, é mais correto referir-se às cargas aplicadas de DBO, em termos de volume de lagoa, ou seja, $\text{kg DBO/m}^3 \times \text{d}$, em lugar de carga superficial aplicada.

Por analogia com as lagoas facultativas que são dimensionadas, levando-se em conta a área do espelho d'água, ainda encontram-se referências do projeto de lagoas anaeróbias em termos de $\text{kg DBO/ha} \times \text{d}$.

5.1 PROJETO DE LAGOAS ANAERÓBIAS

A experiência com lagoas anaeróbias tem levado nos projetos das mesmas à fixação de certos parâmetros básicos que são:

- tempo de detenção de 4 a 7 dias;
- profundidade de 2,00 a 4,50 m.

Estes parâmetros são resultados de observações de instalações nacionais em Brasília e no Estado de São Paulo.

5.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

No presente Manual três métodos são indicados para se projetar lagoas anaeróbias, sendo que os mesmos conduzem a resultados bastante semelhantes.

Nos exemplos de cálculo apresentados neste Manual foram ado

tados valores de contribuição diária de 54 g de DBO/hab x d, e de 180 l/hab x d.

NOTA: investigações feitas pela CETESB em 7 cidades do interior de São Paulo apresentou uma contribuição média de 44 g de DBO/hab x d e 180 l/hab x d.

5.2.1 Método da carga orgânica volumétrica

Uma vez conhecida a carga orgânica da DBO a ser aplicada à lagoa diariamente, bastará dividir essa quantidade por uma determinada carga orgânica volumétrica, carga essa que a experiência tem demonstrado estar compreendida entre 0.04 a 0.07 kg DBO/m³ x d e teremos o volume de lagoa em m³.

NOTA: para cargas iguais ou superiores a 0.07 não se tem experiência com profundidade iguais ou maiores que 3,50 m.

Sendo:

- So a DBO afluente a lagoa em mg/l
- Q med a vazão média afluente a lagoa, em l/s
- Cod a carga orgânica diária aplicada a lagoa em kg DBO/d

$$\text{Cod} = \frac{Q \cdot \text{med} \cdot (1/\text{s}) \cdot 86.400 \cdot (\text{s}/\text{d}) \cdot \text{So} \cdot (\text{mg}/\text{l})}{1000000}$$

Dividindo-se essa carga diária Cod pela carga orgânica volumétrica Cov , teremos então o volume da lagoa em

m^3 (ver exemplo 5.3.1).

ou seja,

$$V = \frac{Cod}{Cov}$$

5.2.2 Método racional de Marais

Por este método é levado em conta a DBO de entrada e a DBO de saída, com uma redução da mesma em 50%. São também utilizadas duas constantes experimentais:

$K = 6$ e $n = 5,2$. Estas condições são válidas para temperatura de $20^{\circ}C$. A fórmula de dimensionamento que fornece o tempo de detenção em dias é:

$$T_d = \frac{S_o - S_e}{K S_e \left(\frac{S_e}{S_o} \right)^n}$$

onde:

T_d = tempo de detenção em dias

S_e = DBO₅ efluente da lagoa anaeróbia em mg/l

S_o = DBO₅ afluente a lagoa anaeróbia em mg/l

K = constante igual a 6

n = constante igual a 5,2

(ver exemplo no item 5.3.2)

5.2.3 Método simplificado de Senra

Este método verificado experimentalmente no Estado de São Paulo e também em Brasília, Distrito Federal, parte dos seguintes dados para dimensionamento das lagoas anaeróbias:

.../

- tempo de detenção T_d : fixado em 6 dias
- profundidade da lagoa: $h = 3,0$ m
- carga orgânica superficial: $Cos = 1500$ kg DBO/ha x d
- Redução de DBO : 50%
- Temperatura Média do ar : 20°C
- Contribuição por habitante: 180 l/hab x d
- Carga orgânica por habitante: 54 g DBO/hab x d.

Com estes dados e para diversas populações foi feito o gráfico de figura 5.2.3. e simplesmente com o conhecimento da população (método válido somente para esgotos domésticos) se encontra a área da lagoa em hectares, e uma vez que a profundidade foi fixada em 3,0 metros, tem-se o volume da mesma.

(ver figura 5.2.3. e exemplo 5.3.3.)

5.3 EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE LAGOAS ANAERÓBIAS

Dados conhecidos da cidade "A"

Latitude	20°S
Quota per capita	180 l/hab x d
População	6.500 hab
DBO do esgoto bruto	300 mg/l
Temperatura do ar, média do mês mais frio	20°C
Temperatura da água, média do mês mais frio ..	19°C
Precipitação, igual a evaporação + infiltração	

.../

5.3.1 Dimensionamento de uma lagoa anaer6bia pelo m6todo da carga org6nica volum6trica

De acordo com o item 5.2.1, teremos de calcular a carga org6nica di6ria C_{od} , de DBO e dividir por uma carga volum6trica C_{ov} que varia de 0,04 a 0,07 kg DBO/m³ x d, i.e.

$$C_{od} = \frac{Q_{med} \times 86.400 \times S_o}{1.000.000}$$

$$Q_{med} = \frac{6.500 \text{ hab} \times 180 \text{ l/hab} \times \text{dia}}{86.400}$$

$$Q_{med} = 13,5 \text{ l/s}$$

$$S_o = \text{DBO afluyente} = 300 \text{ mg/l}$$

$$C_{od} = \frac{13,5 \times 86.400 \times 300}{1.000.000} = 350 \text{ kg DBO/d}$$

Se adotarmos uma carga org6nica $C_{ov} = 0,05 \text{ kg DBO/m}^3$ o volume V da lagoa anaer6bia ser6:

$$V = \frac{C_{od}}{C_{ov}} = \frac{350}{0,05} = 7.000 \text{ m}^3$$

O tempo de deten76o ser6:

$$T_d = \frac{7.000 \text{ m}^3}{180 \text{ (l/hab} \times \text{d)} \times 6.500 \text{ hab}} = \frac{7000}{1170} = 6 \text{ d}$$

Para uma profundidade média de $h = 3$ metros a área da lagoa será de:

$$A = \frac{7000}{3} = 2.334 \text{ m}^2 = 0,2334 \text{ ha.}$$

No caso de ser quadrada, o lado da lagoa será de:

$$a = \sqrt{2334} = 48,5 \text{ m}$$

5.3.2 Dimensionamento de uma lagoa anaeróbia pelo método racional de Marais

Para os dados conhecidos da cidade "A" e com o emprego da fórmula abaixo, encontraremos o tempo de detenção em dias.

$$T_d = \frac{S_o - S_e}{K S_e \left(\frac{S_e}{S_o} \right)^n}$$

Substituindo temos que:

$$T_d = \frac{300 - 150}{6 \times 150 \left(\frac{150}{300} \right)^{5,2}} = 6,12 \text{ d}$$

Para profundidade de 3,0 metros chegamos praticamente às mesmas dimensões do exemplo do item 5.3.1.

5.3.3 Dimensionamento de uma lagoa anaeróbia pelo método simplificado de Senra

Uma vez fornecida a população da cidade "A" igual a 6.500 habitantes e sendo somente esgotos domésticos, a entrada no

.../

gráfico da figura 5.2.3., fornecerá na reta de lagoas anaeróbias para a população acima a área da lagoa igual a 0,2340 ha.

Verificamos que para essa área e uma altura fixa de 3,0 metros o volume da lagoa será:

$$V = 2.340 \text{ m}^2 \times 3,0 = 7020 \text{ m}^3$$

O tempo de detenção será:

$$T_d = \frac{7.020 \text{ m}^3}{6.500 \text{ (hab)} \times 0,180 \text{ (m}^3/\text{hab} \times \text{d})}$$

$$T_d = \frac{7.020 \text{ m}^3}{1.170 \text{ m}^3 / \text{d}}$$

$$T_d = 6 \text{ d}$$

ABRIL DESenvolvido PARA AS seguintes condições EXPERIMENTADAS EM BRASÍLIA E NO ESTADO DE SÃO PAULO.

CONTRIBUIÇÃO POR HABITANTE:

100 l/hab x dia

150 kg DBO/hab x dia

TEMPO DE DETENÇÃO:

LAGOA ANAERÓBIA = 8 dias

LAGOA FACULTATIVA = 16,67 dias

ESTRUTURA DE APLICAÇÃO:

LAGOA ANAERÓBIA = 1500 kg DBO/m²hab.d

LAGOA FACULTATIVA = 150 kg DBO/m²hab.x.d

PROFUNDIDADE DA LAMINA D'ÁGUA

LAGOA ANAERÓBIA = 3,00 m

LAGOA FACULTATIVA = 1,50 m

REDUÇÃO DE DBO NA

LAGOA ANAERÓBIA = 50 %

TEMPERATURA DO AR = 20 °C

ELEMENTO VÁLIDO PARA

ESGOTOS DOMÉSTICOS

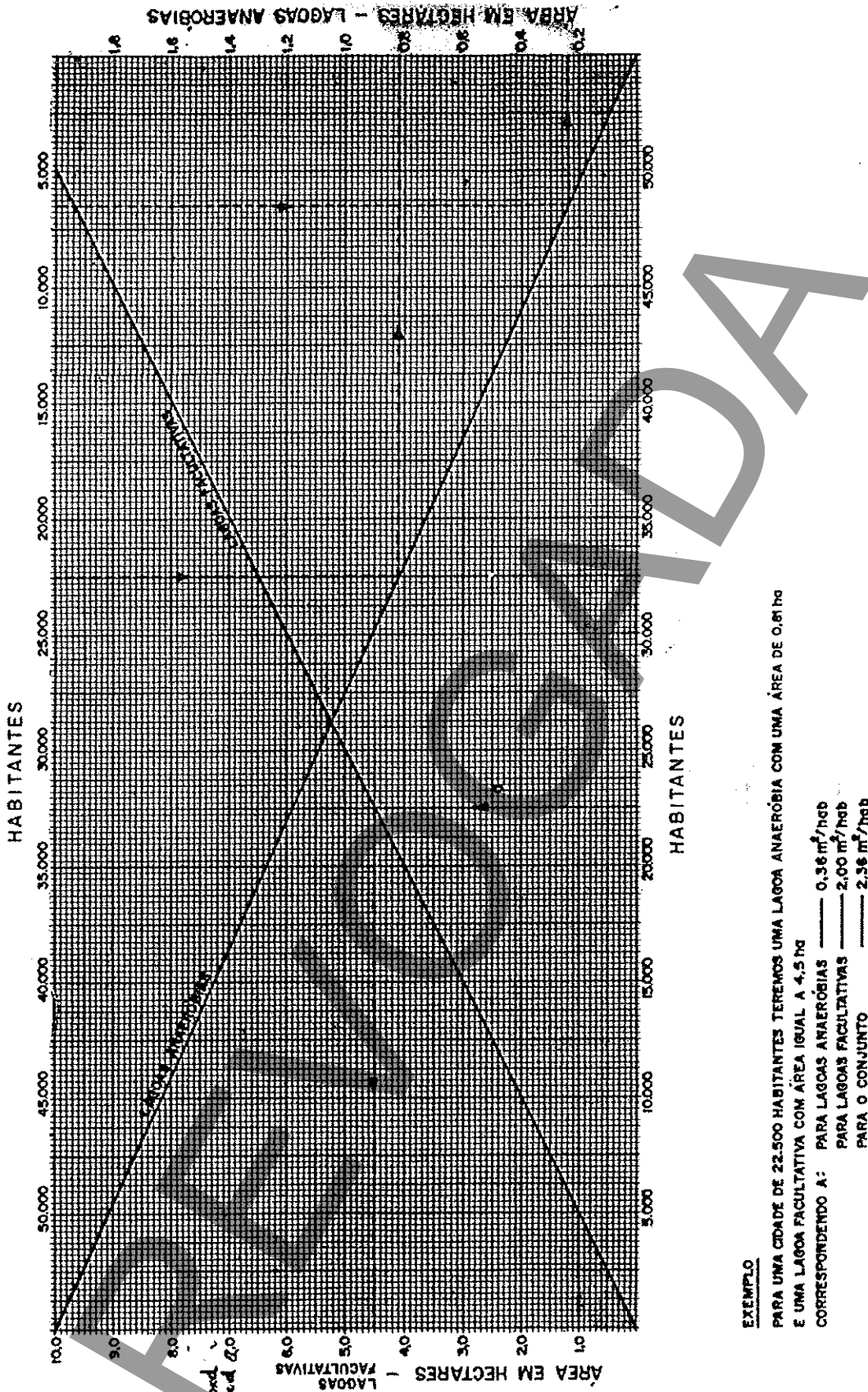


FIGURA 5.2.3 - Processo amplificado para dimensionamento de Lagoas de Estabilização-

Sistema Australiano - Engº MANUEL SENRA

CAPÍTULO 6

LAGOAS FACULTATIVAS

Nas lagoas facultativas é fundamental a ação fotossintética das algas, assim sendo, a área superficial assume papel fundamental no seu dimensionamento e as cargas aplicadas são referidas à área do espelho d'água. Profundidades inferiores a 1,0 m não devem ser utilizadas, pela possibilidade de ocorrer o crescimento de vegetais no interior da lagoa, causando o aparecimento de mosquitos, além de provocar uma manutenção demorada e dispendiosa. Por outro lado, lagoas muito profundas devem ser evitadas, pois, se tornam predominantemente anaeróbias.

