



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

P3.250

Dez/1993  
76 PÁGINAS

Projeto de valos de oxidação: manual técnico

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>

RENOGADA

MANUAL TÉCNICO

PROJETO DE VALOS DE OXIDAÇÃO

P3.250

Dez/93

## SUMÁRIO

	Pág.
Introdução.....	3
Vantagens do processo.....	3
Unidades do processo.....	5
1 Características do processo.....	5
1.1 Características das unidades do processo.....	5
1.2 Localização das unidades de tratamento.....	7
2 Remoção dos sólidos grosseiros - gradeamento.....	9
2.1 Conceito.....	9
2.2 Finalidades.....	9
2.3 Características.....	9
2.4 Dimensionamento.....	13
3 Remoção do material arenoso.....	16
3.1 Conceito.....	16
3.2 Finalidades.....	17
3.3 Características.....	17
3.4 Dimensionamento.....	19
4 Valo de oxidação.....	25
4.1 Conceito.....	25
4.2 Finalidades.....	25
4.3 Características.....	27
4.4 Dimensionamento.....	37
4.5 Sistema de valos de oxidação simplificados.....	44
5 Decantação final.....	45
5.1 Conceito.....	45
5.2 Finalidade.....	45
5.3 Características.....	45
5.4 Dimensionamento.....	54
5.5 Recirculação de lodo.....	55
6 Secagem do lodo excedente.....	57
6.1 Conceito.....	57
6.2 Finalidade.....	57
6.3 Características.....	57
6.4 Funcionamento.....	59
6.5 Dimensionamento.....	59
Anexo A - Vertedor triangular para medição de vazão.....	63
Anexo B - Cálculo de oxigênio necessário considerando: síntese de novas células, respiração endógena e nitrificação e desnitrificação.....	71
Anexo C - Referências bibliográficas.....	73

## INTRODUÇÃO

O presente Manual tem como objetivo estabelecer critérios de procedimentos para projeto da unidade de tratamento biológico de esgoto, denominada valo de oxidação, que se constitui numa configuração geométrica variante do processo de lodos ativados, com aeração prolongada, bem como suas unidades auxiliares e órgãos complementares.

Funcionalmente, essas unidades concentram os fenômenos bioquímicos de tratamento da fase líquida (esgoto) e da denominada fase sólida (lodo), em única unidade (tanque de aeração). Nessa unidade ocorrem todas as fases que caracterizam as demais instalações conhecidas como aeração estendida, aeração prolongada, oxidação total e inúmeras outras variantes comercialmente patenteadas.

A primeira instalação de valos de oxidação foi construída em 1956, na municipalidade de Voorschotem, na Holanda, de acordo com os princípios de Pasveer, para atender a uma população equivalente a 360 habitantes (Figura 1). A grande aceitação do processo, extrapolou, em pouco tempo, a limitação da capacidade de tratamento, na época, recomendada para atender a 10000 habitantes. Atualmente, o acelerado desenvolvimento de uma tecnologia específica permitiu a reformulação dos conceitos anteriores, propiciando a construção de instalações para uma população equivalente de até 7,5 milhões de habitantes, como ocorre na ETE das indústrias BASF, que processa efluente misto, industrial e mais o da cidade de Ludwigshafen, na Alemanha.

Este Manual faz parte de um manual geral sobre lodos ativados a ser oportunamente editado pela CETESB.

### Vantagens do processo

O êxito do processo está intrinsecamente vinculado aos seguintes fatores:

- a) o tanque de aeração e as unidades complementares podem ser construídos independentes de patentes;
- b) um arranjo criterioso de suas unidades permite projetar um sistema ocupando áreas relativamente pequenas e economicamente viáveis;
- c) o grau de tratamento desse processo biológico é de elevada eficiência, e os efluentes são facilmente assimilados pela maioria dos corpos d'água receptores, atendendo satisfatoriamente às exigências de controle da poluição das águas, no que se refere aos padrões de emissão, entretanto o atendimento aos Padrões de Qualidade deverá ser verificado em cada caso.
- d) é economicamente competitivo com os demais processos biológicos, principalmente para instalações com ampla gama de capacidade e elevado grau de tratamento;
- e) dependendo da vazão afluente, a operação do processo é simples e de grande flexibilidade com conseqüente redução do custo operacional;
- f) não necessita de unidades de decantação primária e de digestão anaeróbia do lodo excedente, o qual poderá ser simplesmente lançado no terreno, precedido de estudos econômicos para definir as condições de secagem.

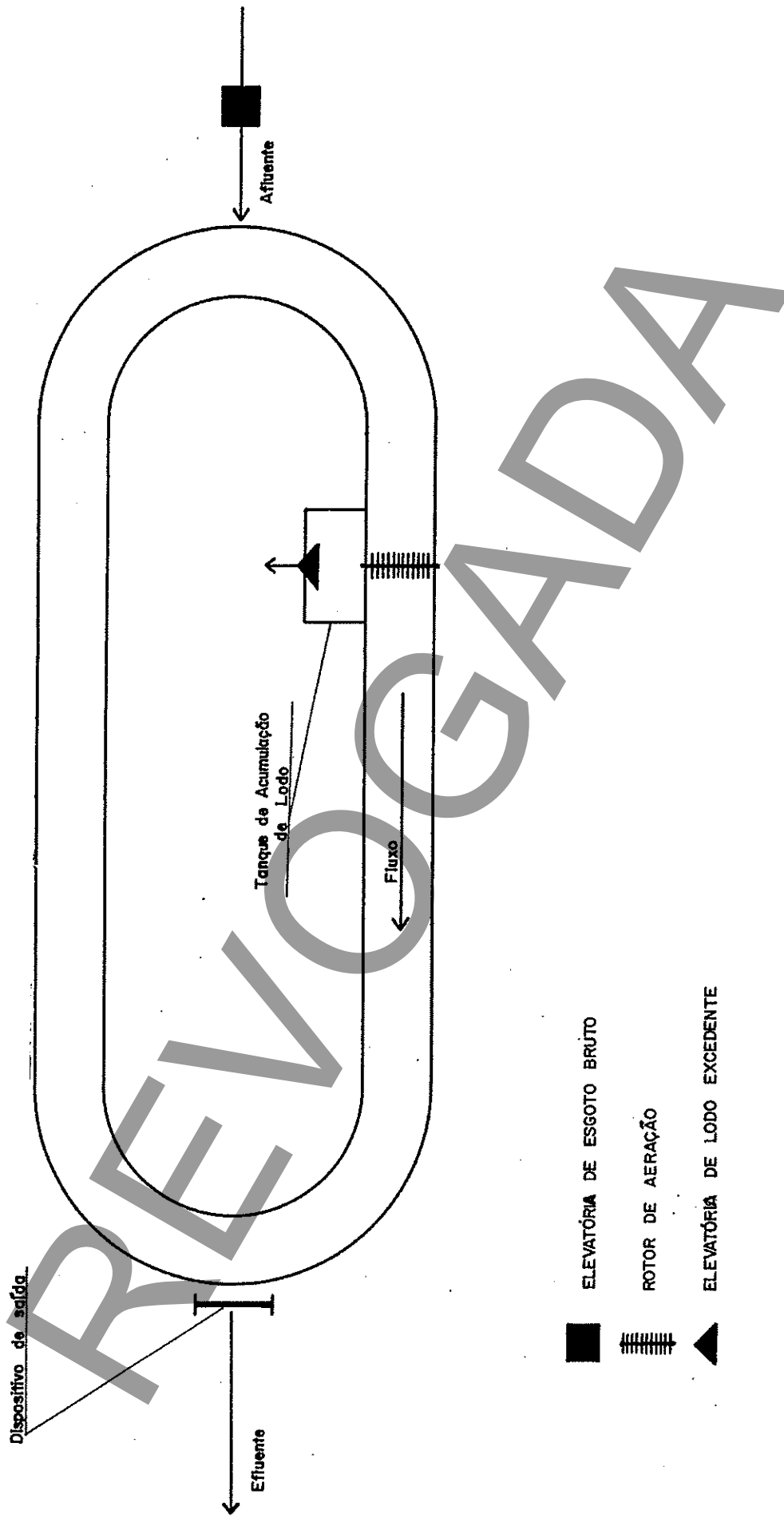


FIGURA 1 - Valo de oxidação (capacidade - 360 habitantes)

## Unidades do processo

O Manual abrange somente o valo de oxidação convencional, com rotor de aeração de eixo horizontal. Serão considerados, portanto, as seguintes operações e processos unitários de tratamento (Figura 2):

- remoção de material grosseiro
- remoção de material arenoso
- valo de oxidação
- decantação final
- secagem do lodo excedente.

## 1 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

Para efeito do presente Manual, será considerado como valo de oxidação o conjunto das unidades de tratamento e demais órgãos auxiliares inerentes aos processos de tratamento preconizados. As instalações compactas patenteadas deverão atender às recomendações dos fabricantes.

Em função do fluxograma da instalação, e considerando as inúmeras diversificações de equipamentos, a unidade padrão adotará a seqüência mostrada na Figura 2.

### 1.1 Características das unidades do processo

#### 1.1.1 Remoção do material grosseiro

O esgoto afluente atingirá a ETE através de um canal criteriosamente projetado, onde são instaladas as unidades de gradeamento com a finalidade de reter e propiciar a remoção manual ou mecanizada do material grosseiro carregado pelo sistema de coleta.

#### 1.1.2 Medição de vazão

Após a remoção do material grosseiro, se for o caso, o afluente poderá ser encaminhado para um canal de interligação onde se instala um dispositivo de medição de vazão.<sup>1</sup> Este canal é localizado preferencialmente no nível operacional da ETE e constitui uma unidade subsequente a uma elevatória de esgoto ou é conjugado à unidade de remoção de areia. Neste último caso, o medidor será projetado para se compor com as unidades de remoção de areia, operando também como regularizador da velocidade do fluxo nessa unidade.

#### 1.1.3 Remoção de areia

O material arenoso é removido com a finalidade de dotar os esgotos de características favoráveis aos processos subsequentes. Para esta fase de tratamento, adotam-se unidades de Caixas de Areia, que sedimentam o material arenoso e possibilitam a fácil remoção, manual ou mecanizada, dos materiais retidos.

<sup>1</sup> Ver Normas CETESB E2.150 - Medidor Parshall, E2.151 - Indicador de vazão para Medidor Parshall e Anexo A - Vertedor triangular para medição de vazão

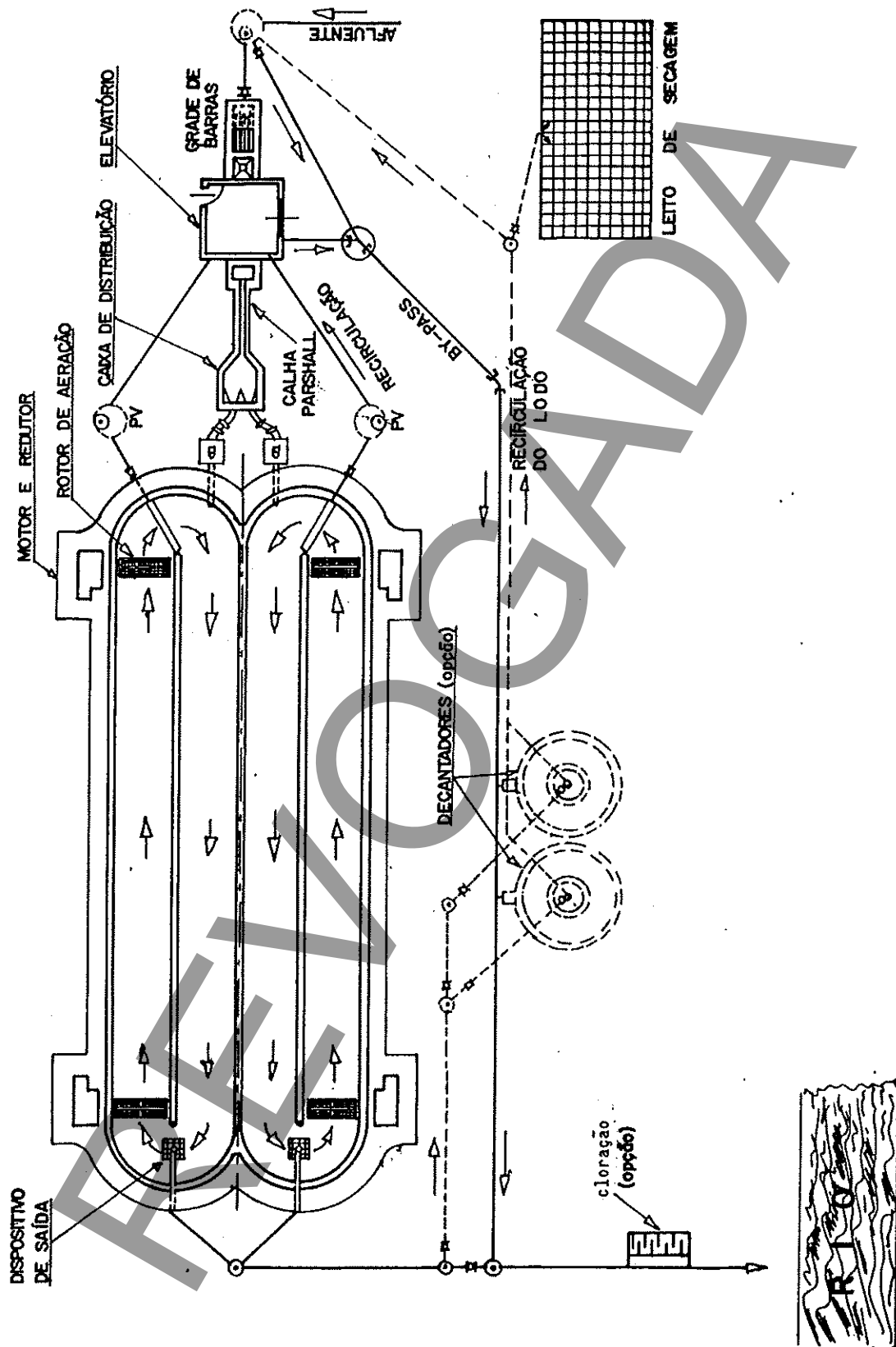


FIGURA 2 - Valo de oxidação (rotor de aeração horizontal - capacidade ± 3000 hab)

#### 1.1.4 Valo de oxidação

O esgoto isento dos materiais grosseiros e arenosos é encaminhado para o tanque de aeração (valo de oxidação), onde se processa a oxidação biológica através do contato íntimo dos microrganismos com a matéria orgânica do esgoto e o oxigênio do ar introduzido na massa líquida. O processo promove a síntese do lodo, comumente denominado lodo ativado, o qual é transferido, junto com o efluente, para as unidades de decantação.