6.1 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE LAGOAS FACULTATIVAS

Os métodos de dimensionar lagoas de estabilização facultativas estão na maioria das vezes relacionados às cargas de DBO por unidade de área, parâmetros estes já verificados experimentalmente. Essas cargas, tomadas como base para projeto tem variado de 90 a 200 kg DBO/ha x d em nosso país. Experiências recentes no Nordeste Brasileiro indicaram a eficiência de remoção de DBO de 85% para cargas compreendidas entre 200 a 400 Kg DBO/ha x d (Ref.: 11 da bibliografia).

6.1.1 Método racional de Oswald

Por este método, Oswald verificou que a carga que uma lagoa facultativa pode suportar é função da eficiência fotossintética (F) e do valor provável da energia solar visível (S) em determinada latitude e mês.

.../

A eficiência fotossintética (F) vem a ser a fração de energia luminosa visível que é convertida em células de algas, sendo função de outros fatores:

F_1 = fator relacionado à carga de DBO aplicada, conforme tabela 6.1.1.2.

F_2 = fator relacionado com a latitude do local e obtido através das curvas da figura 6.1.1 e da Tabela 6.1.1.2.

F_3 = fator relacionado com a temperatura do ar (média do mês mais frio).

TABELA 6.1.1.1

Valores prováveis da energia solar visível em função da latitude e mês, incidindo sobre uma superfície horizontal ao nível do mar.

Latitude-Sul		Meses											
Grau	Limites	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0	Máx.	228	246	266	268	260	263	265	274	276	268	216	228
	Mín.	131	161	205	205	206	203	218	225	212	190	180	100
5	Máx.	242	252	266	260	248	250	250	262	275	271	257	242
	Mín.	142	166	201	196	191	187	205	209	205	188	186	113
10	Máx.	252	258	263	250	232	234	232	251	269	274	267	254
	Mín.	152	171	194	183	179	168	186	190	197	185	190	125
15	Máx.	264	262	257	239	214	213	212	237	261	175	271	266
	Mín.	159	171	185	169	161	148	165	168	186	181	192	136
20	Máx.	270	264	249	226	194	189	190	220	251	274	281	276
	Mín.	165	172	174	152	141	125	139	144	171	172	192	143
25	Máx.	276	264	240	210	175	162	166	202	239	270	286	282
	Mín.	170	168	161	134	116	100	107	123	156	164	188	151
30	Máx.	278	263	228	194	151	131	142	181	222	264	287	287
	Mín.	171	161	145	114	92	73	79	99	137	153	182	158
35	Máx.	277	258	216	176	125	99	112	160	204	254	286	289
	Mín.	171	152	128	93	65	45	48	76	117	140	172	164

S em cal por cm² por dia - ou langleys por dia.

S médio = S mín. + P (S máx. - S mín.):

$$P = \frac{\text{Total de horas de insolação}}{\text{Total possível de horas de insolação}}$$

Correção de altitude (até 3.000 m):

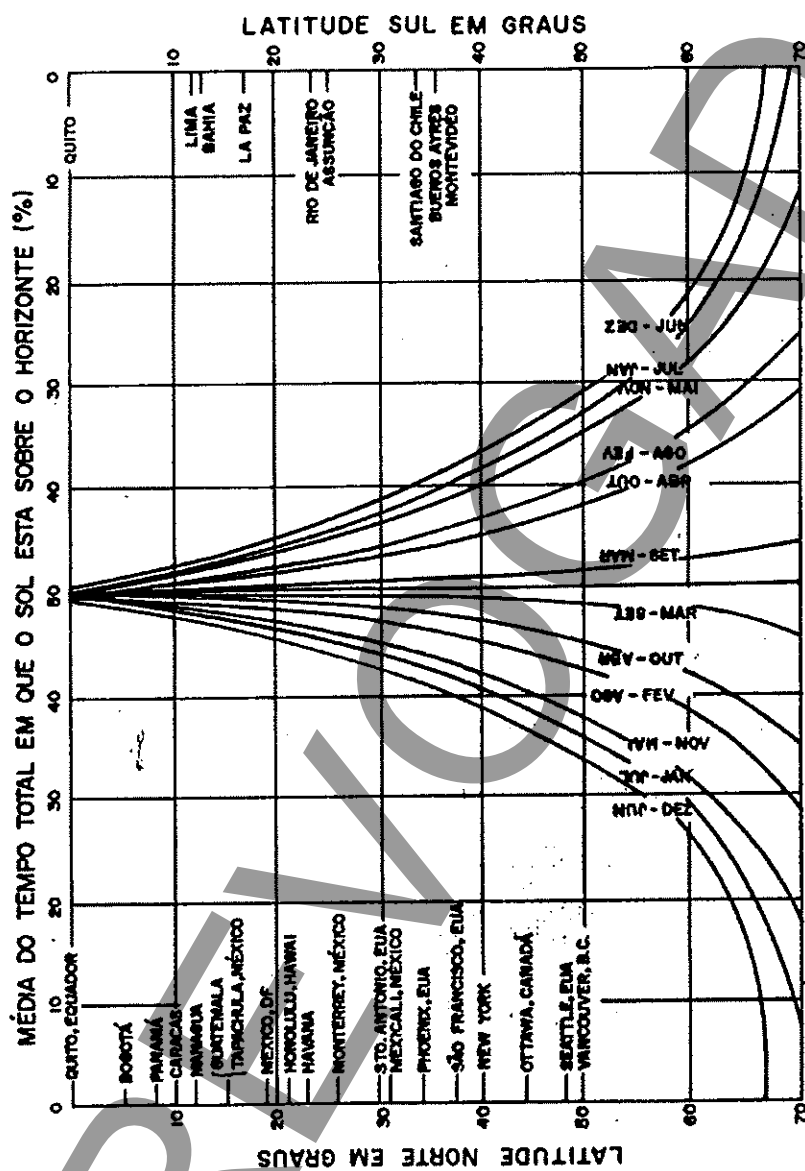
$$\text{Salt.} = S (1 + 0,00925 \times \text{altitude}).$$

TABELA 6.1.1.2

Parâmetros para cálculo da eficiência fotossintética

$$F = \frac{F_1 + F_2}{2} \times F_3$$

ILUMINAÇÃO DIURNA		DBO APLICADA		TEMPERATURA	
% *	F ₂	mg/l	F ₁	°C	F ₃
30	-	10	0,2	4	0,01
33	-	25	0,5	6	0,02
36	-	50	1,2	8	0,23
39	4,8	75	2,1	10	0,49
42	4,5	100	2,6	12	0,70
45	4,1	125	3,1	14	0,82
48	3,9	150	3,6	16	0,91
51	3,7	175	4,0	18	0,96
54	3,5	200	4,3	20	1,00
57	3,4	250	4,8	22	0,99
60	3,3	300	5,1	24	0,96
66	3,1	350	5,3	26	0,92
72	3,0	400	5,4	28	0,87
78	3,0	500	5,0	32	0,73



OBS. Para o hemisfério sul leia-se o quadro pela direita

FIGURA 6.1.1 - Porcentagem média do tempo em que o sol se encontra no horizonte.

6.1.2 Método de Gloyna

Pelo método de Gloyna se leva em conta a temperatura da água no mês mais frio, e a DBO do esgoto afluente a lagoa (S_o). O tempo de detenção poderá ser calculado pelo emprego da família de curvas da figura 6.1.2.1, ao passo que a carga orgânica poderá ser calculada pelo uso das curvas da figura 6.1.2.2.

O tempo de detenção (T_d) poderá também ser calculado pela fórmula:

$$T_d = \frac{S_o}{200} t_o (1,085)^{35 - t}$$

onde:

T_d = tempo de detenção, em dias

S_o = DBO₅ afluente, em mg/l

t_o = valor fixo = 7

t = temperatura da água no mês mais frio, em °C.

NOTA: Gloyna recomenda que essa fórmula seja aplicada para esgotos com DBO₅ afluente igual no máximo a 350 mg/l. Para esgotos fortes (DBO₅ > 350 mg/l) o valor a ser empregado deverá ser o da DBO total (S_{oT}) igual a DBO₅ x 1,46 (para 20°C).

.../

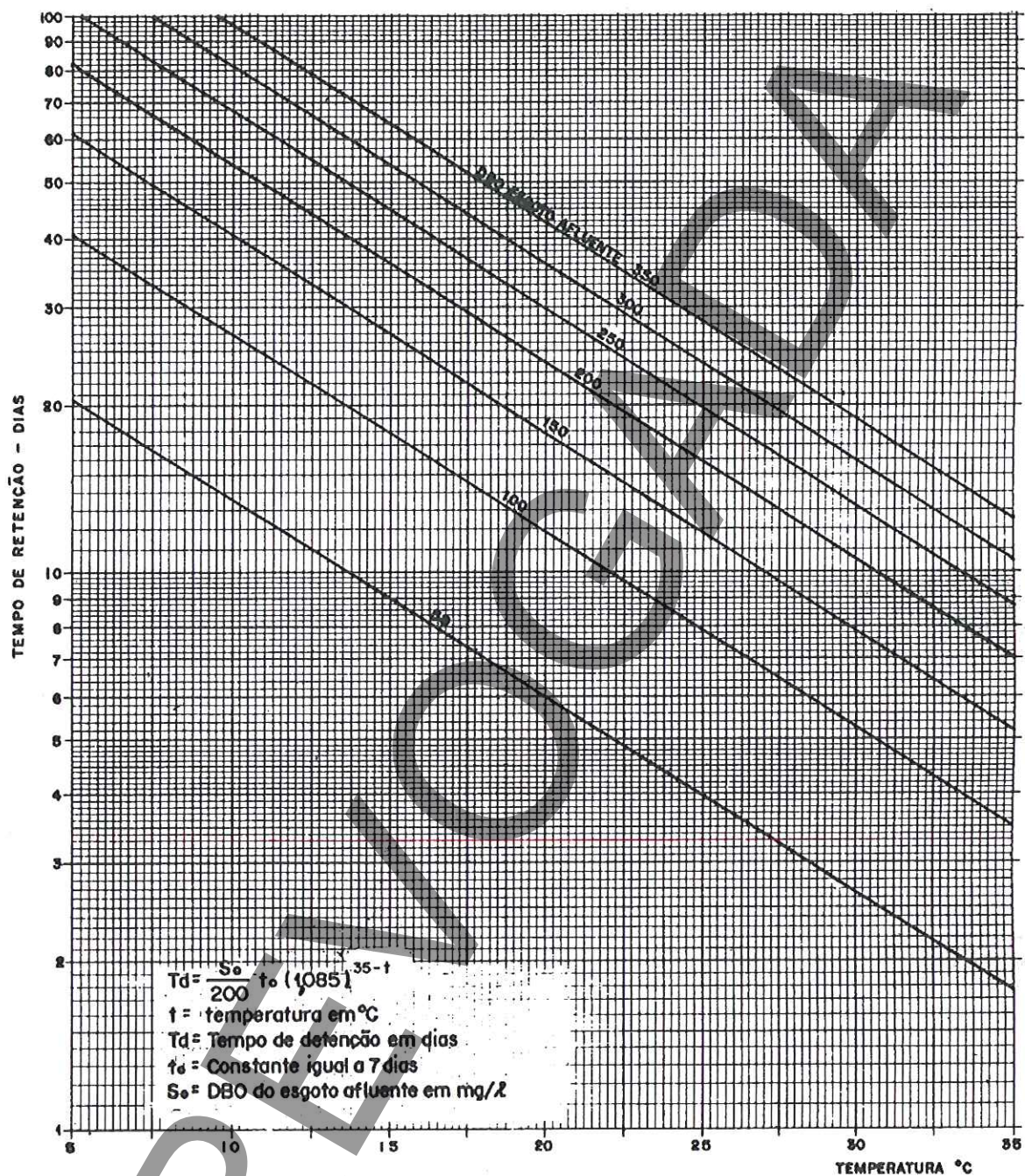


FIGURA 6.1.2.1 - Tempo de detenção para remoção de 90% de DBO, em função da temperatura e da DBO do esgoto.

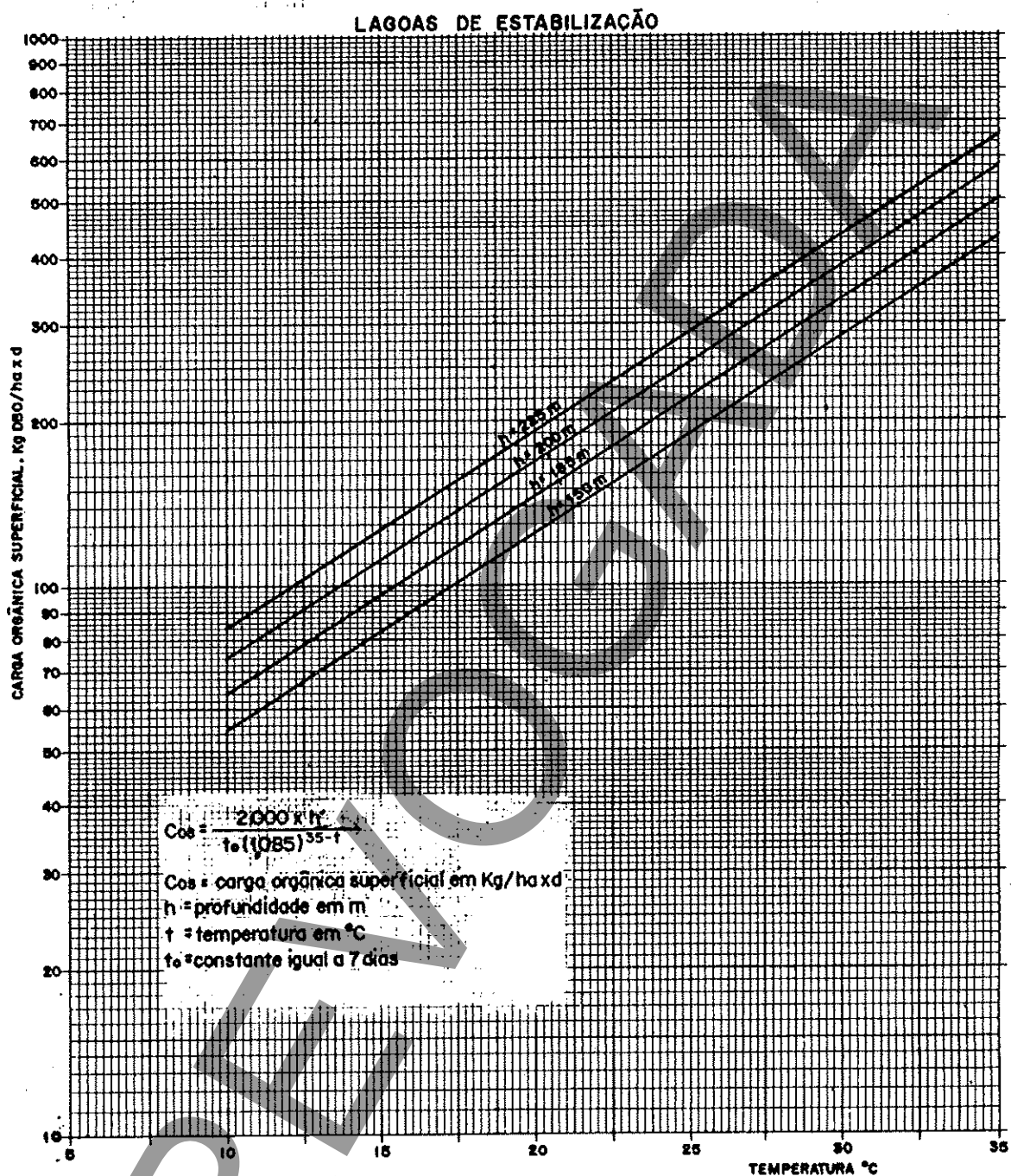


FIGURA 6.1.2.2 - Carga da DBO por área para remoção de 90%, em função da temperatura.

6.1.3 Método de Marais e Shaw

O método de Marais e Shaw relaciona a eficiência da lagoa com a profundidade da mesma, de acordo com a expressão:

$$Se = \frac{600}{2h + 8}$$

onde:

Se = DBO do efluente, em mg/l

h = profundidade da lâmina d'água, em metros

Desse modo, partindo-se de uma profundidade pré fixada h, de termina-se o valor da DBO5 afluente pretendida (Se).

Com os valores de Se e da DBO5 afluente (So) calcula-se a eficiência da lagoa pela relação:

$$\text{Eficiência (E)} = \frac{So - Se}{So}$$

Com o valor de E encontra-se o tempo de detenção empregando-se a fórmula:

$$Td = \frac{E}{0,17 (1 - E)}$$

onde:

Td = tempo de detenção, em dias

E = eficiência da lagoa em %

6.1.4 Método simplificado de Senra

Este método simplificado permite o conhecimento preliminar da área necessária para tratamento por lagoa facultativa. Este método, para tratar exclusivamente esgotos domésticos, é indicado na figura 6.1.4.

6.1.5 Método da carga orgânica pré-estabelecida

Nos critérios empíricos, utiliza-se a experiência para dimensionar as lagoas facultativas em função de cargas de DBO por unidade de área, ou população por unidade de área, já razoavelmente verificadas. Algumas vezes, o tempo de detenção, é também empiricamente pré-fixado, mas como elemento auxiliar e não principal, uma vez que nas lagoas facultativas, a área superficial assume sempre o aspecto de maior importância.

Estas cargas tomadas como base para projeto, tem variado de 90 a 200 kg DBO/ha d, em nosso país. Experiências piloto recentes, na região nordeste, indicaram resultados favoráveis para cargas de 200 até 400 kg/ha d (com eficiência de remoção da DBO de 85%). Vale lembrar que são experiências realizadas ainda em unidades piloto e com temperatura da ordem de 25°C.

O dimensionamento é efetuado pelo quociente da carga orgânica diária afluyente à lagoa (Cod), pela taxa de aplicação assumida (Cos). O valor de Cod é obtido pelo produto da vazão de projeto, pela concentração de DBO do esgoto (So). Assim a área da lagoa fica determinada por:

.../

ENGR MANUEL SENRA

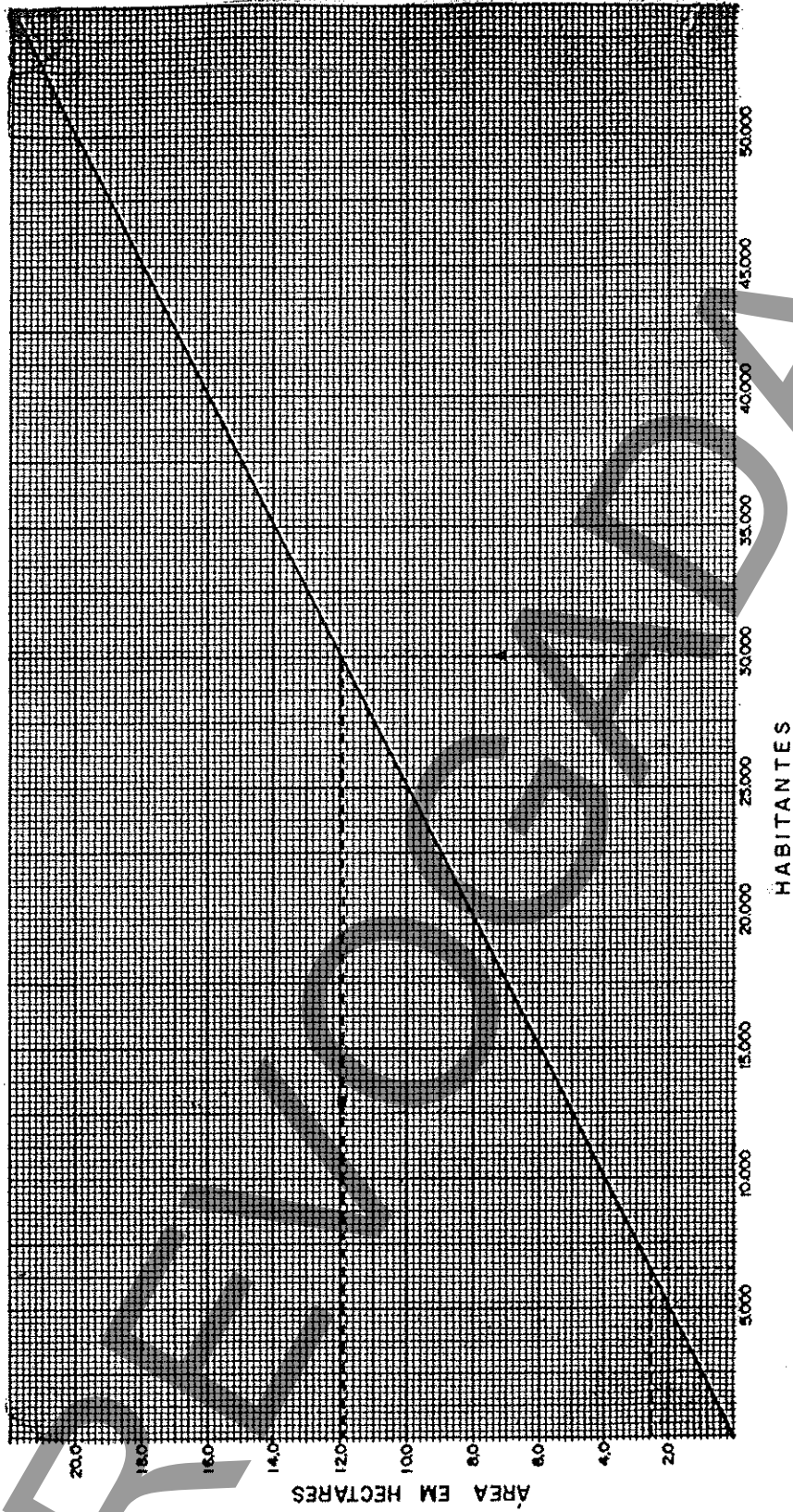
OS PARÂMETROS SÃO VÁLIDOS PARA AS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA DO AR = 20°C E EFICIÊNCIA DE 80% EM REMOÇÃO DE DBO

1- CONTRIBUIÇÃO POR HABITANTES
180 l/hab.dia

2- TEMPO DE DETENÇÃO MÍNIMO
34 dias

3- ALTURA DA LAMINA D'ÁGUA
1,50 m

4- CARGA APLICADA
135 kg DBO/m².dia



EXEMPLO
PARA UMA CIDADE COM 30000 HABITANTES TEREMOS UMA LAGOA
COM 122.400 m² (1224 ha) ESTE MÉTODO CONDUZ A UMA ÁREA DE 4.08 ha/hab.

FIGURA 6.1.4 - Processo simplificado para dimensionamento de lagoa facultativa única para tratar esgoto doméstico

$$A = \frac{Cod}{Cos}$$

NOTA: Para este intervalo de carga adotado e considerado uma lâmina d'água de 1,00 m são obtidos tempos de de tenção variando de 15 a 30 dias aproximadamente.