#### 1.1.5 Decantação final

O efluente do tanque de aeração é submetido ao processo de decantação quando a fase sólida (lodo) é separada da fase líquida (efluente final). O lodo é recirculado, total ou parcialmente, para o afluente do tanque de aeração e o efluente final poderá ser lançado no corpo d'água receptor.

#### 1.1.6 Secagem do lodo excedente

A instalação deve prever unidades para a redução de umidade desse material, com o objetivo de tornar mais econômico o transporte e facilitar a disposição final do lodo excedente do processo. Neste Manual é abordado apenas o leito de secagem.

#### 1.1.7 Processos complementares

Em condições especiais, utiliza-se a desinfecção do efluente final antes do seu lançamento no corpo d'água receptor. Em tais casos, a cloração é o processo mais empregado. A cloração não é abordada no presente Manual.

### 1.2 Localização das unidades de tratamento

#### 1.2.1 Grades

As características de funcionamento da rede de coletores por gravidade geralmente estão condicionadas à obrigatoriedade de elevatórias de esgoto antes da ETE. Somente em condições excepcionais é possível evitar o uso de elevatórias para o esgoto coletado em uma comunidade. Portanto, partindo deste princípio, as grades de barras devem, sempre que possível, preceder as elevatórias e, especificamente, à elevatória final. Deve ser evitada a sua instalação dentro do poço úmido das elevatórias, tendo em vista as dificuldades na operação de limpeza e manutenção, bem como a possibilidade da presença de gases perigosos.

O emprego de elevatórias dotadas de bombas que permitem operar com esgotos contendo sólidos de grandes dimensões, dispensando, na maioria dos casos, o gradeamento prévio dos esgotos, não permitirá eliminar essa unidade das instalações de valos de oxidação. Os sólidos que possivelmente não trarão problemas ao funcionamento das unidades de bombeamento, se admitidos nas demais unidades, provocarão diversos inconvenientes operacionais.

Assim sendo, se o sistema de coleta de esgoto (rede, coletores-tronco e elevatórias) não for dotado de gradeamento dos sólidos grosseiros,



essa unidade deverá preceder a instalação de valo de oxidação, criteriosamente localizado a montante da caixa de areia.

### 1.2.2 Caixa de areia

Este Manual considera a localização mais adequada das caixas de areia a jusante das grades de barras e a montante dos tanques de aeração. No entanto, é oportuno lembrar que as primeiras unidades do valo de oxidação não dispunham de qualquer processo de separação de areia. Esta concepção poderá ser plenamente justificável desde que:

- a) a quantidade de areia seja desprezível em relação à capacidade do valo de oxidação, justificando a sua paralisação periódica para remoção do material arenoso sedimentado nos tanques de aeração; utilizando portanto, essa unidade como caixa de areia, dentro dos princípios de operação intermitente do processo;
- b) a velocidade do fluxo de esgoto no tanque de aeração seja predominantemente acima de 0.30 m/s, evitando possíveis acúmulos de areia na unidade.

### 1.2.3 Tanque de aeração

O tanque de aeração é localizado após as unidades de tratamento preliminar (grade de barras e caixa de areia) e a montante da unidade de decantação final.

A existência da grade de barras está condicionada a existência de outros equipamentos (elevatória) e sua presença é plenamente justificável e necessária em instalações de qualquer capacidade. No entanto, a existência de caixa de areia depende de inúmeros fatores e sua inclusão está intimamente condicionada às unidades subsequentes. Para efeito deste Manual, considera-se que o afluente e os tanque de aeração são isentos de material grosseiro e arenoso, isto é, compatível com o funcionamento das unidades de tratamento subsequentes.

### 1.2.4 Decantador final

O decantador final é localizado logo após o tanque de aeração. A interligação entre essas unidades deve ser realizada através de canalizações criteriosamente projetadas para evitar turbilhonamento excessivo ou decantações dos sólidos transportados. Deve ser evitado o emprego de elevatórias para esse transporte líquido ou, se for o caso, as bombas deverão ser selecionadas para esse tipo de serviço, principalmente no que se refere à destruição dos flocos.

As unidades de decantação final também devem ser localizadas próximas às unidades de tratamento ou do destino final de lodo. Este procedimento poderá permitir a descarga do excesso do lodo por gravidade. Quando isso não é possível, o lodo é conduzido através de derivações intercaladas convenientemente na linha de recalque da recirculação do lodo ou na caixa de distribuição do dispositivo de entrada do lodo recirculado.

### 1.2.5 Unidades de secagem do lodo

As unidades de secagem do lodo devem ser localizadas estrategicamente, considerando-se os seguintes fatores:

- a) o lodo em excesso deverá ser transferido, sempre que possível, sem recursos de bombas;
- b) o material drenado (líquido percolado) deverá retornar para o início do processo;
- c) o local deverá ser de fácil acesso, permitindo o transporte por viaturas (caminhões, "dumpster", etc.);
- d) a distância deverá ser suficientemente longa para evitar problemas eventuais de odores desagradáveis, mas suficientemente próxima para viabilizar o transporte do lodo úmido e seco.

## 2 REMOÇÃO DOS SÓLIDOS GROSSEIROS - GRADEAMENTO

### 2.1 Conceito

A presença de sólidos grosseiros nos esgotos deve-se ao uso inadequado das instalações destinadas a coletar e transportar os efluentes líquidos resultantes das atividades relacionadas com o uso da água. O material não tem características próprias, uma vez que está intrinsecamente condicionado qualitativa e quantitativamente às diferentes origens e costumes dos usuários da rede pública de esgotos.

Em condições normais, esse material é constituído por panos, pedras, sapatos, estopas, animais mortos e inúmeros objetos, principalmente, de vidro, de plástico e de madeira. Materiais grosseiros, sob o ponto de vista operacional, são todas aquelas substâncias removidas dos esgotos através do processo físico de gradeamento.

### 2.2 Finalidades

A remoção dos materiais grosseiros do esgoto afluente, no caso, das ETEs com valo de oxidação, tem as seguintes finalidades:

2.2.1 Proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos, tais como: bombas, tubulações e peças especiais.

2.2.2 Proteção dos dispositivos de tratamento, principalmente os rotores de aeração e removedores de lodo dos decantadores finais.

### 2.3 Características

O processo de gradeamento é normalmente realizado por unidades de grades de barras (de ferro ou aço), dispostas paralelamente, com espessuras e afastamentos convenientemente dimensionados, para permitir a retenção e a conseqüente remoção dos materiais lançados indevidamente no sistema de esgoto.

#### 2.3.1 Processo de remoção do material retido

Em função do processo de remoção do material retido, as grades de barras podem ser classificadas:

- de limpeza manual (Figura 3); e
- de limpeza mecanizada (Figura 4).

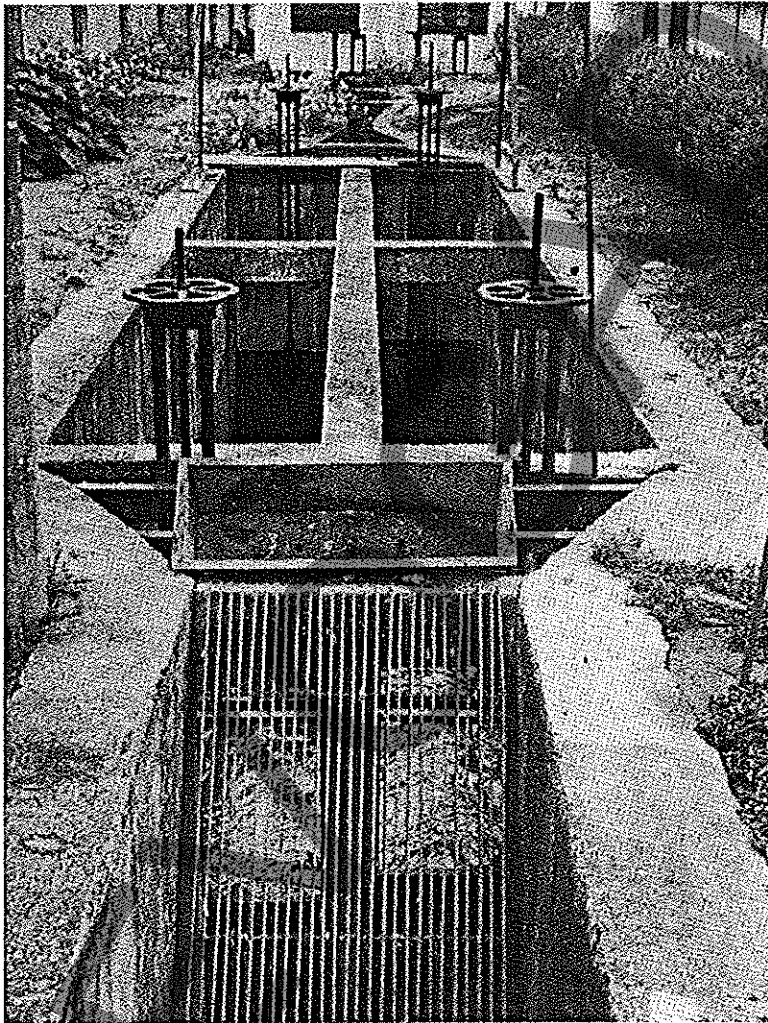
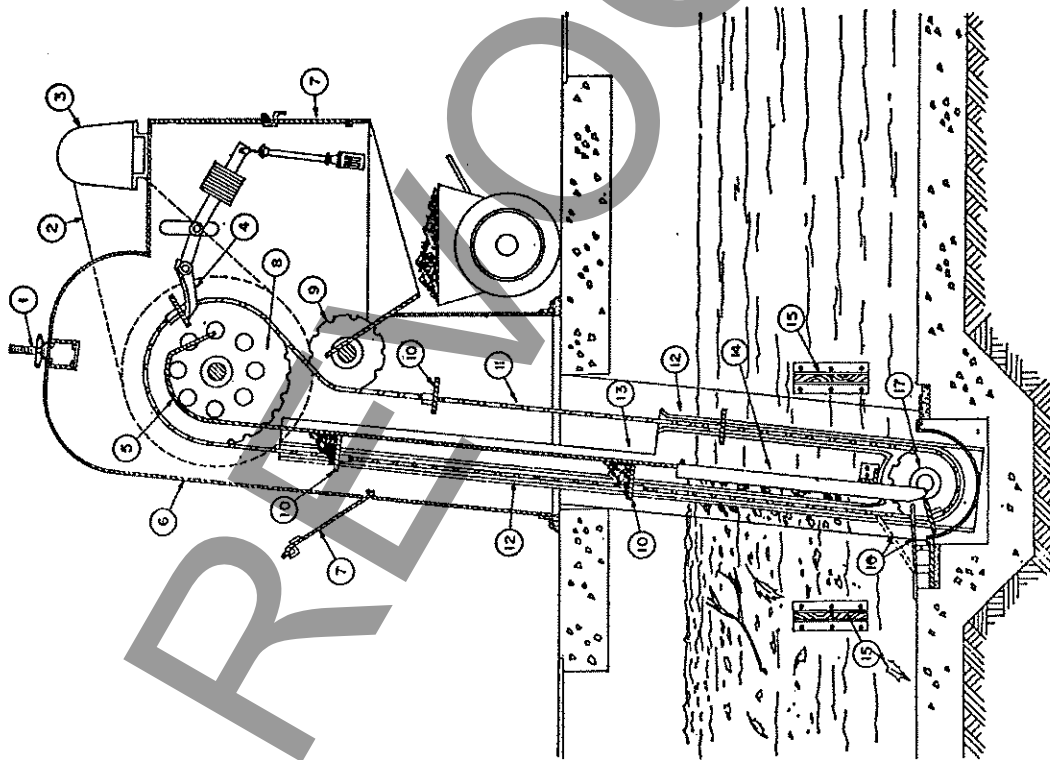


FIGURA 3 - Grade de barras de limpeza manual



- 1 - PONDA DE EIXO PARA AJUSTAMENTO DA CORRENTE.
- 2 - ATOIRAMENTO PARA O EIXO.
- 3 - REDUTOR DE VELOCIDADE COM ENGRANAGENS EM BANHO DE ÓLEO COM PROTEÇÃO PARA SOBRECARGA.
- 4 - ANCINHO RASPADOR ARTICULADO, AJUSTÁVEL POR CONTRAPESO.
- 5 - PLANO INCLINADO AJUSTÁVEL APARAFUSADO NO TOPO DA GRADE E AO CUBO DA RODA (ENGRANAGEM).
- 6 - CARCAÇA AERODINÂMICA.
- 7 - PORTAS ARTICULADAS PARA LIMPEZA E INSPEÇÃO.
- 8 - ENGRANAGEM TEMPERADA FIXADA AO EIXO POR CHAVEIA, EIXO APOIADO EM MANCAIS COM FUCHA DE BROWER.
- 9 - ENGRANAGEM LOUCA.
- 10 - ANCINHO.
- 11 - CORRENTE PARA MOVIMENTAÇÃO DO ANCINHO COM PROTEÇÃO ANTICORROSIVA.
- 12 - GUIAS DAS CORRENTES.
- 13 - CHASSI DA GRADE.
- 14 - BARRAS DA GRADE.
- 15 - CHICANAS PARA CONTROLE DA VELOCIDADE E NÃO PERMITIR O ASENTAMENTO DE DEBRITOS NO FUNDO DA GRADE.
- 16 - CHAPA PIVOTADA PARA EVITAR O ENTUPIMENTO DO FUNDO DA GRADE. ALÉM DA CHAPA, O ANCINHO E O SELO NÃO PERMITEM O ENTUPIMENTO.
- 17 - EIXO E ENGRANAGEM INFERIOR FIXADOS COM FUCHA CRAFTADA PARA OPERAR SEM LUBRIFICAÇÃO SOB A ÁGUA E AREIA.