6.1.6 Método de McGarry e Pescod

Critérios empíricos foram também estabelecidos a partir das observações de McGarry e Pescod que relacionaram a carga máxima de DBO que uma lagoa pode suportar, à temperatura média mensal do ar.

Para faixa de temperatura (t) de 15 a 30°C de acordo com registros de uma meia centena de casos, todos no exterior, a carga orgânica superficial máxima Co_s seria expressa por:

$$Co_s = 20 t - 120$$

onde:

Co_s = carga orgânica superficial máxima em kg DBO/ha x d

t = temperatura em °C

Os resultados obtidos nas experiências brasileiras piloto (ref. 11 da bibliografia) no Nordeste, são muito próximos dos resultados da aplicação deste método, tendo a temperatura média nas lagoas variando entre 25 e 27°C, naquelas experiências.

Vale lembrar que este método conduz a cargas relativamente elevadas.

.../

6.2 EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE LAGOAS FACULTATIVAS

No dimensionamento das lagoas de estabilização facultativas serão levados em conta os mesmos dados do exemplo das lagoas anaeróbias, ou seja:

Cidade "A"

Latitude20°S
 Quota per capita180 l/hab d
 Carga orgânica per capita54 g DBO/hab d
 DBO do esgoto bruto300 mg/l
 Temperatura do ar, média do mês mais frio20°C
 Temperatura da água, média do mês mais frio ..19°C
 Precipitação, igual a evaporação + infiltração
 Somente esgotos domésticos
 Adotado para os vários métodos de profundidade..... 1,5 m
 População6 500 hab

6.2.1 Exemplo de dimensionamento de lagoa facultativa pelo método de Oswald

São utilizados os seguintes parâmetros:

$$C_{0S} = 0,196 \text{ F.S.}$$

C_{0S} = carga orgânica superficial em kg DBO/ha d

F = fator que relaciona carga de DBO, latitude e temperatura.

.../

S = valor provável da energia solar visível mínima em langley's/d, conforme Tabela 6.1.1.1

$$F = \frac{F_1 + F_2}{2} \times F_3$$

OBS.: Ver significado da fórmula no item 6.1.1.

CÁLCULO DE F

$$F = \frac{F_1 + F_2}{2} \times F_3$$

Pela tabela 6.1.1.2 e para DBO do esgoto bruto igual a 300 mg/l, encontramos $F_1 = 5,1$.

Pelas curvas da figura 6.1.1 e para a latitude de $20^{\circ}S$, vemos que o sol se encontra sobre o horizonte numa média de 45%.

Com este valor de 45% e com auxílio da Tabela 6.1.1.2, encontramos $F_2 = 4,1$.

F_3 é função da temperatura média do mês mais frio, que para o exemplo em questão é de $20^{\circ}C$. Com este dado entrando na tabela 6.1.1.2 encontramos $F_3 = 1,00$.

$$F = \frac{5,1 + 4,1}{2} \times 1,00$$

$$F = 4,6$$

.../

CÁLCULO DE S

Pela tabela 6.1.1.1 e para a latitude de 20°S encontramos que o valor de S para o mês mais crítico (valor mínimo da energia solar visível) será junho e nos dá um valor de $S = 125 \text{ langleys/d}$.

CÁLCULO DA CARGA APLICADA

$$C_{o_s} = 0,196 \text{ F.S.}$$

$$F = 4,6$$

$$S = 125$$

$$C_{o_s} = 0,196 \times 4,6 \times 125$$

$$C_{o_s} = 112,7 \text{ kg DBO/ha} \times \text{d}$$

CÁLCULO DA ÁREA DA LAGOA

a) Cálculo da carga orgânica diária

$$C_{od} = \frac{6.500 \cdot (\text{hab}) \cdot 180 \cdot (1/\text{hab} \cdot \text{d}) \cdot 300 \cdot (\text{mg/l})}{1.000.000}$$

$$= 351 \text{ kg DBO/d}$$

b) Cálculo da área

$$A = \frac{351 \text{ (kg DBO/d)}}{112,7 \text{ (kg DBO/ha} \times \text{d)}}$$

$$A = 3,1144 \text{ ha (31.144 m}^2\text{)}$$

.../

CÁLCULO DO TEMPO DE DETENÇÃO

a) vazão diária de esgoto:

$$Q = \frac{6.500 \text{ (hab)} \times 180 \text{ l/hab} \cdot \text{d}}{1.000} = 1170 \text{ m}^3/\text{d}$$

b) altura da lâmina d'água = 1,5 m (pré-fixada)

c) volume da lagoa:

$$V = 31.144 \times 1,5 = 46.716 \text{ m}^3$$

d) tempo de detenção (Td)

$$Td = \frac{46.716 \text{ (m}^3\text{)}}{1.170 \text{ (m}^3/\text{d}\text{)}}$$

$$Td = 40 \text{ dias}$$

RESUMO:

- área da lagoa	31.144 m ² = 3,1 ha
- volume da lagoa	46.716 m ³
- profundidade	1,5 m
- tempo de detenção	40 dias
- carga orgânica superficial aplicada	112,7 kg DBO/ha d

.../

6.2.2 Exemplo de dimensionamento de lagoa facultativa pelo método de Gloyna

Pelo método de Gloyna, para DBO de esgoto bruto afluente até 350 mg/l, são utilizadas as curvas da figura 6.1.2.1 e 6.1.2.2, que nos fornecem diretamente os tempos de detenção e as cargas aplicadas em kg DBO/ha x dia em função da temperatura e da DBO de esgoto afluente.

CÁLCULO DA CARGA APLICADA

Para as condições do exemplo, temos temperatura do esgoto no mês mais frio = 19°C, DBO do esgoto afluente igual a 300 mg/l.

Entrando com estes valores no gráfico da figura 6.1.2.2, encontramos uma carga aplicada de 116 kg DBO/ha x dia.

CÁLCULO DO TEMPO DE DETENÇÃO

Para a temperatura de 19°C e DBO do esgoto afluente igual a 300 mg/l e utilizando-se o gráfico da figura 6.1.2.1, encontramos o tempo de detenção de 39 dias.

O tempo de detenção poderá também ser calculado através do uso da fórmula:

$$T_d = \frac{S_0}{200} \text{ to } (1,085)^{35 - t}$$

T_d = tempo de detenção, em dias

S_o = DBO₅ do esgoto afluente = 300 mg/l

t_o = constante igual a 7,0

t = temperatura do esgoto = 19°C

Substituindo na fórmula, teremos:

$$T_d = \frac{300}{200} \times 7 \cdot (1,085)^{35 - 19}$$

$$T_d = 1,5 \times 7 \cdot (1,085)^{16}$$

$$T_d = 10,5 \times 3,6887$$

$$T_d = 38,7 \text{ dias} \approx 39 \text{ dias}$$

Pode-se também calcular a carga aplicada, a partir do tempo de detenção acima conhecido, do seguinte modo:

$$V = \frac{6.500 \text{ (hab)} \times 180 \text{ (l/hab} \cdot \text{d)} \times 39 \text{ (d)}}{1.000} = 45.630 \text{ m}^3$$

para uma profundidade de 1,5 m a área da lagoa será:

$$A = \frac{45.630}{1,5} = 30.420 \text{ m}^2$$

a carga de DBO diária é:

$$\text{Cod} = \frac{6.500 \text{ (hab)} \times 180 \text{ (l/hab} \cdot \text{d)} \times 300 \text{ mg/l}}{1.000.000}$$

$$= 351 \text{ kg DBO/d}$$

a carga orgânica superficial aplicada será pois:

$$Cos = \frac{351 \text{ kg DBO/dia}}{3,042 \text{ ha}} \approx 116 \text{ kg DBO/ha x d}$$

RESUMO:

área da lagoa	30.420 m ²
volume da lagoa	45.630 m ³
profundidade	1,5 m
tempo de detenção	39 dias
carga superficial aplicada	116 kg DBO/ha x d

6.2.3 Dimensionamento de lagoa facultativa pelo método de Marais e Shaw

Para dimensionar uma lagoa facultativa pelo método de Marais e Shaw são usadas as seguintes fórmulas:

$$Se = \frac{600}{2h + 8}$$

onde:

Se = DBO do efluente em mg/l

h = profundidade da lâmina d'água em metros

eficiência da lagoa

$$E = \frac{So - Se}{So}$$

So = DBO afluente em mg/l

Se = DBO efluente em mg/l

.../

$$E = 1 - \frac{1}{0,17 Td + 1}$$

onde:

E = eficiência da lagoa em %

Td = tempo de detenção em dias.

CÁLCULO DA DBO DO EFLUENTE FINAL

$$Se = \frac{600}{2h + 8}, \text{ para } h = 1,5 \text{ m teremos:}$$

$$Se = \frac{600}{2 \times 1,5 + 8} \quad Se \approx 55 \text{ mg/l}$$

CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA LAGOA

$$E = \frac{So - Se}{So}$$

$$E = \frac{300 - 55}{300} \approx 0,82 \text{ (82\%)}$$

CÁLCULO DO TEMPO DE DETENÇÃO

$$Td = \frac{E}{0,17 - 0,17 E} = \frac{E}{0,17 (1 - E)}$$

$$Td = \frac{0,82}{0,0306}$$

$$Td = 27 \text{ dias}$$

CÁLCULO DA CARGA APLICADA

a) volume da lagoa

$$V = \frac{6.500 \text{ (hab)} \times 180 \text{ (l/hab} \times \text{d)} \times 27 \text{ (d)}}{1.000} =$$

$$= 31.590 \text{ m}^3$$

b) área da lagoa

$$A = \frac{31.590 \text{ (m}^3\text{)}}{1,5 \text{ (m)}} = 21.060 \text{ m}^2 = 2,106 \text{ ha}$$

c) a carga aplicada será:

$$\text{Cod} = \frac{6.500 \text{ (hab)} \times 180 \text{ (l/hab} \times \text{d)} \times 300 \text{ (mg/l)}}{1.000.000}$$

$$= 351 \text{ kg DBO/dia}$$

d) carga superficial aplicada

$$\text{Cos} = \frac{351}{2,106 \text{ ha}} \approx 167 \text{ kg DBO/ha} \times \text{d}$$

RESUMO

volume da lagoa 31.590 m³
 área da lagoa 2,1060 ha
 profundidade 1,5 m
 tempo de detenção 27 dias
 carga aplicada 167 kg DBO/ha x d

.../

6.2.4 Exemplo de dimensionamento da lagoa facultativa pelo método de Senra

Por este método e com o auxílio do gráfico da figura 6.1.4 encontramos para uma população de 6.500 habitantes, uma área de 2,6000 ha.

1. Verificação da carga aplicada:

a) carga de DBO diária

$$\begin{aligned} \text{Cod} &= \frac{6500 \cdot (\text{hab}) \cdot 180 \cdot (1/\text{hab} \cdot \text{dia}) \cdot 300(\text{mg/l})}{1.000.000} \\ &= 351 \text{ kg DBO/ dia} \end{aligned}$$

b) carga orgânica superficial

$$\text{Co}_s = \frac{351 \text{ kg DBO/d}}{2,600 \text{ ha}} = 135 \text{ kg DBO/ha} \cdot \text{dia}$$

2. Verificação do tempo de detenção

a) volume da lagoa = $26.000 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ m} = 39.000 \text{ m}^3$

b) vazão diária de esgoto

$$V = \frac{6500 \cdot (\text{hab}) \cdot 180 \cdot 1/\text{hab} \cdot \text{dia}}{1.000} = 1.170 \text{ m}^3/\text{dia}$$

c) tempo de detenção

$$T_d = \frac{39.000}{1.170} = 34 \text{ dias}$$

.../

RESUMO

volume da lagoa	39.000 m ³
área da lagoa	2,6 ha
profundidade	1,5 m
tempo de detenção	34 dias
carga superficial aplicada	135 kg DBO/ha x dia

6.2.5 Método de dimensionamento da lagoa facultativa pelo método da carga orgânica pré-estabelecida

Trata-se de um critério que utiliza dados experimentais já verificados nas regiões do projeto e que fixam uma carga orgânica superficial pré-fixada. Estas cargas orgânicas superficiais para regiões brasileiras onde a temperatura média é de 20°C variam entre 90 a 200 kg DBO/ha x dia.