FIGURA 4 - Grade de barras de limpeza mecanizada

Qualquer tipo poderá ser instalado na vertical ou inclinado. As grades de limpeza manual são normalmente inclinadas, facilitando consideravelmente a operação. As grades de limpeza mecanizada podem ser instaladas tanto na vertical como inclinadas, uma vez que dependem do modelo oferecido pelo fabricante, ou selecionado pelo projetista. São recomendadas inclinações de 75° a 90°, quando forem mecanizadas. As de limpeza manual variam de 45° a 60°, em relação ao fundo do canal afluente.

### 2.3.2 Componentes

Em função das fases de operação, as grades de barras têm os seguintes componentes:

- dispositivo de retenção - constituído de barras paralelas, com espaçamento e aberturas adequados ao tipo de material que se deseja remover;
- dispositivo de remoção - a remoção pode ser realizada por ancínhos, rastelos ou garfos, dependendo do processo de limpeza da grade.

#### 2.3.2.1 Dispositivos de retenção

São geralmente constituídos de barras de ferro ou de aço, convenientemente projetadas para permitir o fluxo normal dos esgotos, sem grandes perdas de cargas, retendo o material grosseiro transportado pelo esgoto afluente.

- a) **Espaçamento entre barras**  
O espaçamento entre barras é função das dimensões do menor material que se deseja remover. Normalmente as grades são classificadas de acordo com a Tabela 1.

**TABELA 1 - Classificação em função do espaçamento**

TIPO DE GRADE	ESPAÇAMENTO (mm)
Grosseira	40 a 100
Média	20 a 40
Fina	10 a 20

As grades grosseiras são normalmente utilizadas como proteção as grades finas mecanizadas. Nas ETEs de pequeno porte normalmente se utilizam grades médias não mecanizadas (abertura 25 mm).

- b) **Dimensões das barras**  
Em função das dimensões transversais das barras comercialmente disponíveis, são usualmente recomendadas as constantes na Tabela 2.

TABELA 2 - Dimensões da seção transversal das barras

TIPO DA GRADE	ESPESSURA x LARGURA	
	polegada	milímetro
Grosseira	3/8 x 2	9,5 x 50,8
	3/8 x 2 1/2	9,5 x 60,5
	1/2 x 1 1/2	12,7 x 38,1
	1/2 x 2	12,7 x 50,8
Média	1/2 x 2	12,7 x 50,8
	3/8 x 1 1/2	9,5 x 38,1
	3/8 x 2	9,5 x 50,8
Fina	1/4 x 1 1/2	6,4 x 38,1
	3/8 x 1 1/2	9,5 x 38,1

A seleção das barras deve considerar também os aspectos construtivos e a estabilidade do dispositivo de remoção.

#### 2.3.2.2 Dispositivo de remoção

As unidades de gradeamento devem ser projetadas de modo a permitir a remoção do material, manual ou mecanicamente, de modo a evitar que a perda de carga localizada alcance valores elevados, causando represamento dos esgotos no canal afluente, a montante, e aumente demasiadamente a velocidade do fluxo entre as barras, arrastando alguns materiais que se pretenda reter. O material removido deverá ser encaminhado imediatamente para as unidades subsequentes de condicionamento e/ou destino final. Em condições normais, poderá ser submetido a uma ou mais das seguintes operações: lavagem, secagem, adição de substâncias químicas, incineração ou aterro sanitário.

#### 2.4 Dimensionamento

ETEs utilizando valos de oxidação têm suas unidades, sempre que pertinentes, dimensionadas segundo as recomendações da ABNT, principalmente as contidas nas normas NBR 12207, NBR 12208 e NBR 12209.

##### 2.4.1 Critérios e parâmetros

Para o dimensionamento das unidades de gradeamento e canalizações de interligações entre as unidades, deverão ser considerados os aspectos relacionados com as vazões e velocidades.

##### 2.4.1.1 Vazões de projeto

O gradeamento deverá ser dimensionado pela vazão máxima, devendo ser examinado o comportamento hidráulico das unidades na ocorrência das vazões mínimas de início do plano (vazão máxima horária de um dia médio e não para o dia de maior contribuição no início do plano).

Para isso deverão ser consideradas as seguintes vazões de projeto:

- a) vazões máximas ao fim de cada etapa do período de projeto;
- b) vazão mínima de cada etapa do período do projeto (apenas para fins de controle de escoamento); e
- c) vazão do início de operação (máxima horária de um dia médio).

#### 2.4.1.2 Velocidades do projeto

No dimensionamento da unidade de gradeamento deverão ser consideradas as velocidades do fluxo no canal afluyente e entre as barras da grade, de acordo com a Tabela 3.

TABELA 3 - Velocidades de projeto da unidade de gradeamento

VELOCIDADE	CANAL AFLUENTE (m/s)	ENTRE AS BARRAS (m/s)
Máxima	—	1,2
Mínima	0,4	—

#### 2.4.2 Dimensionamento da unidade de gradeamento

O dimensionamento da unidade de gradeamento deverá avaliar a largura onde será instalada a grade de barras e a respectiva perda de carga.

##### 2.4.2.1 Largura do canal da grade

Escolhidos o formato, as dimensões e o espaçamento entre as barras da grade, o dimensionamento da largura do canal é função da sua área total livre (S), que corresponde à soma das áreas ocupadas pelas barras e da área útil dos espaçamentos (Au).

Considerando-se a taxa de ocupação do canal pela grade (E), teremos:

$$S = \frac{Au}{E} \quad (2.1)$$

onde:

S = área do canal, correspondente à profundidade de projeto do líquido afluyente (m<sup>2</sup>)

Au = área útil para uma velocidade de fluxo de 0,60 m/s

E = taxa de ocupação do canal, também conhecida como eficiência.

O valor da taxa de ocupação do canal (E) é avaliado pela seguinte relação:

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (2.2)$$

onde:

a = espaçamento entre as barras

t = espessura das barras

A Tabela 4 foi elaborada em função das dimensões mais comumente empregadas.

**TABELA 4 - Taxa de ocupação do canal da grade de barras**

ESPESSURA		ESPAÇAMENTO ENTRE AS BARRAS (a)	
polegada	mm	3/4" ou 19,0 mm	1" ou 25,4 mm
1/4	6,4	0,75	0,80
5/16	7,9	0,73	0,77
3/8	9,5	0,68	0,73
7/16	11,1	0,63	0,70
1/2	12,7	0,60	0,67

#### 2.4.2.2 Perda de carga

Para a avaliação da perda de carga, recomenda-se a expressão:

$$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} \times 1,43$$

onde:

- h = perda de carga na grade (m)
- v = velocidade do fluxo a montante (m/s)
- v<sub>0</sub> = velocidade do fluxo através das barras (m/s)
- g = aceleração da gravidade (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Para estudo do comportamento do nível d'água a montante da grade, a perda de carga mínima, a ser considerada no cálculo, será:

- 0,15 m para grade de limpeza manual
- 0,10 m para grade de limpeza mecanizada

No caso de grade de limpeza manual, a perda de carga deve ser calculada para 50% de obstrução da grade.

#### 2.4.2.3 Controle de escoamento da grade

Para atender às restrições da velocidade através da grade e no canal a montante, para a grande variação de vazão desde o início da operação do gradeamento até o final do plano, é usual a utilização de algum dispositivo de controle de escoamento. Este dispositivo de controle, normalmente, é um vertedor tipo proporcional (SUTRO) ou calhas medidoras de vazão em regime crítico, como calhas Parshall precedido de um degrau, ou vertedor Palmer-Bowlers. Em ETES de pequeno porte o controle do escoamento é normalmente utilizado a jusante do desarenador tipo canal de velocidade constante e controla o escoamento no desarenador e no gradeamento.



#### 2.4.4 Recomendações complementares

O projeto das unidades de gradeamento deve considerar algumas recomendações estabelecidas em normas específicas ou consagradas pela prática do processo, por projetistas, operadores e fabricantes.

##### 2.4.4.1 Número de unidades e mecanização

As grades de limpeza mecanizadas devem ser utilizadas quando:

- a) a vazão máxima afluente for igual ou superior a 250 L/s;
- b) o volume do material a ser retido diariamente justificar tal mecanização; e
- c) o coletor de esgoto chegar a uma profundidade tal que a remoção manual do material gradeado se torne difícil ou trabalhosa.

Grades de limpeza manual não necessitam por si, mais do que uma única unidade. Quando se utilizam grades de limpeza mecanizada recomenda-se a instalação de pelo menos duas unidades sendo, neste caso, uma unidade com capacidade para toda a vazão e podendo a outra grade ser de limpeza manual, locada em um canal lateral, como reserva para o caso de paradas da grade mecanizada.

Em instalações de grande porte, normalmente se utilizam grades finas, de limpeza mecanizada com o número de unidades que sejam necessárias e precedida de grades grosseiras, quando houver risco de danos aos equipamentos de limpeza mecanizada de grades finas.

##### 2.4.4.2 Canal afluente

Para o projeto do canal afluente das grades, é importante considerar as seguintes recomendações:

- possibilidade de isolamento, por meio de dispositivos de desvio do fluxo, das unidades de gradeamento;
- o nível do fundo do canal deverá ficar abaixo do nível da geratriz inferior da canalização afluente, de modo a evitar o afogamento da tubulação de chegada (normalmente o rebaixo é de 8 a 15 cm);
- no canal afluente e na câmara das grades não deverão existir:
  - . arestas no encontro das paredes com o fundo;
  - . ressaltos ou obstáculos que, de alguma maneira, interfiram com o fluxo afluente;
  - . áreas de remanso, turbulência ou velocidades excessivamente baixas do efluente.

### 3 REMOÇÃO DO MATERIAL ARENOSO

#### 3.1 Conceito

De procedência similar à dos materiais grosseiros, o material arenoso também é constituído de substâncias lançadas indevidamente nos sistemas de coleta dos esgotos sanitários. O material arenoso, usualmente denominado apenas areia, é constituído pelo conjunto de substâncias predominantemente formadas por material mineral pesado, tais como: pedrisco, silte, escórias, cascalho, areia e demais elementos facilmente sedimentáveis.

### 3.2 Finalidades

A remoção da areia contida no afluente das ETEs com valo de oxidação e de outras instalações similares, tem por finalidade:

3.2.1 Evitar abrasão nos equipamentos e nas canalizações de interligações das unidades da instalação.

3.2.2 Eliminar, ou reduzir, a possibilidade de obstrução nas unidades da ETE, tais como: canalizações, tanques, orifícios, sifões, caixas de passagem ou de manobras.

3.2.3 Facilitar o transporte ou agitação do líquido, principalmente nos tanques de aeração e nas instalações de transferência de lodo (recirculação ou excesso).

Em complementação ao processo de remoção do material grosseiro, a remoção da areia dota os esgotos das características necessárias aos processos subseqüentes.

### 3.3 Características

A remoção da areia contida nos esgotos poderá ser obtida por processos de separação natural (sedimentação) ou mecanizada (centrifugação ou aeração).

No presente Manual serão apresentadas somente as unidades do tipo por gravidade, ou seja, aquelas projetadas para possibilitar o processo de sedimentação natural da areia, e subseqüente remoção deste material. Dentro desta concepção, essas unidades poderão ser classificadas em função de seus dispositivos de remoção, que podem ser: manuais, semi-mecanizados e mecanizados.

#### 3.3.1 Câmaras de sedimentação

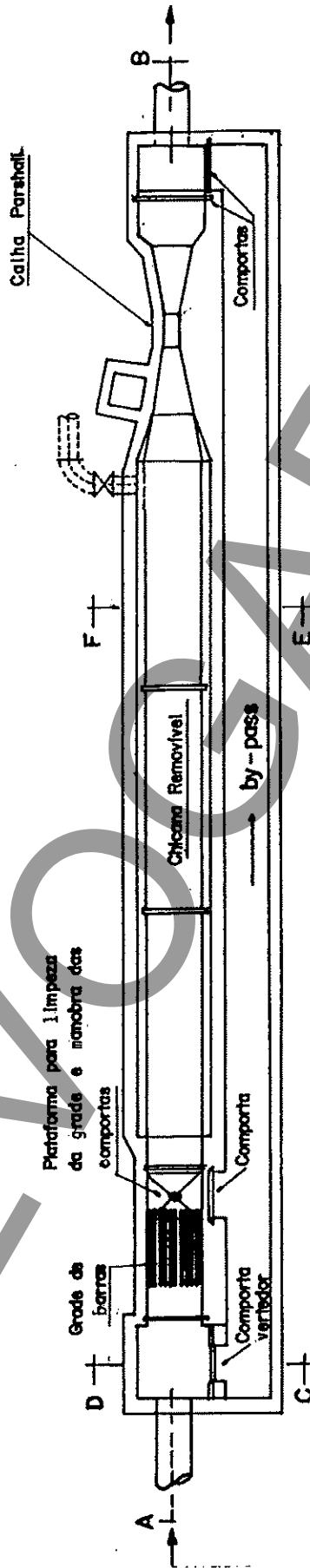
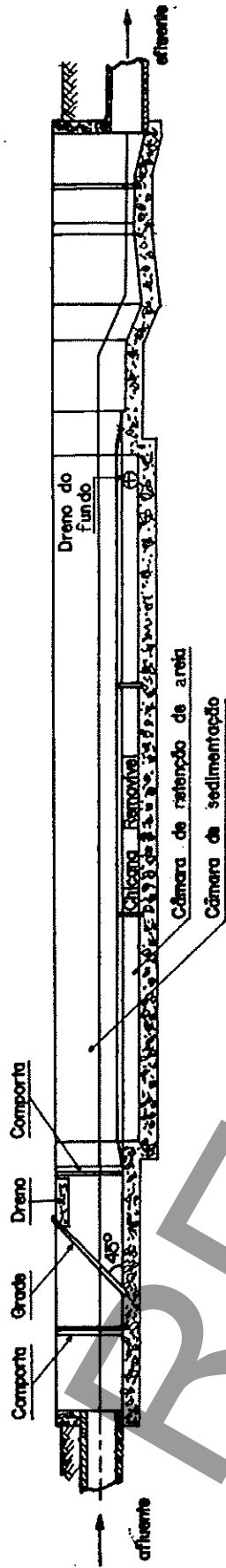
As unidades de sedimentação são constituídas de canais de "velocidade constante" ou câmaras de modo a se ter sedimentação da areia e que permitam o condicionamento do fluxo às velocidades adequadas e não se ter a ressuspensão e arraste do material sedimentado. Estas condições são facilmente obtidas através do alargamento das dimensões do canal afluente, para permitir a redução da velocidade do fluxo.