Recentemente, experiências realizadas no nordeste brasileiro indicaram cargas maiores compreendidas entre 200 a 400 kg DBO/ha x dia mas para temperaturas de 25 a 27°C.

Para se dimensionar a lagoa bastará conhecer a carga orgânica diária Cod e dividi-la pela carga orgânica superficial pré-estabelecida e teremos a área da lagoa facultativa.

CÁLCULO DA ÁREA

$$A = \frac{Cod}{Cos}$$

.../

Para os dados do exemplo teremos se fixarmos, por exemplo

$$Co_s = 120 \text{ kg DBO/ha x dia.}$$

$$A = \frac{351 \text{ kg DBO/ x dia}}{120 \text{ kg DBO/ha x dia}}$$

$$A = 2,9250 \text{ ha} = 29.250 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DO VOLUME DA LAGOA

$$V = 1,5 \times 29.250 = 43.875 \text{ m}^3$$

CÁLCULO DO TEMPO DE DETENÇÃO

$$T_d = \frac{\text{volume da lagoa}}{\text{volume diário de esgoto}}$$

$$T_d = \frac{43.875}{1.170} \approx 37,5 \text{ dias}$$

RESUMO

volume da lagoa 43.875 m³

área da lagoa 2,9250 ha

profundidade da lâmina d'água 1,50 m

tempo de detenção 37,5 dias

carga aplicada 120 kg DBO/ha x d

.../

6.2.6 Exemplo de dimensionamento de lagoa facultativa pelo método de Mc Garry e Pésod

Neste método para o dimensionamento de lagoa facultativa é utilizada a carga orgânica aplicada, carga esta, função de temperatura da água e calculada de acordo com a fórmula:

$$\text{Cos} = 20t - 120$$

Para o exemplo considerado, onde $t = 20^{\circ}\text{C}$, a carga orgânica será:

$$\text{Cos} = 20 \times 20 - 120$$

$$\text{Cos} = 280 \text{ kg DBO/ha} \times \text{d}$$

1. Cálculo da área da lagoa

$$A = \frac{351 \text{ kg DBO/d}}{280 \text{ kg DBO/ha} \times \text{d}} = 1,2536 \text{ ha}$$

2. Cálculo do volume da lagoa

Para a profundidade de 1,5 m o volume da lagoa será:

$$V = 1,5 \times 12536 = 18.804 \text{ m}^3$$

3. Cálculo do tempo de detenção

a) vazão diária

$$Q = \frac{6500 \text{ (hab)} \times 180 \text{ (l/hab} \times \text{d)}}{1.000} = 1.170 \text{ m}^3/\text{d}$$

.../

b) tempo de detenção:

$$T_d = \frac{18.804 \text{ m}^3}{1.170 \text{ m}^3/\text{d}} = 16 \text{ dias}$$

RESUMO

volume da lagoa	18.804 m ³
área da lagoa	1,2536 ha
profundidade	1,5 m
tempo de detenção	16 dias
carga superficial aplicada	280 kg DBO/ha x d.

CAPÍTULO 7

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE LAGOAS ANAERÓBIAS E FACULTATIVAS

7.1 LAGOAS ANAERÓBIAS

Para o dimensionamento das lagoas anaeróbias, o critério empírico da fixação do tempo de detenção parece ser o mais indicado, embora os três métodos indicados tenham levado a um mesmo resultado.

Dos dados experimentais brasileiros podem ficar definidos os seguintes critérios para dimensionamento das lagoas anaeróbias.

tempo de detenção 4 a 7 dias

profundidade da lâmina d'água: 2,00 a 4,5 m

carga orgânica volumétrica (Cov) variando de 0,04 a 0,07 kg DBO/m³ x d.

7.2 LAGOAS FACULTATIVAS

No dimensionamento de lagoas facultativas, o critério empírico pode ser usado, adotando-se, uma carga orgânica superficial compatível com as características climatológicas da área de projeto. A experiência nacional tem levado ao dimensionamento de lagoas facultativas com a adoção de cargas de 90 a 200 kg DBO/ha x d. Por outro lado, cargas mais elevadas de 200 a 400 kg DBO/ha x d. só foram experimentadas em lagoas piloto no nordeste, com temperatura média bastante elevadas (cerca de 25°C). Pelos exemplos considerados pode

.../

mos em princípio, projetar as lagoas facultativas pelo método de Marais, Shaw, Mc Garry e Pescod, para locais em que as temperaturas médias do ar sejam mais elevadas (acima de 25°C).

Para regiões brasileiras onde a temperatura média do mês mais frio for da ordem de 20°C ou menos, os demais métodos poderão ser usados.

O critério de Oswald, usado em alguns projetos de lagoas facultativas no Brasil, tem como desvantagem principal o fato de depender de dados quase sempre desconhecidos por medição direta, mas obtidos por meio de gráficos e tabelas.

Além disso, os dados básicos usados para o projeto como : energia solar visível, eficiência fotossintética, tempo em que o sol permanece no horizonte, tornam o método de aplicação mais complexo:

O método de Gloyna tem sido muito utilizado no Brasil com ótimos resultados, é de fácil aplicação, uma vez que leva em conta apenas a temperatura da massa líquida, após a fixação da profundidade da lagoa.

O Eng^o Senra, com base em análise de lagoas brasileiras em operação simplificou o dimensionamento de lagoas facultativas através de um gráfico simples que fornece a área da lagoa (em hectares) em função da população de projeto (para profundidade e carga superficial fixadas).

A Tabela 7 mostra um resumo dos resultados do dimensionamento do exemplo considerado, empregando-se os métodos indicados.

.../

TABELA 7 - QUADRO COMPARATIVO

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS LAGOAS.	MÉTODO DE OSWALD	MÉTODO DE GLOYNA	MÉTODO DE RAIS E SHAW	MÉTODO DE SENRA	CARGA ORGÂNICA PRÉ-ESTABELEC.	MÉTODO DE MC GARRY E PESCOD
Volume (m ³)	46.716	45.630	31.590	39.000	43.875	18.804
Área (ha)	3,1000	3,0420	2,1060	2,6000	2,9250	1,2536
Profundidade (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tempo de detenção (dias)	40	39	27	34	37,5	16
Carga superficial (kg DBO/ha x dia)	112,7	116	167	135	120	280

CAPÍTULO 8

ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO, FORMA E PERÍODO DE ALCANCE DE PROJETO

8.1 LOCALIZAÇÃO DAS LAGOAS

Na localização da área escolhida para a construção das lagoas de estabilização, deverão ser observados os seguintes itens:

- As lagoas de estabilização deverão ser construídas longe de habitações, a uma distância mínima de 500 metros.

Deverá na ocasião, ser consultado o plano de desenvolvimento urbanístico da localidade e áreas previstas para expansão da cidade;

- Quando possível, as lagoas de estabilização deverão situar-se a jusante dos ventos dominantes na região;

- O nível d'água da lagoa deverá situar-se em conta inferior à da soleira do último poço de visita do emissário;

- As lagoas de estabilização deverão situar-se em nível superior aos atingidos pelas enchentes máximas. Nesta impossibilidade, deverão ser previstos diques de proteção e obras complementares para desvios de enxurradas;

- O posicionamento da lagoa deverá ser tal, que evite longas tubulações para conduzir o efluente final, até o corpo receptor.

8.2 FORMAS DAS LAGOAS

Sempre que possível deverão ser evitadas as formas irregulares das lagoas de estabilização. As reentrâncias acarretam zonas mortas, e conseqüentemente, um mau funcionamento das lagoas.

Na maioria das vezes a forma adotada para uma lagoa é função direta da configuração topográfica do local onde a mesma será implantada.

8.2.1 Lagoas quadradas

Nestas lagoas tem sido verificadas ótimas eficiências quando a tubulação de entrada dos esgotos é no sentido da diagonal. Esse tipo de alimentação foi verificado ser satisfatório para lagoas quadradas de até 50 metros de lado. Para lagoas quadradas de lado maior que 50 metros, sugere-se o uso de tubulações múltiplas de alimentação perpendiculares ao lado da lagoa.

8.2.2 Lagoas retangulares

Nas lagoas de forma retangular a tubulação que conduz o esgoto afluente deverá penetrar pelo lado menor do retângulo, afastando o ponto de saída convenientemente das margens.

Para lagoas de grandes dimensões (lado maior com comprimento acima de 120 metros e relação $\frac{\text{comprimento}}{\text{largura}} < 2$) são recomendadas as entradas múltiplas.

8.2.3 Observações complementares sobre formas de lagoas

Qualquer que seja o formato das lagoas, quadradas, retangulares ou de formas irregulares, não deverão existir internamente cantos vivos em noventa graus. Os vértices internos deverão ser arredondados, pois assim serão evitadas zonas mortas e que poderão causar problemas operacionais.

8.3 PERÍODOS DE PROJETO

Quando se projeta lagoas de estabilização, a adoção de períodos longos de alcance do projeto é bastante perigosa, uma vez que a sua capacidade excessiva nos primeiros anos, de operação poderá conduzir a falhas operacionais como por exemplo: lâminas d'água baixíssimas, a lagoa não terá efluente e surgirão mosquitos e vegetais no fundo da lagoa.

É sempre conveniente, desde que exista possibilidade física e econômica, construir-se unidades em paralelo para evitar o problema mencionado anteriormente. Uma boa concepção de projeto é a modulação de unidades para serem implantadas ao longo do tempo cada 10 anos, por exemplo.

É de grande importância em cidades onde o sistema de redes de esgotos, encontra-se em fase de projeto ou de início, de execução que haja uma coordenação entre a construção do sistema de tratamento e o sistema de coleta.

CAPÍTULO 9

DISPOSITIVOS DE ENTRADA, SAÍDA, INTERCONEXÃO E PROTEÇÃO DE TALUDE

9.1 DISPOSITIVO DE ENTRADA DO AFLUENTE

As principais recomendações aqui relacionadas devem ser observadas na construção das tubulações de entrada dos esgotos nas lagoas de estabilização:

- Não se deve entrar com tubulação aérea e descarga livre sobre o nível líquido, pois a agitação no ponto da queda se transformará num foco de maus odores;
- Um maior número de tubulações de entrada facilitará a homogeneidade do líquido afluente com o líquido retido, evitando correntes de curto circuito e zonas mortas;
- A extremidade da tubulação de entrada deverá ser bastante firme e descarregar sobre uma placa de concreto a fim de proteger o fundo da lagoa, contra a erosão;
- Para lagoas de grandes dimensões, aconselha-se que a descarga seja feita a uma distância conveniente do talude para sua proteção;
- Para lagoas de pequenas dimensões (até 5.000 hab) a alimentação poderá ser feita no sentido da diagonal (fig. 9.1).

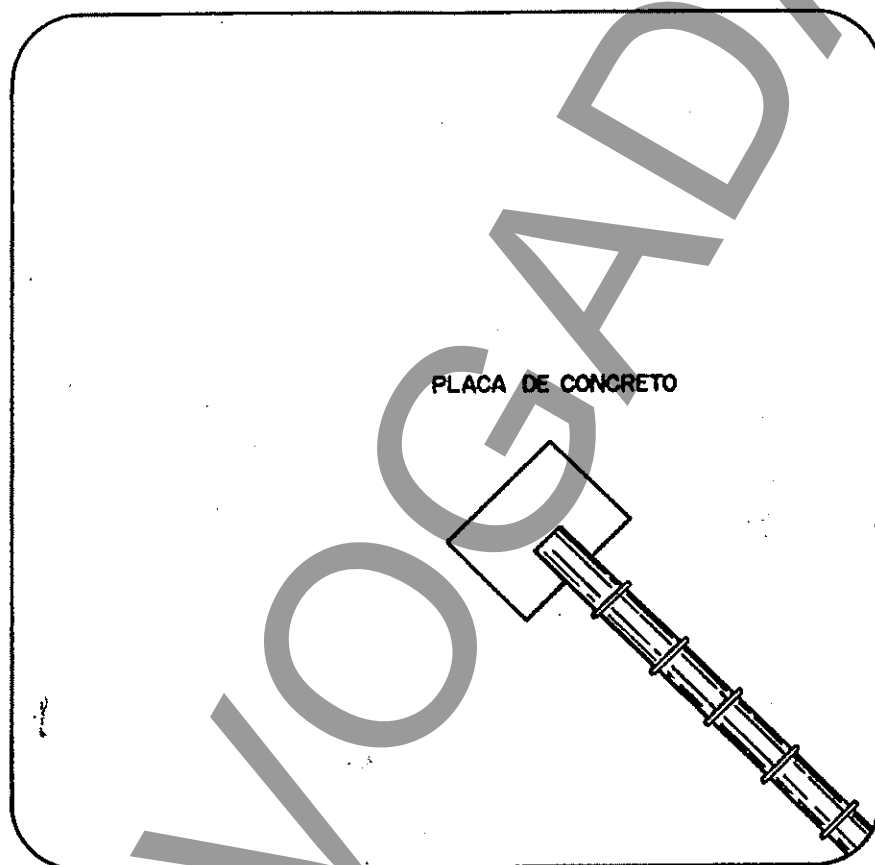


FIGURA 9.1 - Alimentação diagonal

9.2 DISPOSITIVO DE INTERCONEXÃO ENTRE LAGOAS

Os dispositivos de interconexão entre duas lagoas associadas devem atender principalmente as seguintes finalidades:

- Evitar a passagem de materiais flutuantes de uma lagoa para outra;
- Permitir variar a altura do nível líquido de uma lagoa e, conseqüentemente seu tempo de detenção;
- Criar um local de fácil acesso para coleta de amostras, a fim de se verificar a eficiência da primeira lagoa e a carga que está sendo aplicada à segunda lagoa.

O dispositivo mais simples de interconexão entre o efluente de uma lagoa anaeróbia e a entrada em uma lagoa facultativa é mostrada na figura 9.2.

Consiste de uma tubulação possuindo uma curva de 90° que penetra na lagoa anaeróbia cerca de 50 cm abaixo do nível d'água, e que vai ter a uma caixa de concreto situada no dique que separa as duas lagoas. Esse dispositivo evita a passagem dos materiais flutuantes da lagoa anaeróbia para a lagoa facultativa e permite colher na caixa de concreto, o efluente da lagoa anaeróbia.

É, sem dúvida, o mais simples dispositivo de interconexão entre duas lagoas.

Um outro dispositivo pode ser visto na figura 9.3 e consiste

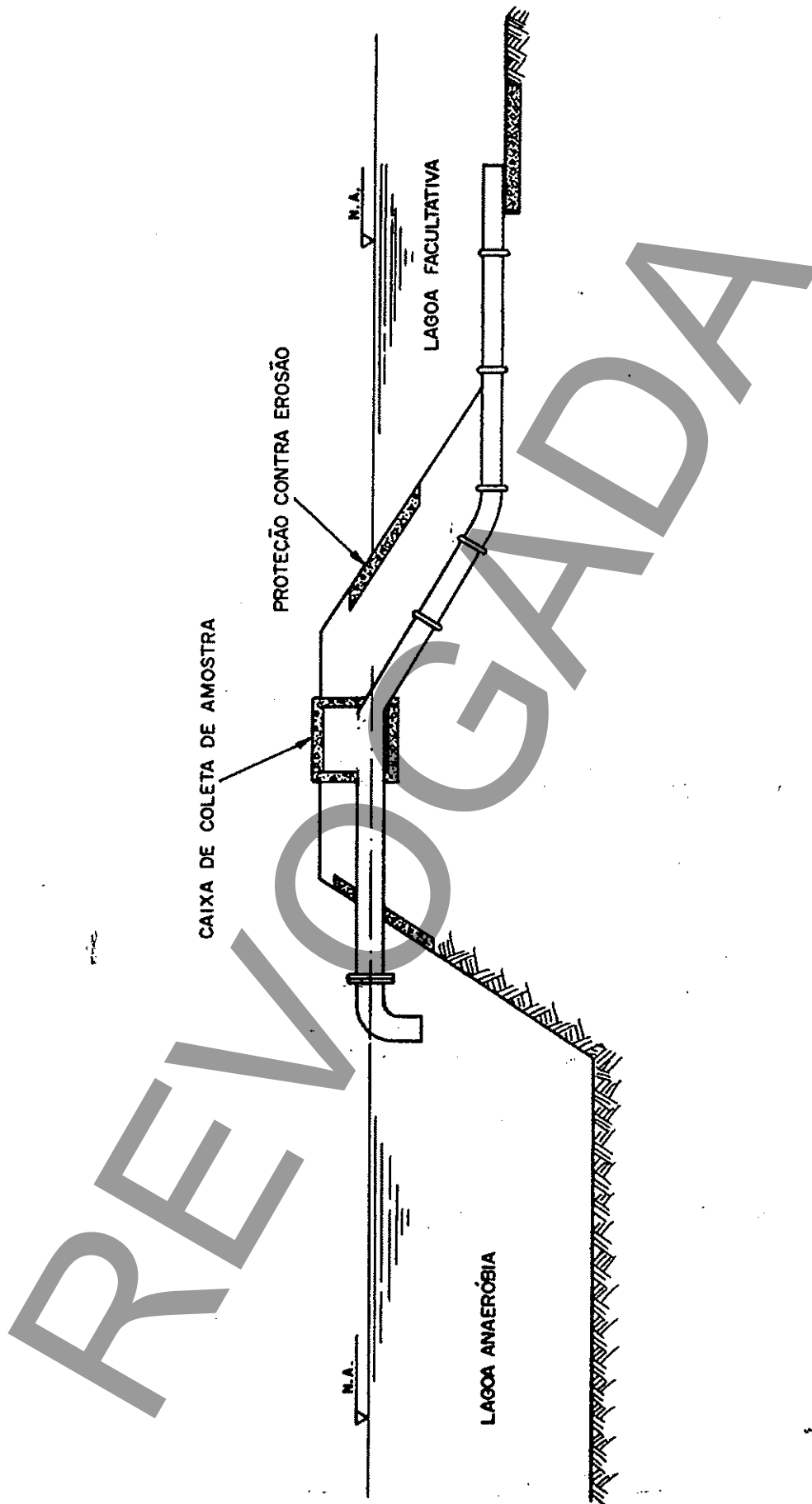


FIGURA 9,2 Interconexão de lagoas por tubulação

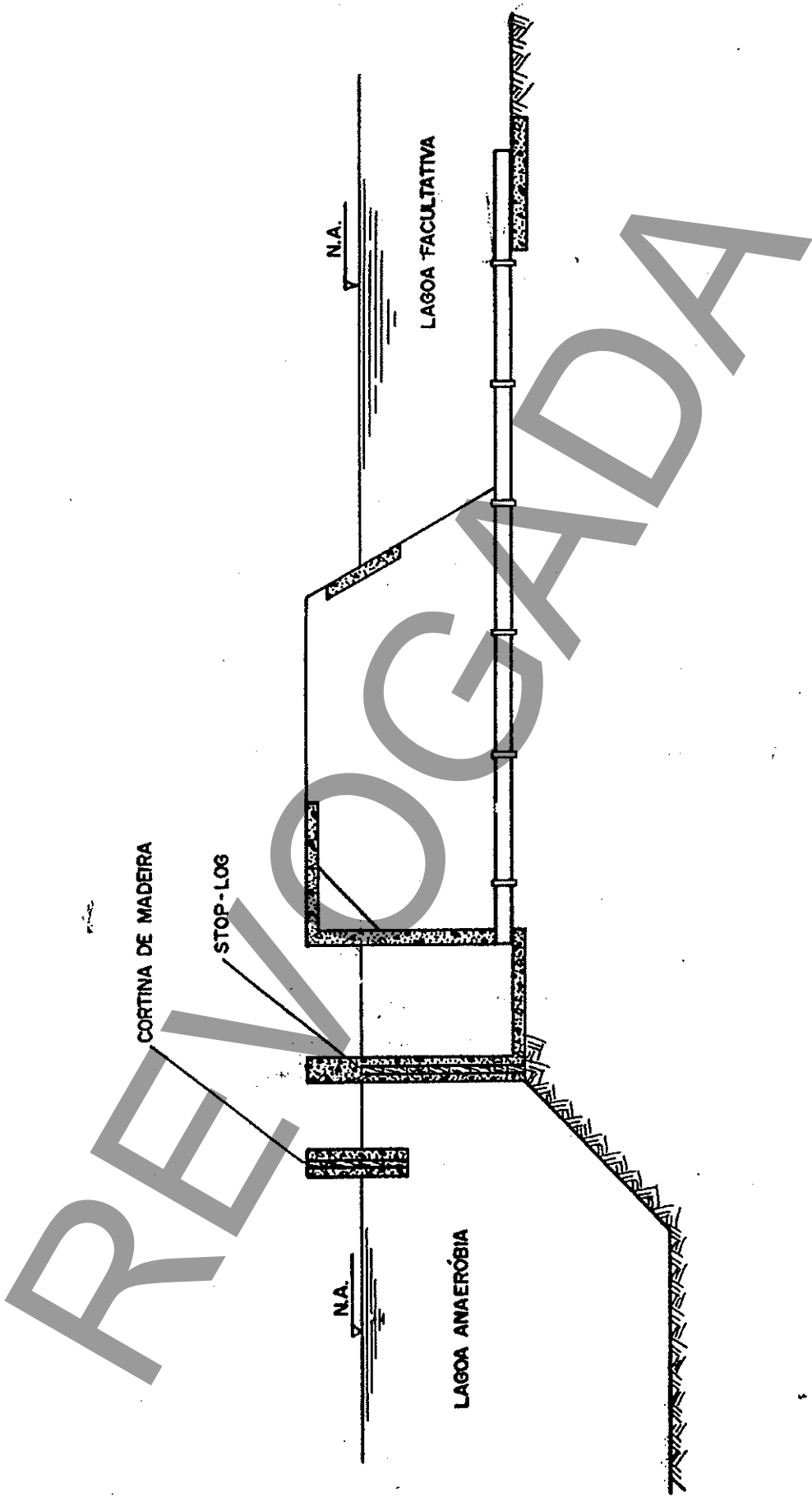


FIGURA 9.3 - Interconexão de lagoas por stop-logs

num sistema de cortinas de madeira que protegem a entrada do efluente em um vertedouro, tudo isso fixo em uma caixa de concreto.

Utilizando-se esse tipo de cortina e através de stop-log de madeira consegue-se ao mesmo tempo, reter os materiais flutuantes e fazer variar o tempo de detenção do líquido na lagoa anaeróbia, pela variação da profundidade de lâmina líquida e conseqüentemente do volume.

9.3 CAIXA DE PASSAGEM ENTRE DUAS LAGOAS

Deverá ser prevista no caso da figura 9.2 a colocação de uma caixa de passagem no dique que separa duas lagoas em série. Esta caixa servirá como ponto de coleta de amostra do efluente da primeira lagoa, para avaliação da eficiência da mesma. Se existirem alimentações múltiplas de uma lagoa para outra, deverão existir tantas caixas de passagem, quantas são as interconexões entre as lagoas (fig. 9.4).

9.4 ENTRADA DO EFLUENTE DA PRIMEIRA LAGOA, NA SEGUNDA LAGOA

Deverá ser feita a alimentação da segunda lagoa por tubulação que acompanha a inclinação do talude e penetra apoiada no fundo da lagoa.

A descarga do líquido deverá se dar sobre uma placa de concreto construída no fundo da lagoa, com a finalidade de evitar a erosão da mesma.