As unidades assim projetadas são demoninadas desarenadores ou mais comumente, caixas de areia do tipo velocidade constante. As caixas de areia são dotadas de uma câmara de acumulação do material retido, localizada no fundo da câmara de sedimentação e de dimensões que são dependentes das características do esgoto afluente, do material que se deseja remover e do período compreendido entre cada remoção, que poderá ser contínua ou intermitente.

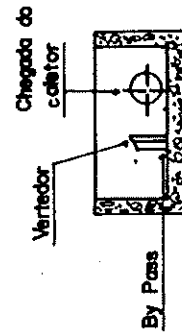
#### 3.3.2 Remoção manual

A remoção manual do material retido caracteriza as unidades totalmente desprovidas de qualquer dispositivo auxiliar para a operação de limpeza. São normalmente utilizados para vazões máximas afluentes até 250 L/s e com canais de baixa profundidade. São sempre necessárias duas unidades de modo a se permitir a limpeza de uma delas com a outra em operação (ver Figura 5).

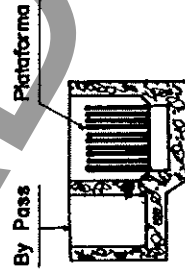
CORTE A-B ( LONGITUDINAL)



Planta



CORTE C-D



CORTE E-F

FIGURA 5 - Caixa de areia (grade de barras - Calha Parshall)

### 3.3.3 Remoção mecanizada

As instalações com a vazão superior a 250 L/s, devido a elevada quantidade de areia retida deverão ser dotadas de equipamento mecanizado para todas as operações de remoção do material arenoso retido. Algumas instalações são dotadas de dispositivos de lavagem e/ou de redução da umidade contida no material removido.

As caixas de areia mecanizadas têm as características estabelecidas em função do fabricante do equipamento de remoção, que pode ser por bomba de areia ou raspagem (Figuras 6 e 7).

A remoção por bombeamento, que pode ser "air-lift", geralmente é realizada por equipamentos instalados no nível de operação. Os modelos mais empregados são constituídos de ponte-rolante, onde estão montados os dispositivos de remoção e demais acessórios auxiliares, que percorre longitudinalmente o tanque (Figura 7).

As unidades de remoção por meio de raspadores mecanizados também podem adotar a mesma concepção anterior, se a forma do tanque for retangular. Neste caso, o dispositivo de raspagem pode ser parte da ponte-rolante, ou constituído por sistema de transporte por correntes, com lâminas raspadoras transversais convenientemente projetadas para arrastar e remover todo o material acumulado no fundo do tanque. Outros modelos patenteados adotam raspadores de movimento circular, que transportam o material sedimentado para um poço localizado na periferia, de onde é removido para fora do tanque, por dispositivos para este fim. Estes podem simultaneamente realizar as operações de lavagem e secagem do material arenoso removido (Figura 8).

### 3.4 Dimensionamento

O dimensionamento das unidades de remoção do material arenoso contido nos esgotos resume-se na avaliação das dimensões principais que caracterizam a forma do tanque, previamente selecionada em função da capacidade da instalação e do tipo de limpeza (manual ou mecanizada). Os conceitos emitidos neste Manual têm como base as recomendações da ABNT, especificamente aquelas relativas à NBR 12209.

#### 3.4.1 Critérios e parâmetros

No presente caso, serão abordadas somente as unidades por gravidade, cujo dimensionamento não esteja condicionado a qualquer informação técnica de fabricantes, proprietários de patentes específicas.

##### 3.4.1.1 Vazões de projeto

As considerações sobre as vazões de projeto, estabelecidas para as unidades de remoção de materiais grosseiros, devem ser adotadas para o dimensionamento das caixas de areia.

##### 3.4.1.2 Velocidades de escoamento em canal desarenador

As instalações convencionais de tratamento de esgoto doméstico são projetadas para a remoção superior a 95%, em peso, de partículas com diâmetro igual ou superior a 0,2 mm e massa específica igual a 2,65 Kg/L. O material removido contém partículas cujos diâmetros variam de 0,1 mm a 0,4 mm. Para evitar o arraste da areia sedimentada, a seção de escoamento deverá ser tal que a vazão média de escoamento seja de 0,30 m/s, não ultrapassando 0,40 m/s para vazão máxima. Velocidades mínimas inferiores a 0,20 m/s devem ser evitadas para minimizar a sedimentação de matéria orgânica.

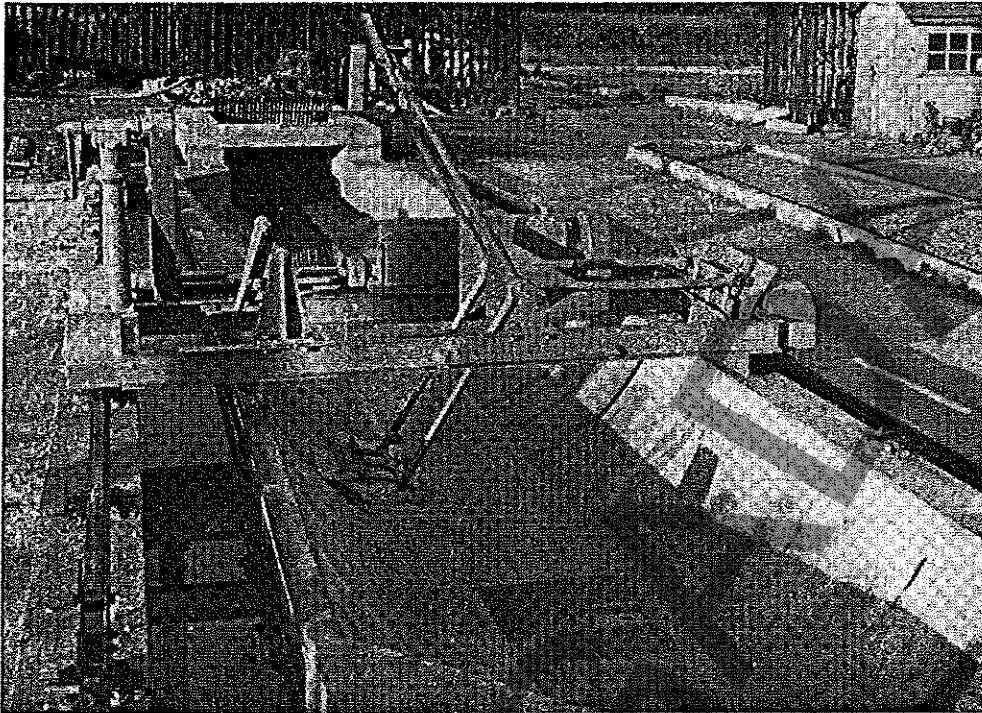


FIGURA 6 - Caixa de areia semi-mecanizada

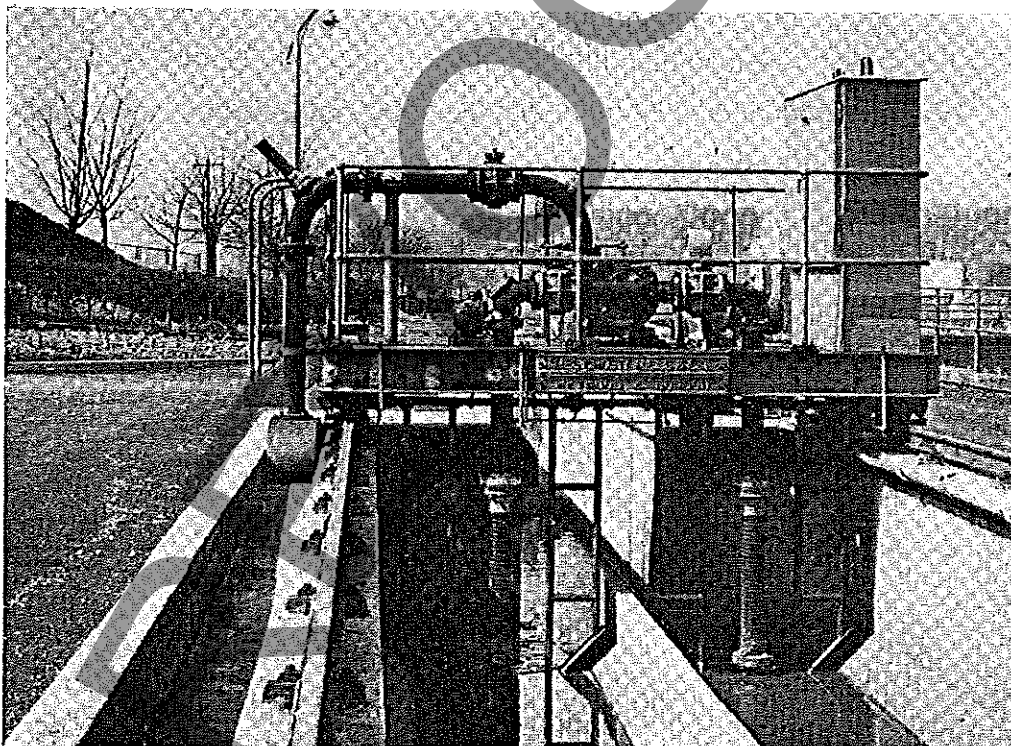


FIGURA 7 - Caixa de areia mecanizada (sucção)

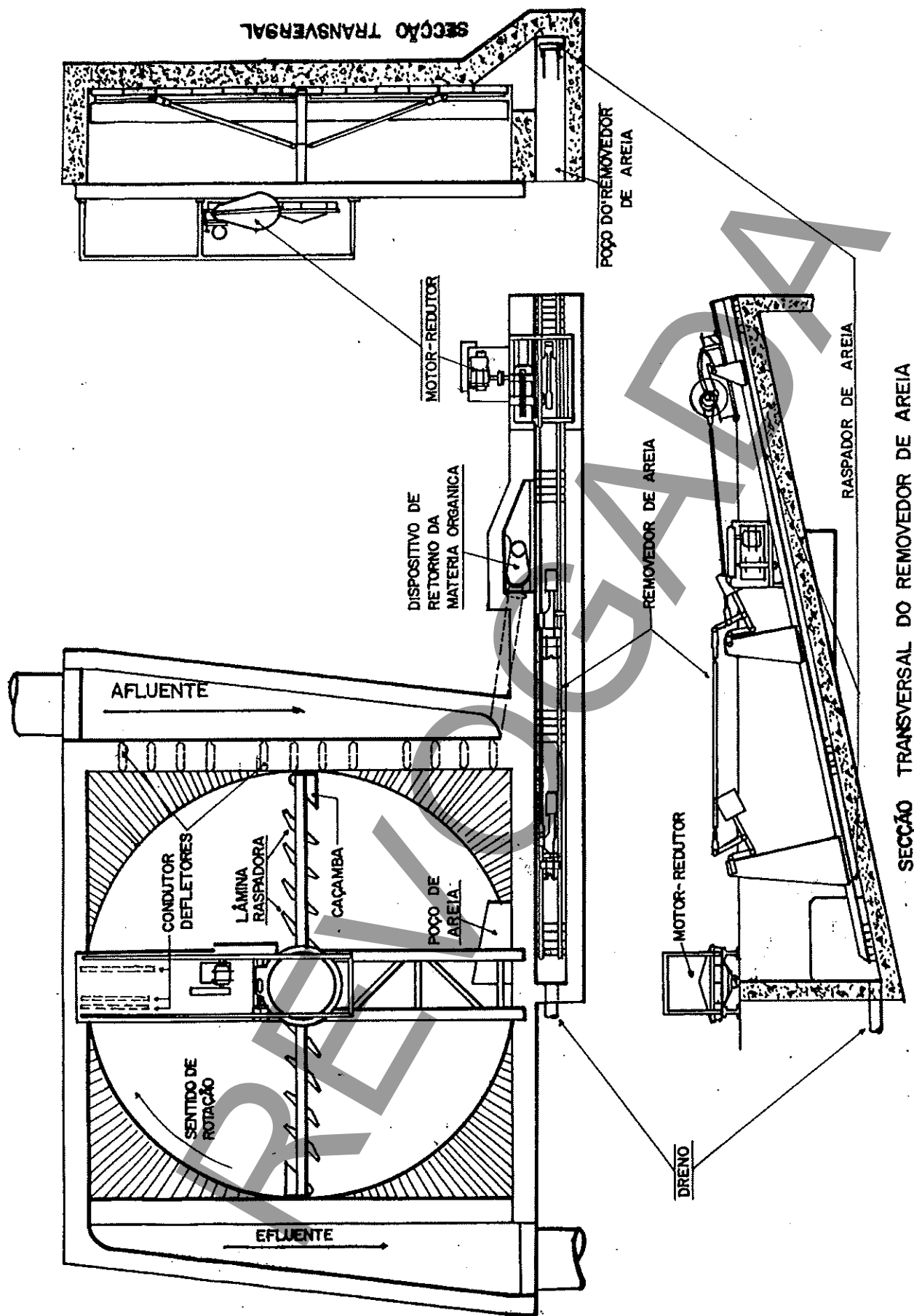


FIGURA 8 - Caixa de areia (Tipo patenteado - remoções mecanizadas)

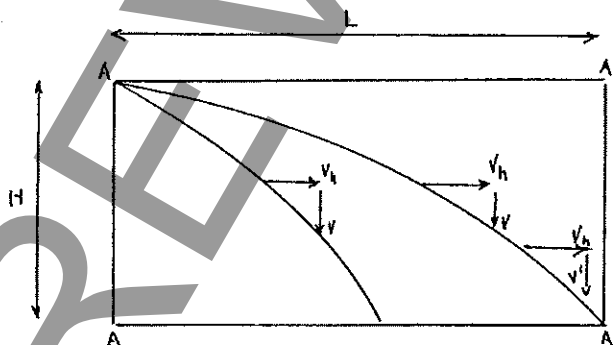
Para garantir velocidade adequada de escoamento, para grande variação de vazão que se verifica no esgoto afluente, torna-se necessária a adoção de dispositivos de controle em função da vazão afluente. Este controle está intrinsecamente relacionado com a forma (seção) do canal de sedimentação e com o dispositivo de medição de vazões instalado a jusante da caixa de areia. Assim sendo, a fórmula específica de cada dispositivo de medição estabelece a forma da seção transversal da unidade, como o indicado na Tabela 6.