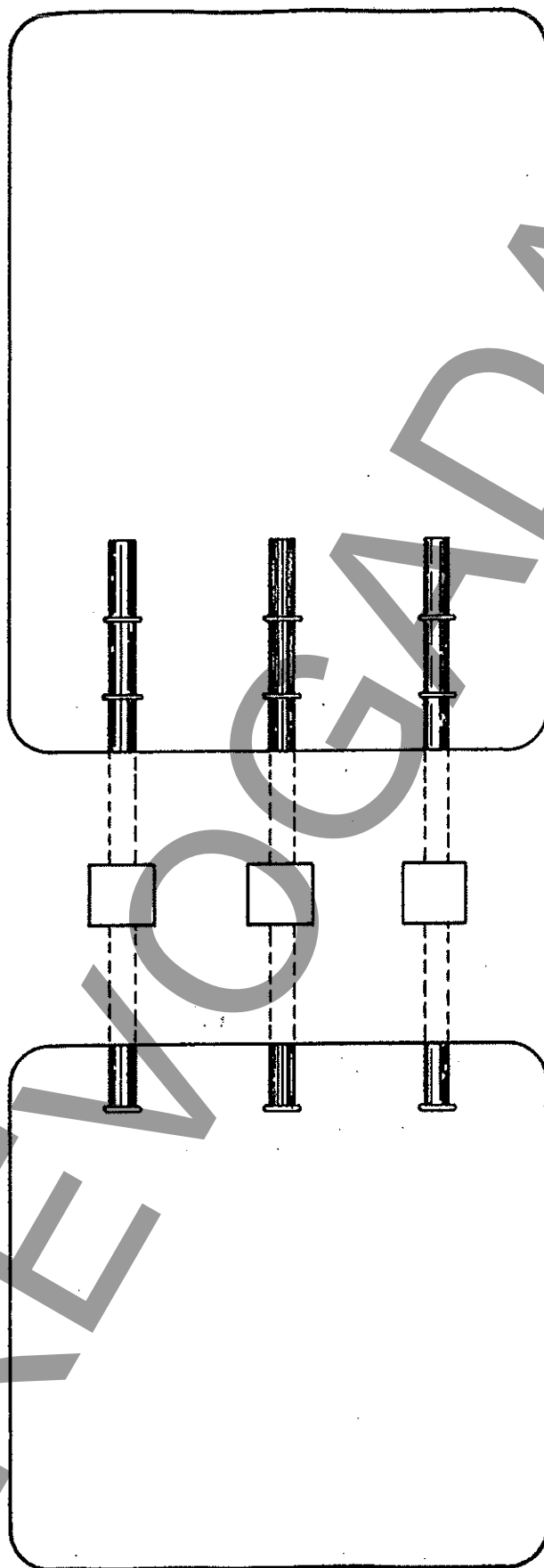


FIGURA 9.4 - Alimentação múltipla com caixas de passagem

9.5 DISPOSITIVOS DE SAÍDA DO EFLUENTE FINAL

Os dispositivos de saída do efluente final das lagoas de estabilização devem atender as seguintes condições:

- Possuir fácil acesso;
- Permitir variar o nível líquido da lagoa com dispositivos simples;
- Dar condições de se efetuar a coleta de amostras com facilidade e segurança;
- Localizar-se no sentido dos ventos predominantes de tal modo que algum material flutuante possa ser removido ao vertedor de saída.

Os principais dispositivos de saída empregados nas lagoas podem ser vistos nas figuras 9.5 e 9.6.

9.5.1 Passadiço de concreto com vertedores em stop log de madeira

Neste tipo de dispositivo o efluente poderá ter seu nível variado em função da colocação de ripas de madeira nos encaixes existentes na caixa de concreto.

Esta caixa tem a soleira abaixo do fundo da lagoa e dispõe de um registro que permite o esvaziamento completo da mesma. Parte da soleira, a tubulação que conduzirá o efluente ao corpo d'água receptor (fig. 9.5).

9.5.2 Dispositivo de saída através de anéis reguláveis

Neste caso, é necessário, a construção do passadiço e a cai

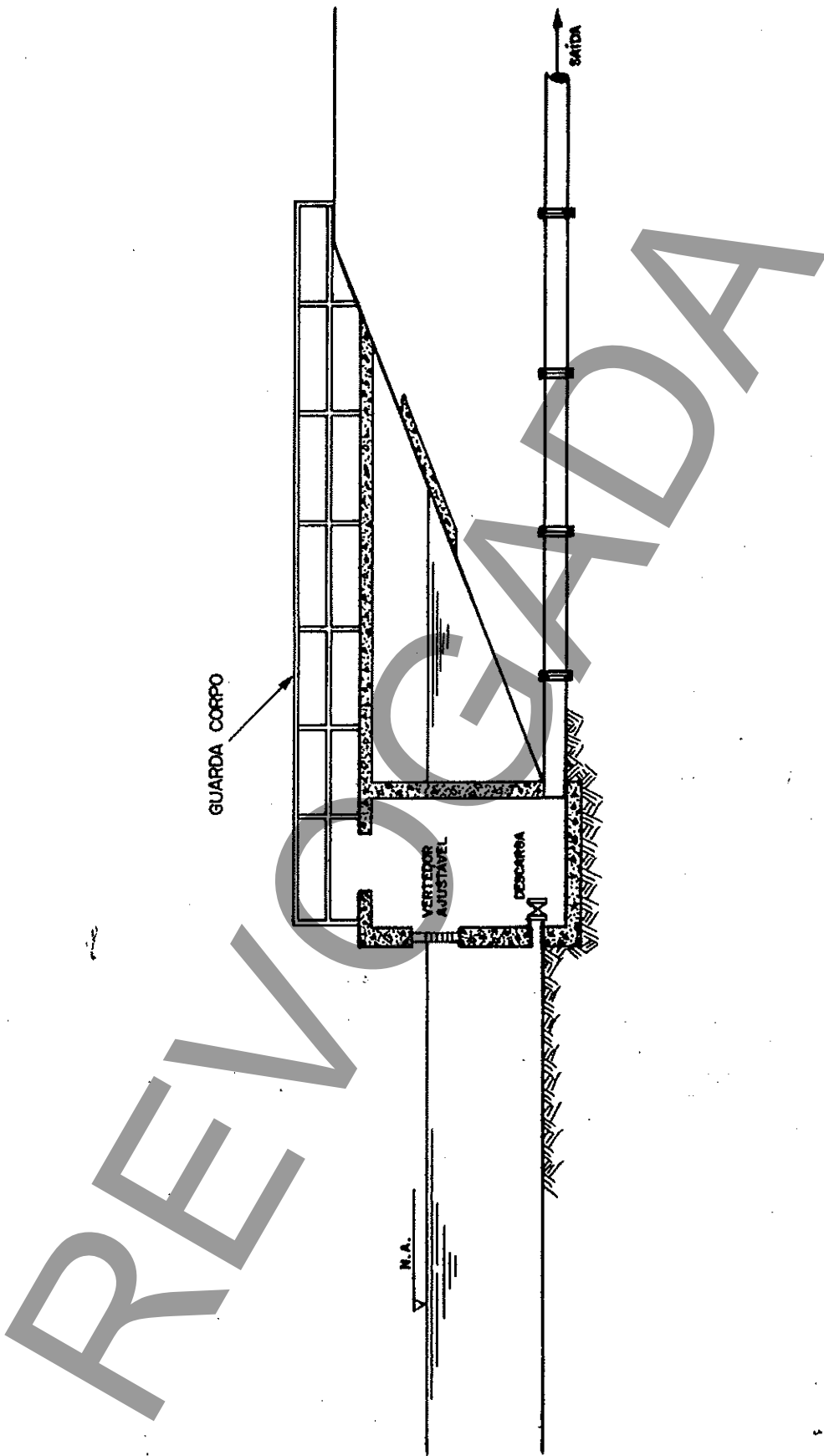


FIGURA 9.5 - Vertedor ajustável com stop-logs de madeira

xa de concreto é substituída por uma tubulação vertical capaz de se adaptar anéis removíveis em sua parte superior, de modo a variar o nível do líquido (fig. 9.6).

9.5.3 Caixa de concreto com stop log de madeira, cortina protetora e grade

Este é um dispositivo seguro para se ter um efluente final livre de material flutuante e ao mesmo tempo dá maior segurança para evitar que algum material lançado dentro da caixa, ou mesmo algum animal morto, venha obstruir a tubulação que conduz o efluente final ao corpo receptor (fig. 9.7).

9.6 TALUDES DE PROTEÇÃO INTERNA

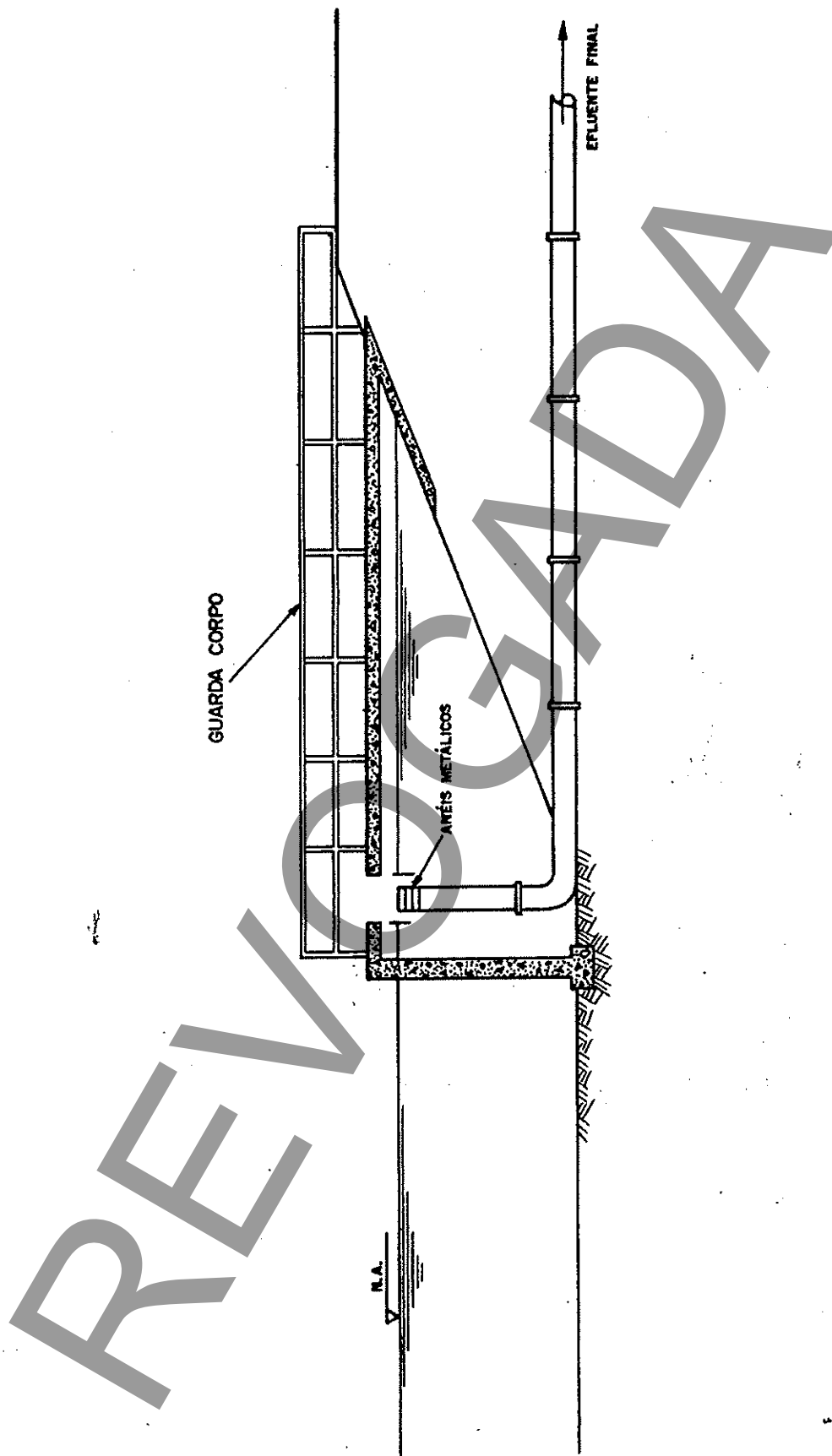
Internamente as lagoas de estabilização poderão possuir uma proteção no talude, na altura do nível líquido, de modo a evitar o problema da erosão causada pela ação das ondas formadas pelos ventos.

Essa proteção poderá ser de concreto ou enrocamento de pedra com rejuntamento.

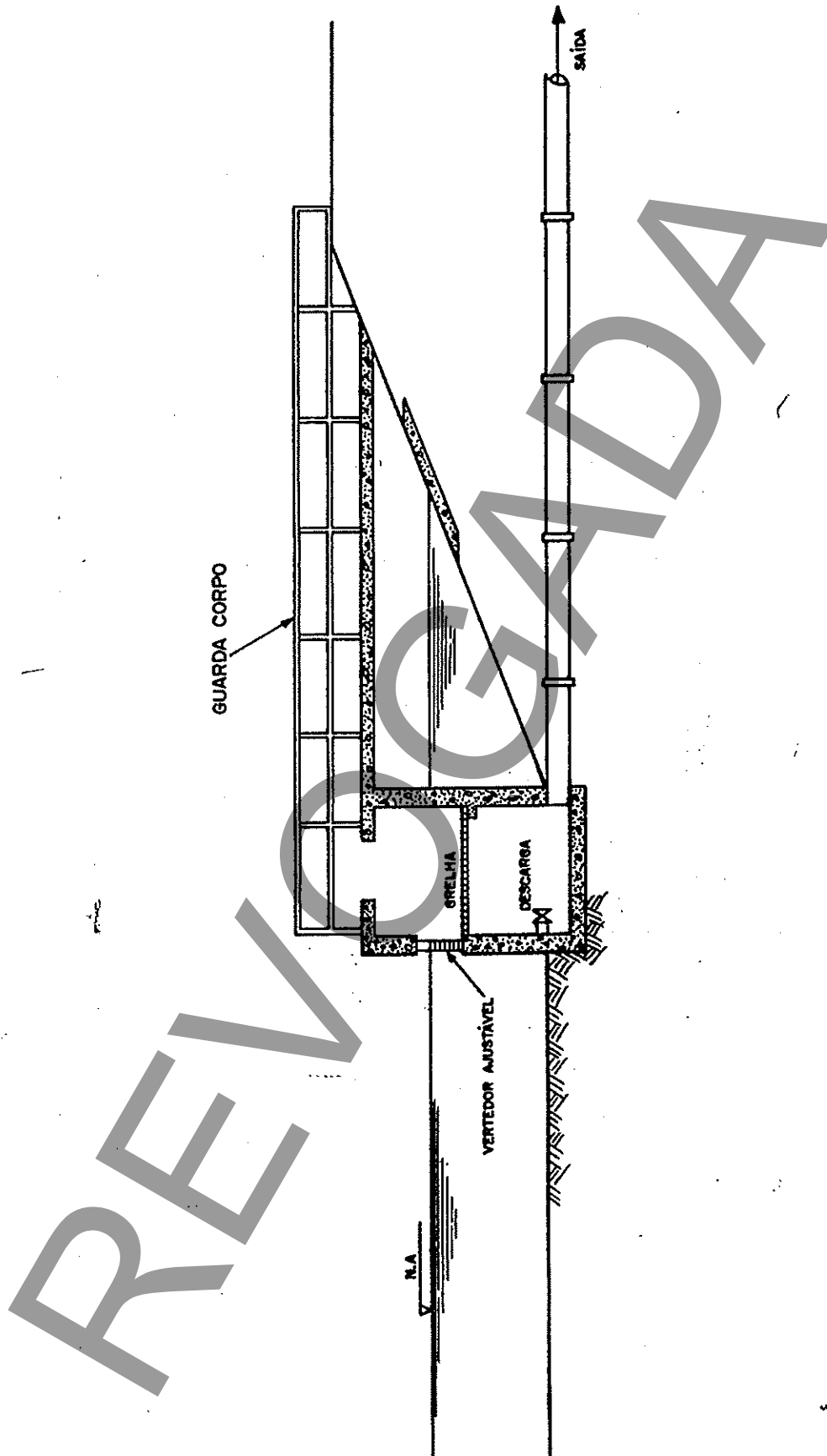
Essa proteção interna além de proteger o talude da ação da erosão, evitará o crescimento de vegetais nas margens e, consequentemente, evitará o surgimento de insetos e mosquitos.

Nunca se deve plantar grama internamente em uma lagoa de estabilização na linha do nível d'água.

Quando se constroer a proteção interna do talude poderá ser plantada grama acima desta proteção, de modo que não haja contato com a linha d'água (fig. 9.8).



9.6 Vertedor ajustável com anéis metálicos



9.7 Vertedor ajustável e grelha de saída

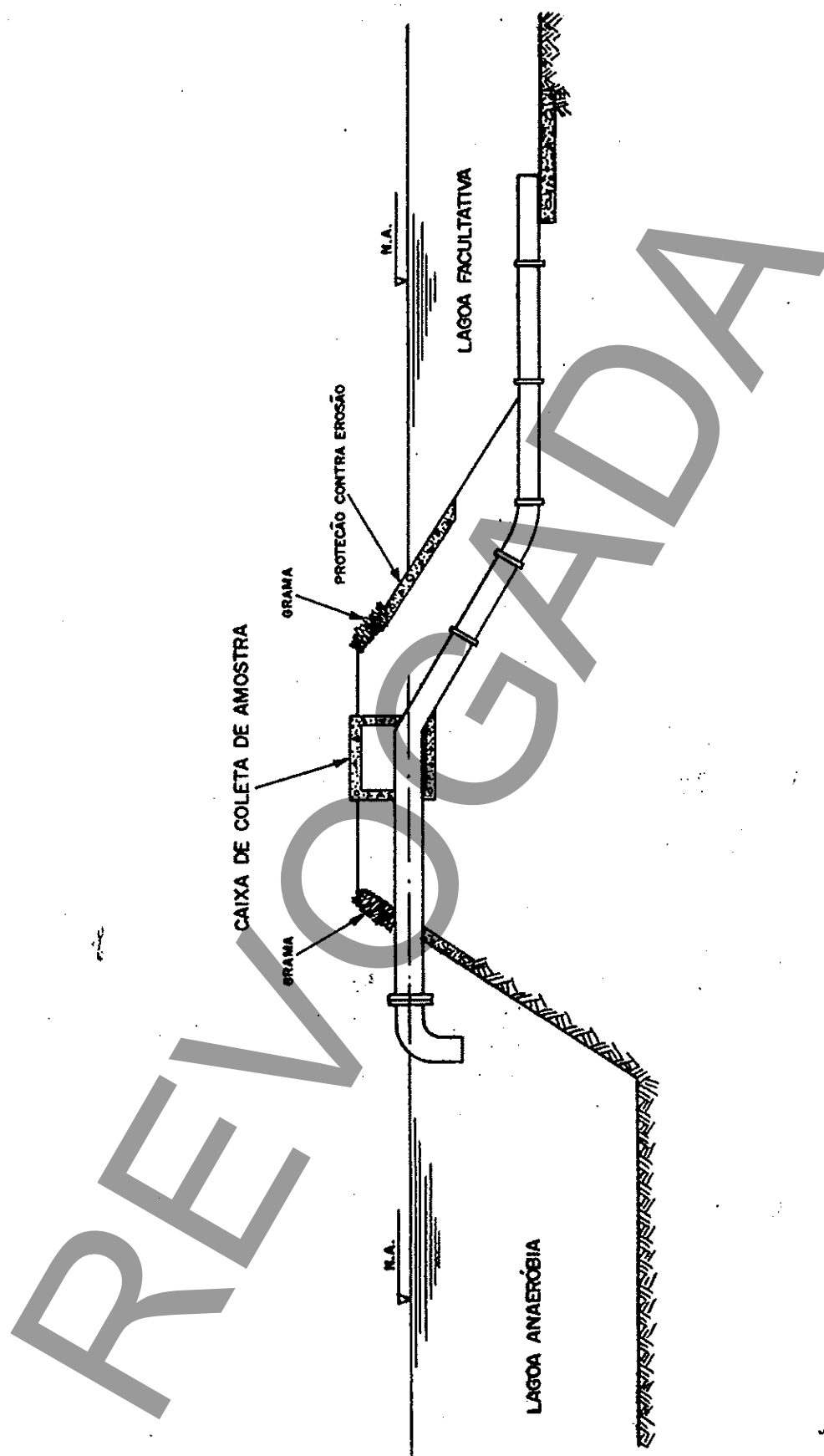


FIGURA 9.8 - Passagem da lagoa anaeróbica para facultativa

CAPÍTULO 10

UNIDADES PRELIMINARES DE TRATAMENTO E MEDIDORES DE VAZÃO

10.1. MEDIDOR DE VAZÃO

A primeira unidade que precede um sistema de lagoas de estabilização deve ser um medidor da vazão afluente.

Tal medidor permitirá avaliar, em função da vazão afluente, os tempos de detenção nas lagoas, ao mesmo tempo que, em conjunto com os resultados das determinações de DBO, permitirá saber qual a carga que está sendo aplicada diariamente às lagoas.

A medição do efluente final permitirá, também verificar qual a perda de água por infiltração e evaporação.

Os métodos mais simples de medição de vazão em lagoas de estabilização, são: através de calha Parshall e vertedores.

10.2. GRADES

As grades em sistemas de lagoas de estabilização só devem ser colocadas antes da estação elevatória de esgoto que se situe junto as áreas de lagoa.

Assim mesmo estas grades deverão ser de barras, com espaçamento de 2,5 cm e de limpeza manual.

Em lagoas que trabalham em locais distantes, sem operadores junto a elas e cujos esgotos chegam por gravidade, não deverão possuir grades.

10.3 CAIXAS DE AREIA

Não deverão ser construídas caixas de areia precedendo as lagoas de estabilização, a não ser em casos especiais (estação elevatória junto a área da lagoa).

RECOMENDAÇÕES FINAIS

- A área onde se construirá a lagoa de estabilização deverá ser totalmente cercada para evitar que animais se aproximem das mesmas. A cerca deverá fazer parte do projeto;
- Se existirem áreas gramadas junto às lagoas, deverá constar do projeto um sistema viário para circulação interna de veículos. Além de facilitar a manutenção, os veículos podendo percorrer o contorno das lagoas, facilitarão também a coleta de amostras.

BIBLIOGRAFIA

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NB-570 - Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários.
2. AQUA - AEROBIC SYSTEMS INC - Engineering Manual III, Rockford, 1972.
3. AZEVEDO NETTO, J.M & HESS, M.L - Tratamento em Lagoas de Estabilização, Valos de Oxidação: In: Tratamento de Águas Residuárias. São Paulo, DAE 1970 p. 80-6 (separata da revista DAE).
4. BALABRAM V; ENNES, Y.M. - "Lagoas de Estabilização, Projeto de um Sistema Facultativo, E.E.U.F.M.G., Belo Horizonte 1972.
5. BRANCO, S.M. - Depuração Biológica de Águas Residuárias In; Hidrologia aplicada à Engenharia Sanitária, São Paulo - CETESB 1971-VIII p. 825-975.
6. HESS, M.L. e outros "Lagoas de Estabilização Fac. Hig. e Saneamento - USP, editado sob a direção de J.M. Azevedo Netto - São Paulo 1967.
7. HESS, M.L., Desenho de Lagoas e Valos de Oxidação: Tratamento e Recuperação de Despejos Industriais, Rio de Janeiro, Instituto de Engenharia Sanitária, Sursam 1971 - secção 2p.1-20.

8. JORDÃO E.P., Pessoa C.A - "Tratamento de esgotos Domésticos ABES/BNH/CETESB - São Paulo 1979.
9. JORDÃO E.P., "Lagoas de Estabilização", situação atual - Seminário Sobre Processos Econômicos de Tratamento - ABES/Porto Alegre 1977.
10. LUDWIG, R. - "Lagoas de Estabilização, Parâmetros de Projetos - Re vista Saneamento nº 44 - 1972.
11. MARA, DM: SILVA S.A. - Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Lagoas de Estabilização, ABES, Rio de Janeiro - 1979.
12. PESSOA, C.A. - Emprego de Lagoas de Estabilização em Conjuntos Habitacionais, IV ABES, Brasília 1967.
13. SENRA, M.O - "Aspectos Operacionais de Lagoas de Estabilização - 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - Belo Horizonte 1977.
14. VICTORETTI, B.A. "Contribuição de Emprego de Lagoas de Estabilização como processo para depuração de esgotos domésticos - Fac. de Hig. e Saneamento, USP, São Paulo, 1972 - CETESB - São Paulo 1973.