TABELA 6

REGULARIZAÇÃO DE VELOCIDADE NAS CAIXAS DE AREIA			
Medidor de vazão	$Q = f(H)$	Seção para $v = \text{constante}$	
		Forma teórica	Forma prática
Vertedor Sutro	$Q = kH$	Retangular	Retangular
Calha Parshall	$Q = kH^{1,58}$	Parabólica	Trapezoidal *
Vertedor Retangular	$Q = kH^{1,5}$	Parabólica	Trapezoidal

\* Pode-se adotar a seção retangular, desde que se tenha um rebaixo devidamente calculado ao início do Parshall.

Quando for necessário remover partículas discretas - como areia - a análise de sua separação deve estar vinculada às leis de sedimentação das partículas que se pretende separar. No caso, as partículas granulares obedecem às leis de Stokes, de Hazen e de Schulz, nas quais a profundidade do tanque não tenha influência na velocidade de sedimentação, uma vez que as partículas sedimentam independentemente umas das outras, com velocidade constante. Esquematicamente, o fenômeno ocorre de acordo com a figura a seguir:



onde:

L = comprimento do tanque (m)  
 H = profundidade do tanque (m)  
 $V_h$  = velocidade horizontal de escoamento, com valor médio de 0,30 m/s  
 V = velocidade de sedimentação, cujo valor médio para partículas de 0,2 mm é de 2 cm/s ( $\gamma = 2,65 \times 9,8 \text{ N/L}$ )

Considerando-se o trajeto da partícula relacionado com a velocidade horizontal de escoamento e de sedimentação, teremos:

$$V_h = \frac{L}{t_1} \quad (3.1) \quad \text{e} \quad V = \frac{H}{t_2} \quad (3.2)$$

Como  $t_1 = t_2$ , uma vez que o tempo gasto para a partícula percorrer as distâncias H e L é o mesmo, teremos:

$$V_h H = LV \quad (3.3)$$

Adotando-se os valores recomendados para as velocidades, obtém-se a seguinte relação:

$$L = 15 H \quad (3.4)$$

É prática comum adotar-se um fator de segurança até 50% na determinação do comprimento, ou seja:

$$L = 22,5 H \text{ ou } L \cong 25 H \quad (3.5)$$

#### 3.4.2.2 Largura da caixa de areia

Conhecendo-se os valores:

Q = vazão do afluente  
 H = profundidade do líquido  
 V = velocidade horizontal de escoamento  
 S = seção transversal

a largura da caixa de areia pode ser calculada pela equação da continuidade:

$$Q = S.V. = bhV \quad (3.6)$$

Sendo b = largura da câmara; para seção retangular e sendo H definido pelo dispositivo de controle de escoamento locado a jusante do desarenador, tem-se

$$b = \frac{Q}{HV} \quad (3.7)$$

#### 3.4.2.3 Área superficial horizontal

Sendo V a velocidade de sedimentação da menor partícula a ser removida, e que entra na unidade a uma altura H do fundo, tem-se:

$$V = \frac{H}{t} \quad (3.8)$$



O tempo de deslocamento horizontal ao longo do comprimento L da unidade (tempo de detenção) será, também, igual a:

$$t_d = \frac{U}{Q} \quad (3.9)$$

onde:

$t_d$  = tempo de detenção  
 $U$  = volume da caixa de areia

Chamando de A a área superficial da caixa de areia ( $A = L \times b$ ), podemos escrever:

$$A = \frac{U}{H} \quad ; \quad H = \frac{U}{A} \quad (3.10)$$

Substituindo-se (3.9) e (3.10) em (3.8), uma vez que  $t = t_d$ , vem:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.11)$$

Essa expressão fornece a velocidade de sedimentação em função da taxa de escoamento superficial. Na prática, adotam-se valores compreendidos entre 600 e 1300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia, para a taxa de aplicação superficial, em caixas de areia de paredes verticais.

### 3.4.3 Quantidade do material retido

A quantidade do material retido pode ser estimada em função dos seguintes valores:

. por habitante.....5 a 12 L/hab/ano  
 . por volume (1000 m<sup>3</sup>).....5 a 200 L

Como ocorre com o material grosseiro, a quantidade de material arenoso também é função dos costumes locais e características do sistema de esgoto adotado. Na prática, adotam-se taxas de 30 a 40 L/1000 m<sup>3</sup> de esgoto.

### 3.4.4 Recomendações complementares

Além dos parâmetros e critérios de dimensionamento, é importante que sejam considerados alguns aspectos práticos, assim como aqueles recomendados pela Norma NBR 12209 da ABNT, tais como:

#### 3.4.4.1 Número de unidades e mecanização

Para instalações de vazão máxima, inferior a 250 L/s, recomenda-se que as caixas de areia por gravidade sejam de remoção manual, e mecanizadas para as de vazão máxima superior a este valor ou quando a remoção manual apresentar dificuldades.

Devem ser previstas pelo menos duas unidades instaladas, sendo neste caso, cada uma para a vazão total de projeto, podendo uma delas ser considerada como reserva.

### 3.4.4.2 Câmara de acumulação de areia

Nas unidades mecanizadas, as câmaras de acumulação de areia são dimensionadas em função dos equipamentos de limpeza e seus modelos patenteados.

Na unidade tipo canal desarenador deverá ser previsto um espaço para a acumulação do material sedimentado, tendo em conta o volume previsto do material que será retido e o intervalo de tempo estabelecido para a sua remoção. Recomenda-se uma profundidade mínima de 0,20 m ao longo do fundo do canal desarenador.

## 4 VALO DE OXIDAÇÃO

### 4.1 Conceito

O valo de oxidação, como já foi dito, constitui-se de um reator biológico numa configuração geométrica variante da aeração prolongada do processo de lodos ativados, onde ocorrem os mesmos fenômenos inerentes à oxidação biológica do despejo líquido quando submetidos à aeração. As pesquisas que precederam a aceitação do processo tiveram como objetivo realizar a oxidação de toda a matéria orgânica, em um único compartimento. Como conclusão, foi constatado que o processo de aeração prolongada dos esgotos provoca a formação de lodo (flóculos bioquimicamente sintetizados), de acordo com a curva ABCD e simultânea redução da carga orgânica, expressa em DBO, de acordo com a curva EFG (Figura 9).

Os processos convencionais de lodos ativados operam na faixa B-C, na qual, para um período de tempo " $t_1$ ", ocorre uma acumulação de lodo " $\Delta S_1$ ". No processo de aeração prolongada, o período de aeração é prolongado até " $t_3$ ", suficiente para oxidar todo o lodo sintetizado, cujo fenômeno ocorre na faixa B-D. Assim sendo, o lodo produzido na faixa B-C é teoricamente consumido na faixa C-D, na qual o valor " $\Delta S$ " é nulo, daí a denominação de oxidação total. Na realidade, a oxidação total não ocorre a ponto de tornar nulo o acréscimo de todo o material flocoso (lodo) contido e formado durante o período de aeração. A taxa de oxidação decresce com o período de aeração e com a concentração de substâncias celulares, que oxidam diferentemente. Uma parcela do material celular é altamente resistente à oxidação, provocando uma acumulação desse material no processo, estimada em 25% do lodo total produzido. O material excedente apresenta elevado grau de estabilização. Comumente denominado lodo excedente, possui alto teor de minerais e material não biodegradável.

### 4.2 Finalidade

As unidades de pequeno porte desempenham funções idênticas às instalações compactas, operando com processos de tratamento de esgotos similares. Suas vantagens e desvantagens estão vinculadas, principalmente, aos aspectos econômicos, de implantação e operação, pois qualquer modelo (valo de oxidação ou estação compacta) apresenta efluente de características bastante semelhantes e eficiências aproximadamente iguais.

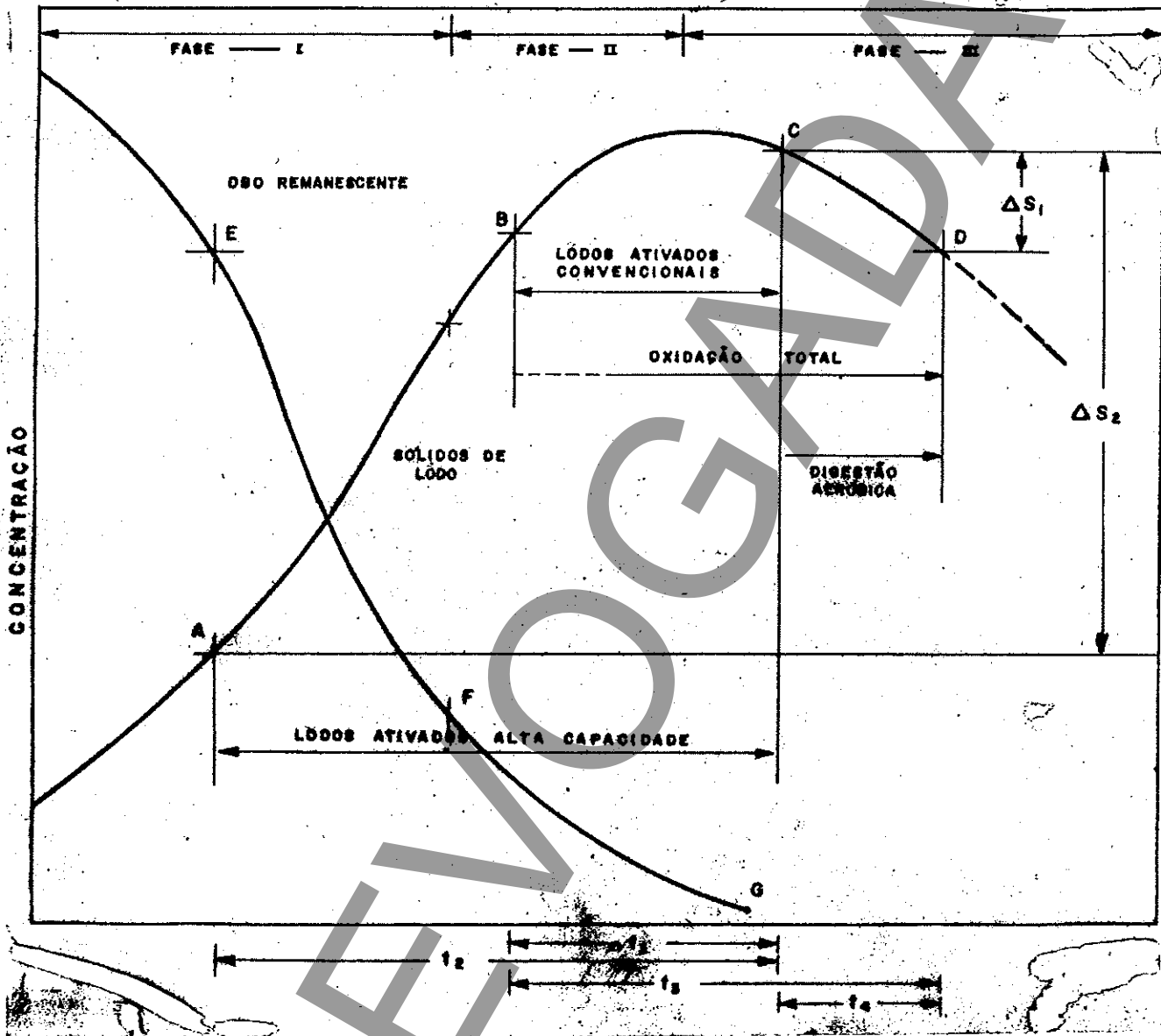


FIGURA 9 - Relações de produção de lodo e remoção de DBO entre vários processos de lodos ativados

### 4.3 Características

Dentro das configurações previstas no início deste Manual, é considerada uma instalação completa de valo de oxidação aquela constituída das unidades preconizadas na introdução (Figura 2). No presente capítulo, é analisada apenas a unidade de aeração, ou seja, o valo de oxidação propriamente dito, que é constituído das seguintes partes:

- dispositivo de entrada
- tanque de aeração
- equipamento de aeração
- dispositivo de saída

#### 4.3.1 Dispositivo de entrada

O dispositivo de entrada não apresenta características construtivas especiais, tanto em posição como em relação ao nível de entrada. No entanto, recomenda-se a descarga livre, localizada, no mínimo, a 5 cm acima do nível máximo do líquido no valo, precedida de caixa de passagem ou de distribuição (dependendo do número de valos). É prática comum localizar-se a canalização de entrada imediatamente a montante do sistema de aeração, para garantir uma perfeita e rápida homogeneização do afluente com o líquido em alta taxa de aeração. Os principais cuidados a serem tomados para a construção do dispositivo de entrada são os seguintes:

- a) evitar que, na paralisação do fluxo afluente, haja retorno do líquido do tanque de aeração, como ocorre quando a tubulação afluente entra afogada;
- b) evitar entaves ao fluxo normal do líquido em movimento;
- c) evitar que o nível máximo do líquido afogue o dispositivo de medição, localizado a montante do valo e a jusante da caixa de areia;
- d) dotar a unidade de dispositivo de manobras que permitam operações contínuas ou intermitentes.

#### 4.3.2 Tanque de aeração

Os tanques de aeração devem obedecer aos princípios estabelecidos por Pasveer (ver Anexo C), cujo nome foi usado para definir esta unidade na Inglaterra (Pasveer Ditch).

##### 4.3.2.1 Forma

A forma mais comum é definida como "semelhante a de uma pista de atletismo que circunda um campo de futebol". No entanto, desde a forma primitiva do valo de oxidação de Voorschoten (Figura 1), esta tem sido modificada em função do espírito criativo dos diferentes projetistas, da disponibilidade de área, da configuração topográfica do solo e do tipo de operação preconizado (Figura 10).

##### 4.3.2.2 Seção transversal

A seção é selecionada em função do material e das características construtivas do tanque de aeração.

Na prática, adotam-se as seguintes formas:

- seção retangular: concreto, alvenaria de tijolo, pedra ou blocos de concreto pré-moldado.

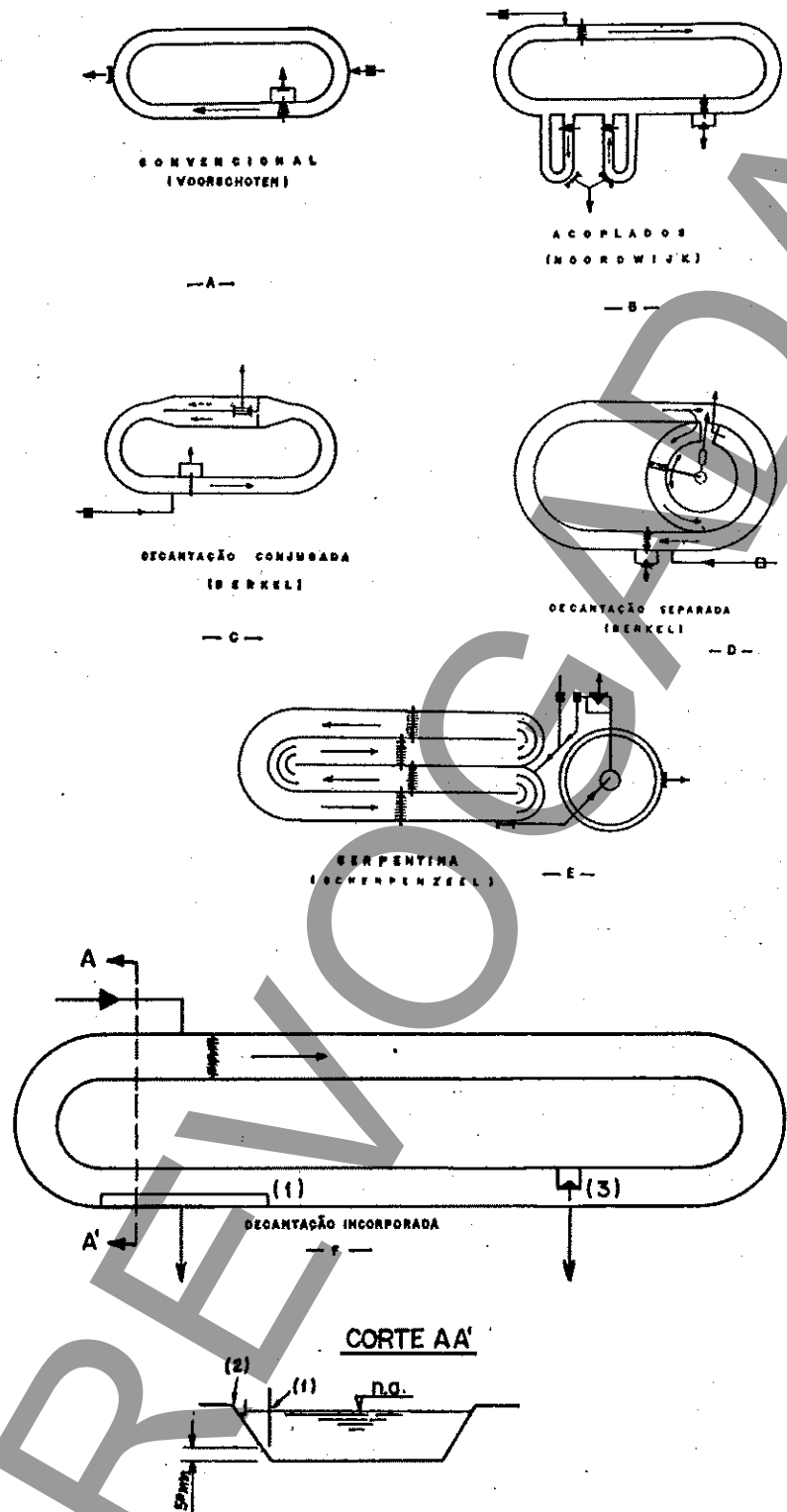


FIGURA 10 - Valos de oxidação (Formas diversas)

- seção trapezoidal: talude natural (próprio solo), solo cimento, taludes revestidos com placas de concreto, cantaria ou cimentado, com inclinação variando de 1:1 a 1:1.5.

A profundidade útil da seção varia de 0,8 m a 1,5 m; a lâmina líquida de 1,0 m é mais freqüentemente adotada. A área útil varia de 3 a 5 m<sup>2</sup>.

#### 4.3.3 Equipamento de aeração

As primeiras unidades adotaram as escovas Kessener (Figura 11), como rotor de aeração. O modelo foi amplamente utilizado nas experiências de Pasveer e Ribbus, na Holanda. Embora tenha provado sua eficiência, as escovas de Kessener foram posteriormente substituídas por modelos de maior rendimento, uma vez que a fragilidade da piaçaba tornava impossível estabelecer uma relação entre a imersão do rotor e a transferência de oxigênio para a massa líquida aerada (capacidade de oxigenação).

Atualmente, os modelos mais usados para rotores de aeração são os seguintes:

- eixo horizontal (patenteados): rotor Spaan e rotor Gaiola;
- eixo horizontal (sem patente): rotor Hess e rotor Penha.

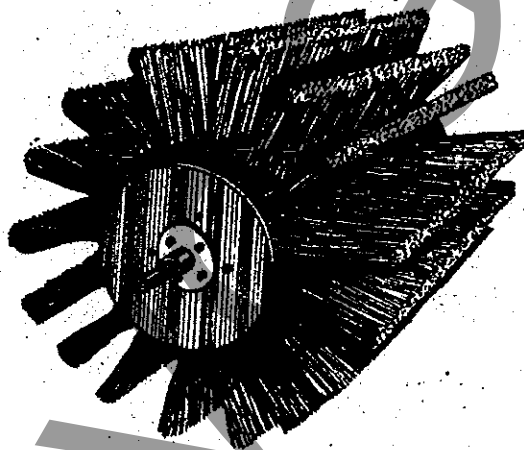


FIGURA 11 - Rotor de aeração (Escova Kessener)

##### 4.3.3.1 Rotor Spaan

O rotor Spaan, como é conhecido na Holanda (Figura 12), foi desenvolvido por Muskat, em 1959, de quem recebeu o nome de "angleiron rotor" (rotor de cantoneira). Esse modelo foi amplamente utilizado no sistema de tratamento de lodos ativados. As experiências realizadas por Muskat demonstraram que a capacidade de oxigenação do rotor Spaan é duas a quatro vezes maior do que a das escovas Kessener. Suas dimensões médias são as seguintes:

- diâmetro do rotor.....50 cm
- dentes (cantoneiras)..... 2 cm
- espaçamento entre dentes..... 3 cm

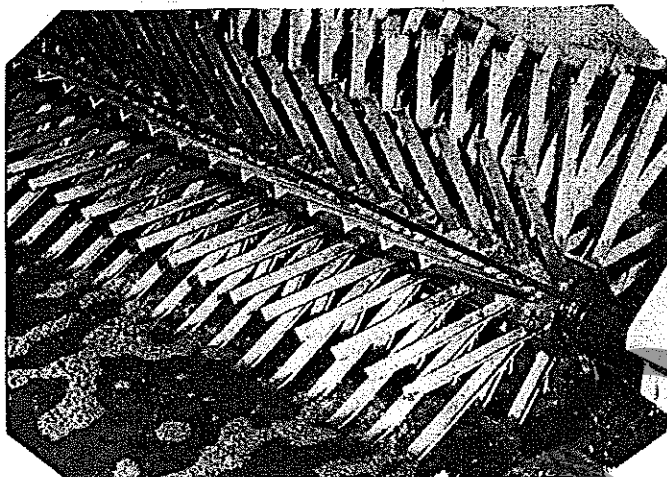
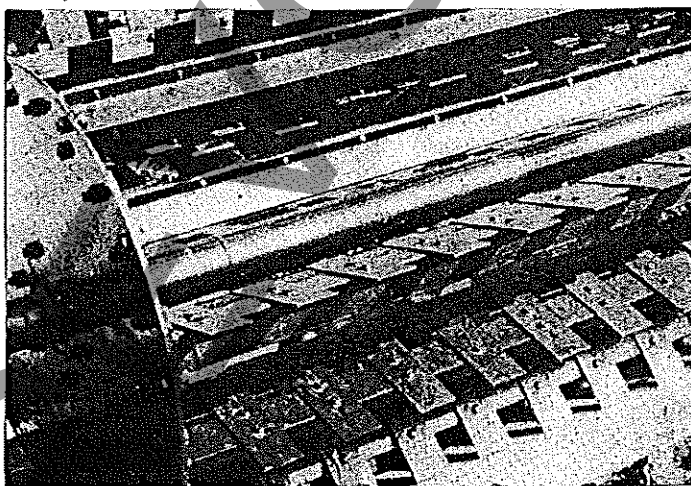


FIGURA 12 - Rotor de aeração tipo Spaan

#### 4.3.3.2 Rotor Gaiola

O rotor Gaiola foi desenvolvido por J.K. Baars. Na Holanda é conhecido po "Kooi Rotor" e nos países de língua inglesa por "Cage Rotor". É constituído de lâminas ou pás (dentes) de seção retangular (barra chata), espaçadas de 5 cm. As lâminas têm comprimento de 15 cm e largura de 5 cm e são fixadas em posições alternadas, em relação à posição das lâminas fixadas nas barras horizontais axiais, que formam a estrutura do rotor (Figura 13). As pesquisas demonstraram que o rotor Gaiola é de maior eficiência do que os demais. Recentemente desenvolveu-se um rotor de cantoneiras dispostas helicoidalmente em relação ao eixo horizontal, de elevada eficiência em relação ao consumo de energia elétrica. A forma do modelo elimina os impactos intermitentes dos dentes, reduzindo sensivelmente os problemas de manutenção do mancal e conjunto redutor-motor. Há conjuntos com comprimento de até 7,5 m, diâmetro de 1,0 m e velocidade de rotação de 65 rpm, comercialmente conhecidos como rotor "Mamut" (Figura 14).



DETALHE DOS DENTES

FIGURA 13 - Rotor tipo Gaiola

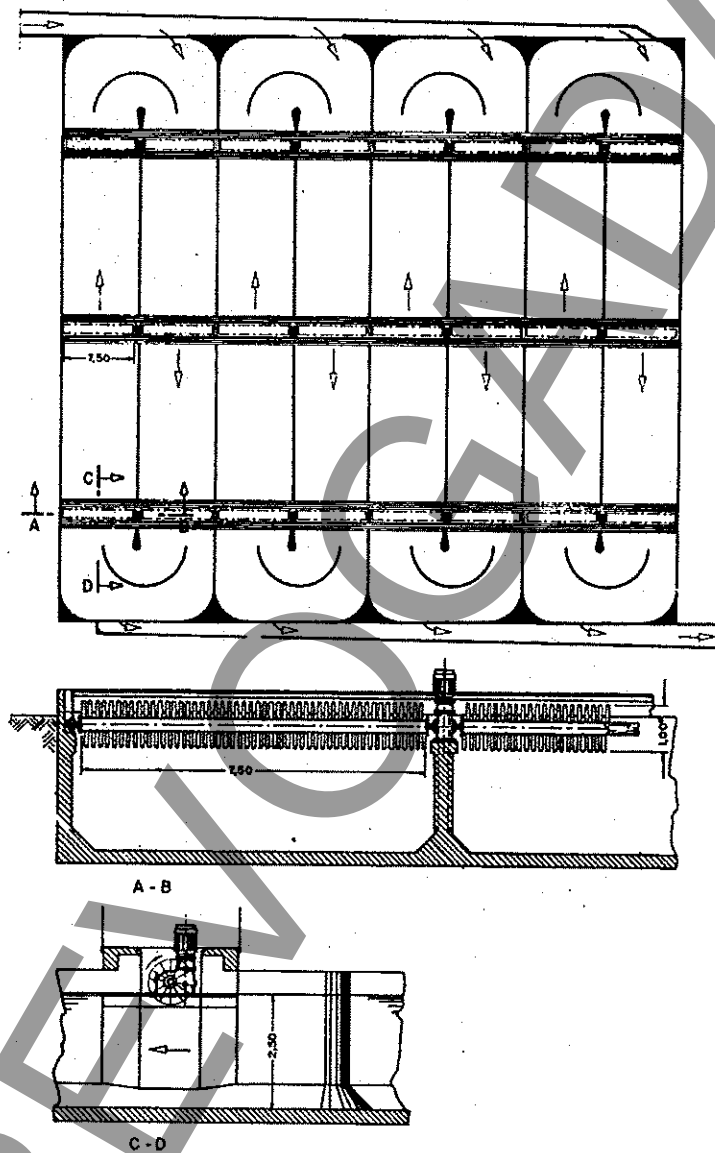


FIGURA 14 - Rotor Mamut



#### 4.3.3.3 Rotor Hess

O rotor Hess é assim denominado por ter sido desenvolvido pelo engenheiro Max Lothar Hess, tendo como base o rotor Gaiola. É um modelo econômico, de fácil construção, mesmo nas regiões carentes de materiais e de mão de obra especiais. Resumidamente, o rotor Hess é constituído de três coroas de chapa preta (aço), montada sobre um eixo nas quais são fixadas travessas de madeira torcida helicoidalmente (15°). Sobre elas são dispostas lâminas de madeira de forma semelhante às do rotor de Gaiola. As partes de madeira são protegidas com três demãos de tinta betuminosa (Figura 15).

#### 4.3.3.4 Rotor Penha

O rotor Penha, cujo nome prende-se ao fato de ter sido desenvolvido durante as pesquisas realizadas na ETE-Penha (Rio de Janeiro), pelo engenheiro Constantino Arruda Pessoa em 1961, adota como pás de aeração bandejas de tela de arame. O modelo usado nas experiências tinha 82 cm de comprimento, 52 cm de diâmetro e velocidade de 84 rpm (Figura 16). Esse rotor tem sua aplicação bastante limitada, uma vez que a presença de material fibroso (tecido, estopa ou material similar) no afluente, provoca obstruções frequentes, onerando sensivelmente a manutenção do rotor.

#### 4.3.3.5 Redutor de velocidade

O emprego de motores elétricos disponíveis comercialmente e a exigência de baixas rotações para o processo (de 70 a 150 rpm), torna necessário o acoplamento de dispositivos de redução de velocidade aos motores que normalmente têm rotação próxima de 1750 rpm.

A seleção do redutor é de extrema importância. Algumas instalações não operam corretamente devido ao emprego de redutores inadequados. A redução também pode ser feita através de conjuntos de polias.

A redução por meio de polias está limitada ao peso do rotor e respectivos esforços de impactos com a massa líquida. Para esforços maiores, pode-se adotar a redução com polias empregando-se várias correias (Figura 17). Para grandes esforços, recomenda-se a substituição das polias por rodas dentadas, com correntes ou redutores apropriados.

Sempre que for economicamente justificável, deve ser adotado o sistema de redutores. Para isso, recomenda-se consultar fabricantes idôneos. A Tabela 7 apresenta valores tabulados para redutores do tipo rosca sem fim. A seleção deve considerar a avaliação do valor do fator "C", que dá a potência do motor em função da potência requerida pelo rotor.

$$C = P.V.S. \quad (4.1)$$

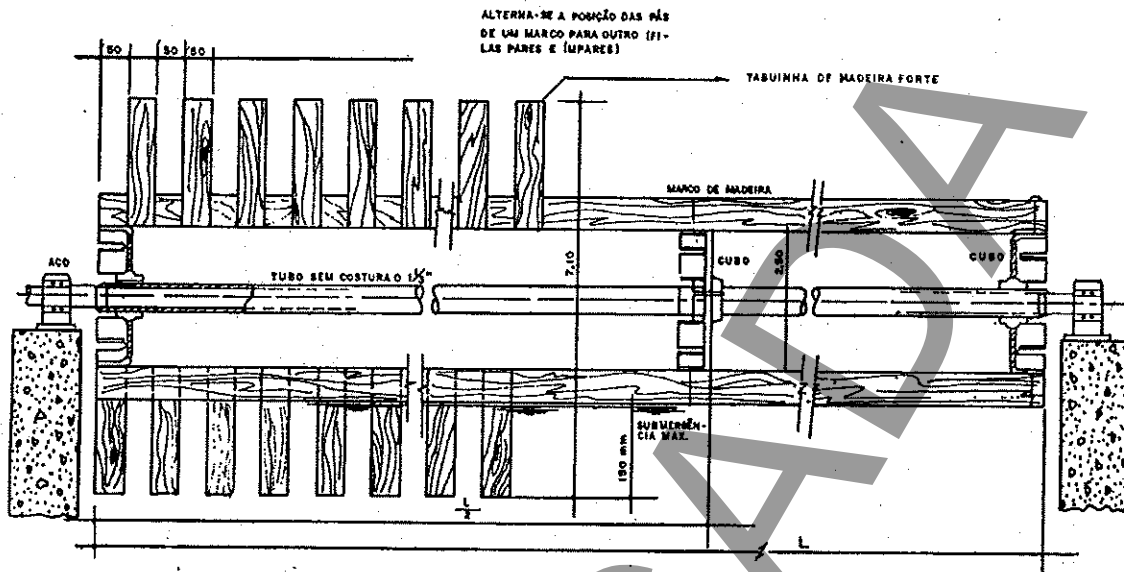
P = capacidade efetiva (HP) exigida pelo rotor

V = fator de velocidade de rotação

S = fator de serviço (função das condições de operação do sistema)

A fórmula (4.1) é estabelecida pelo fabricante do redutor. Os valores expressos na Tabela 7 correspondem a um catálogo de fabricante. Para o caso, recomenda-se o fator de serviço (S) igual a 2.

DÉTALHE LONGITUDINAL



Detalhe radial

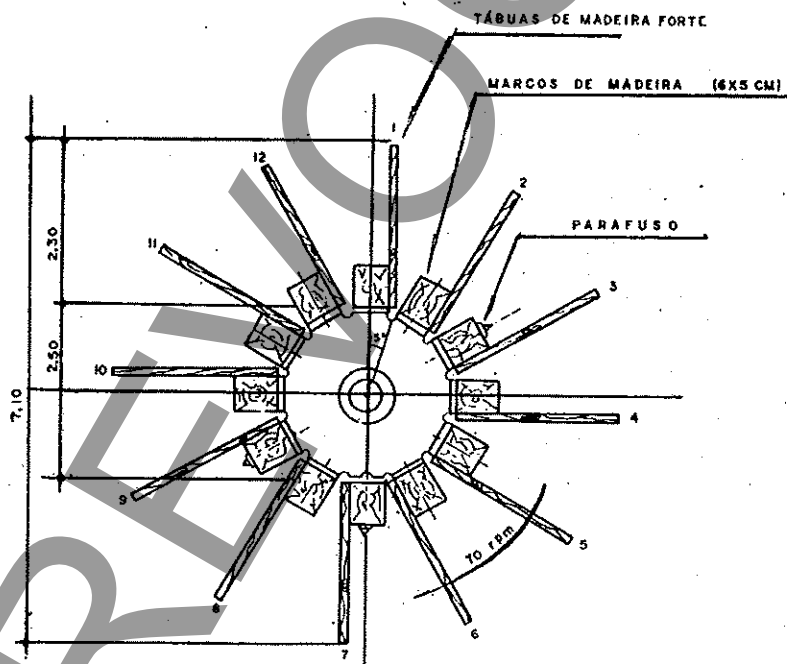


FIGURA 15 - Rotor Hess

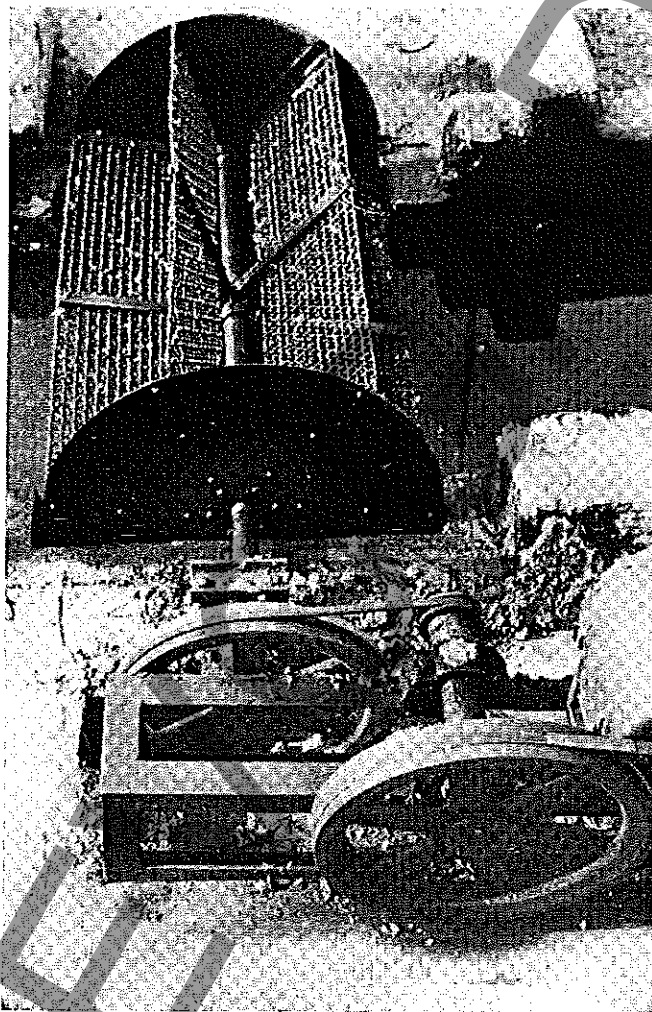
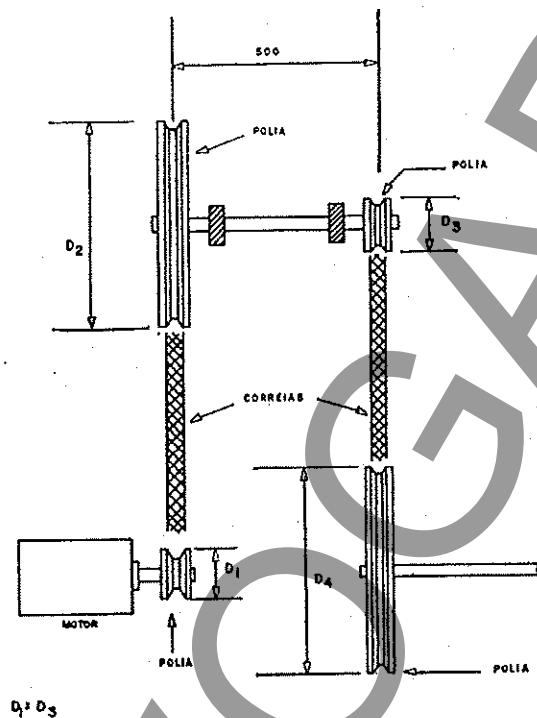


FIGURA 16 - Rotor Penha

DIAGRAMA DE MONTAGEM DA TRANSMISSÃO POR POLIAS



$$D_1 = D_3$$

ROTAÇÕES (rpm)			
ROTAÇÃO DO MOTOR	$D_2 = 4,5 D_1$	$D_3 = D_1$	$D_4 = 4,5 D_1$
1.700	378	378	84
ROTAÇÃO DO MOTOR	$D_2 = 6 D_1$	$D_3 = D_1$	$D_4 = 6 D_1$
2.950	492	492	82

**FIGURA 17 - Sistema de redução de velocidade de rotação do motor**

TABELA 7 - Redutores a rosca sem fim

REDUÇÕES STANDARD										
R20	R25	R30	R35	R40	R50	R60	R70	R73	R75	R80
1:80	1:60	1:61	1:58	1:60	1:64	1:60	1:54	1:61	1:63	1:75
1:55	1:47	1:51	1:50	1:52	1:51	1:50	1:46	1:53	1:55	1:59
1:40	1:39	1:43	1:43	1:41	1:42	1:42	1:40	1:45	1:43	1:49
1:32	1:30	1:30,5	1:29	1:34	1:32	1:30	1:27	1:36	1:31,5	1:37,5
1:27,5	1:23,5	1:25,5	1:25	1:30	1:25,5	1:25	1:23	1:30,5	1:27,5	1:29,5
1:20	1:19,5	1:21,5	1:21,5	1:26	1:21	1:21	1:20	1:26,5	1:21,5	1:24,5
1:16	1:15,7	1:17	1:16,7	1:20,5	1:17	1:16,7	1:18	1:22,5	1:18,3	
1:13,3	1:13	1:14,3	1:14,3	1:17	1:14	1:13,7	1:15,3	1:17,7		
				1:13,7				1:15,3		

CAPACIDADES MAX. C EM HP A 1700 RPM NA ENTRADA

TIPO	R20	R25	R30	R35	R40	R50	R60	R70	R73	R75	R80
1:14	0,35	1,0	1,4	2,0	3,5	5,0	7,25	10,0			
1:17	0,35	0,9	1,3	1,8	3,25	4,75	7,0	9,0	17,5	22	
1:21	0,35	0,8	1,2	1,7	3,0	4,5	6,75	8,4	17	21	
1:25	0,25	0,7	1,0	1,6	2,7	4,0	6,5	7,5	16	20	30
1:30	0,25	0,6	0,9	1,5	2,5	3,75	6,2	7,5	15	18	28
1:40	0,25	0,5	0,8	1,3	2,2	3,5	6,0	7,2	13,5	17,5	25
1:50	0,20	0,4	0,7	1,1	1,8	3,0	5,0	6,8	12	17	22
1:60	0,15	0,3	0,6	0,9	1,5	2,5	4,0	6,0	11	14	20

FATOR DE VELOCIDADE V

RPM ENTRADA	1700	1400	1100	900	750	600	500	400	300	250	200
FATOR V	1,0	1,07	1,24	1,43	1,64	1,93	2,18	2,45	2,94	3,36	4,03

EXEMPLO

Um redutor para capacidade efetiva de 2HP C/1000 RPM na entrada e 30 RPM na saída. Trabalho oito horas por dia com choques moderados. Determina-se a capacidade máxima C, pela fórmula:  
 $C = HP \times V \times S = 2HP \times 1,43 \times 1,25 = 3,58HP$   
 Pela Tabela C encontra-se o redutor = R50. Este tipo com redução Standard 1:32, resulta uma entrada de 960 RPM

FATOR DE SERVIÇO S

3H/DIA	8H/DIA	24H/DIA	CARGA
0,8	1,0	1,25	uniforme
1,0	1,25	1,5	choques moderados
1,25	1,75	2,0	choques fortes

## CARACTERÍSTICAS GERAIS

- eixo e rosca sem fim de aço inoxidável
- coroa de bronze fosforoso liga escolhida
- mancais de rolamento e vedação por retentores de neoprene
- lubrificação científica em banho de óleo
- carcaça de ferro fundido

Nota: A seleção deve considerar a avaliação do valor "C" que dá a potência do motor em função da potência requerida pelo rotor  $C = P \times V \times S$

onde:

P = potência efetiva (HP) exigida pelo rotor

V = fator de velocidade da rotação

S = fator de serviço (função das condições de operação do sistema)

#### 4.3.4 Dispositivo de saída

Os dispositivos de saída são unidades simples. Os detalhes construtivos dependem do tipo de operação preconizada para o valo de oxidação, ou seja, contínua ou intermitente.

##### 4.3.4.1 Para operação contínua

Os dispositivos para operação contínua são idênticos aos dos tanques de aeração convencionais, com regulagem do nível de líquido no tanque e conseqüente variação da imersão do rotor e período de aeração.

##### 4.3.4.2 Para operação intermitente

Os dispositivos para operação intermitente, além das características dos dispositivos para operação contínua, exigem a instalação de interruptores de efluente (registros ou comportas), de modo que as descargas sejam efetuadas de acordo com o programa de operação. Nesse caso, cada tanque de aeração poderá funcionar independentemente das outras unidades.

##### 4.3.4.3 Para funções múltiplas

O dispositivo de saída poderá ser projetado para atender funções múltiplas, ou seja, fluxo contínuo, fluxo intermitente e controle de variação de nível do líquido no valo. Esse dispositivo dotará a operação de maior flexibilidade, razão pela qual deverá ser convenientemente adaptado.

Os fabricantes de rotores de aeração possuem também diversos modelos desse dispositivo. Quando o projetista opta por equipamentos não patenteados, utilizando adufas de parede ou vertedores ajustáveis, recomenda-se que eles sejam instalados de modo que as bordas superiores da parte móvel sejam utilizadas como soleira de vertedor ajustável (Figura 18).

#### 4.4 Dimensionamento

O projeto de valos de oxidação é subdividido em duas fases distintas de cálculos:

- dimensionamento do tanque de aeração
- dimensionamento do sistema de aeração

##### 4.4.1 Dimensionamento do tanque de aeração

O tanque de aeração é definido pelo volume e pela forma.

##### 4.4.1.1 Cálculo do volume do valo

O volume do valo pode ser avaliado pelos seguintes métodos:

- período de aeração
- carga volumétrica

###### a) Dimensionamento pelo período de aeração

Este método, amplamente utilizado por Pasveer, preconiza os seguintes parâmetros:

t = tempo de aeração..... 3 dias

c = contribuição "per capita" no mínimo..... 100 L/dia \*

P = população de projeto (hab)

Q = vazão média de projeto (m<sup>3</sup>/dia)

V = volume do tanque de aeração (m<sup>3</sup>)

\* Valor real a ser determinado para cada caso.

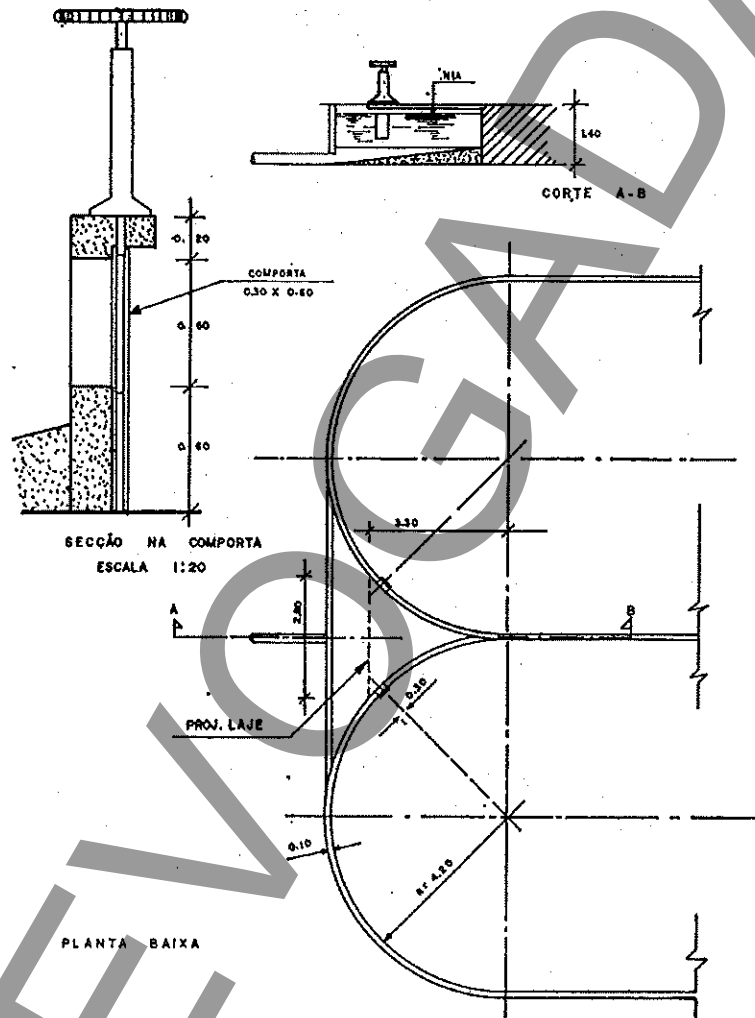


FIGURA 18 - Dispositivo de saída para efluente do valo de oxidação (Tanque de aeração)

$$V = Q \times t \quad (4.2)$$

$$V = P \times c \times t \quad (4.3)$$

Este método tem sido usado para concepções de pequeno porte sem decantação final. Quando é usada a decantação final, o período de aeração poderá ser reduzido (mínimo de 24 horas).

- b) Dimensionamento pela carga volumétrica  
 Pesquisas desenvolvidas (Zeper, Baars e outros) estabeleceram uma relação entre a quantidade da matéria orgânica afluente, durante um período de 24 horas, e a quantidade de sólidos secos contida no líquido, em aeração. Foi inicialmente recomendado para esta relação o valor de 0,05 Kg/dia para cada Kg de sólidos voláteis. Essa taxa ( $C_s$ ) é também conhecida como relação alimento, microrganismos (F/M), que, para o caso de aeração prolongada, pode variar na seguinte faixa:

$$C_s = 0,05 \text{ a } 0,15 \text{ Kg DBO/Kg SSVTA.dia}$$

onde:

SSVTA = sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração.

O cálculo do volume do valo pode ser efetuado através da "carga volumétrica", recomendada por Baars, correspondente ao peso de DBO<sub>5</sub> por dia, por volume de tanque, com valor original estabelecido em 0,225 Kg de DBO/m<sup>3</sup>.dia. Valores recentes têm indicado, para a aeração prolongada, as seguintes faixas de variação:

carga volumétrica ( $C_v$ )

0,2 a 0,4 Kg DBO/m<sup>3</sup>.dia (climas temperados)

0,4 a 0,6 Kg DBO/m<sup>3</sup>.dia (climas quentes)

A fórmula aplicada ao cálculo do volume do valo será:

$$\text{Volume} = \frac{\text{carga diária de DBO (Kg DBO/dia)}}{\text{carga volumétrica (Kg DBO/m}^3\text{.dia)}}$$

Deve-se notar que a carga volumétrica constitui-se do produto de dois fatores:

$$C_v = C_s \times C_{\text{SSVTA}}$$

onde:

$C_v$  = carga volumétrica em Kg DBO/m<sup>3</sup>.dia

$C_s$  = fator de carga em Kg DBO/Kg SSVTA.dia (F/M)

$C_{\text{SSVTA}}$  = concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração, em Kg SSVTA/m<sup>3</sup>.

O dimensionamento do valo pode ser feito adotando-se diretamente a carga volumétrica (nas faixas indicadas anteriormente) ou adotando-se o fator de carga e a concentração de SSVTA (este é um parâmetro de operação, mas que pode ser previsto em projeto), respeitando-se



que o produto desses dois fatores resulte em carga volumétrica dentro das faixas indicadas.

Normalmente pode-se estabelecer a concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração ( $C_{SSTA}$ ) na faixa de 3 a 6 Kg SSTA/m<sup>3</sup> e a concentração dos sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração ( $C_{SSVTA}$ ) como correspondente a 80% da concentração de SSTA.

Obtido o volume do valo, deve-se verificar o tempo hidráulico de detenção ( $t_d$ ), que deverá estar na faixa de 1 a 3 dias, através da seguinte fórmula:

$$t_d \text{ (dias)} = \frac{V \text{ (volume do valo) m}^3}{Q \text{ (vazão de projeto) m}^3 \cdot \text{dia}}$$

#### 4.4.1.2 Forma do tanque

A forma do tanque depende, substancialmente, das características topográficas da área disponível. A forma convencional é recomendada para solo plano, com pequenas variações de nível. Quando isso não ocorre, é importante que seja criteriosamente selecionada a forma mais econômica, na qual deve ser evitado o excesso de curvas de raios pequenos.

Na seleção da forma, devem ser considerados os seguintes fatores: perdas de cargas de escoamento e potência de movimentação hidráulica dos rotores.

##### a) Perda de carga de escoamento

A perda de carga total de escoamento é constituída das seguintes parcelas:

$$H_T = H_C + H_L \quad (4.7)$$

onde:

$H_T$  = perda de carga total  
 $H_C$  = perda de carga distribuída do tanque  
 $H_L$  = perdas de carga localizadas

A perda de carga distribuída (por atrito) ( $H_C$ ) pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$H_C = \frac{L n^2}{R^{4/3}} v^2 \quad (1)$$

onde:

L = comprimento do circuito  
n = coeficiente de "Manning", onde:  
- canais em terra..... n = 0,030  
- canais em concreto..... n = 0,012  
V = velocidade média do fluxo (0,30 m/s)  
R = raio hidráulico

A perda localizada ( $H_L$ ), pode ser avaliada pela seguinte fórmula:

$$H_L = \sum K_i \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

$$\sum K_i = N \frac{\theta}{90} \left[ 0.131 + 1.874 \left( \frac{b}{2r} \right)^{3.5} \right] \quad (3)$$

onde:

$\theta$  = ângulo do setor em curva  
 $N$  = número de curvas  
 $b$  = largura média do valo  
 $r$  = raio da curva

A perda de carga total ( $H_T$ ), poderá ser resumida pela seguinte fórmula:

$$H_T = H_c + H_L = \left[ \frac{L n^2}{R^{4/3}} + \frac{\sum K_i}{2g} \right] V^2 \quad (4)$$

- b) Potência de movimentação hidráulica dos rotores  
 O valor da potência de movimentação hidráulica dos rotores ( $P_m$ ) é função do tipo e das condições operacionais do rotor, da velocidade média do fluxo e do rendimento hidráulico da potência mecânica, e devem ser fornecidos pelo fabricante.  
 O valor ótimo da velocidade média do fluxo varia de 0,30 a 0,60 m/s, valor que condicionará a forma da seção, número e distância entre cada aerador e material de revestimento.

#### 4.4.2 Dimensionamento do sistema de aeração

##### 4.4.2.1 Cálculo da quantidade de oxigênio necessário

O cálculo de  $O_2$  necessário pode ser obtido por critérios práticos, ou por meio de cálculo com fundamento teórico. Devido às incertezas envolvidas, os critérios práticos são os mais aconselháveis. A quantidade de oxigênio necessária é dada pela seguinte expressão:

$$O_o = P \times C_o \times R_o$$

onde:

$O_o$  = quantidade de  $O_2$  a ser fornecida pelo rotor, por dia  
 $P$  = população contribuinte (número de habitantes)  
 $C_o$  = carga orgânica unitária (54 g DBO/hab/dia)  
 $R_o$  = taxa de transferência de  $O_2$  (sugere-se a adoção de 2,5 Kg  $O_2$ /Kg DBO).

Teoricamente, 1 Kg de DBO removido necessita de 1 Kg de  $O_2$ . Na realidade, como ainda há necessidade de  $O_2$  para a estabilização do lodo, e devendo-se prever  $O_2$  não somente para a DBO média, mas também para a máxima, é necessário fornecer um excesso de  $O_2$  que, para o caso de valos de oxidação, está entre 100% e 200%, o que significa 2 a 3 Kg de  $O_2$ /Kg DBO removida. Como, em geral, a DBO removida é

aproximadamente 95% da DBO aplicada, para fins práticos, não há razão para diferenciar uma carga da outra. Cálculos mais rigorosos levam em conta fenômenos de síntese de novas células, respiração endógena, além da nitrificação e desnitrificação (ver Anexo B).

#### 4.4.2.2 Dimensionamento do rotor de aeração

O dimensionamento do rotor de aeração está condicionado à seleção do tipo de rotor que possui curvas características de desempenho em função da velocidade de rotação e da imersão dos dentes (placas). Atualmente, apenas os rotores tipo Gaiola (Figuras 13 e 20) e Spaan (Figura 12) apresentam curvas características.

Alguns parâmetros das características dos rotores Gaiola, Hess e Penha, encontram-se relacionados na Figura 19. Considerando-se que o rotor é selecionado previamente, bem como a velocidade de rotação e a profundidade de imersão, obtém-se a capacidade de oxigenação em Kg O<sub>2</sub>/h.m. para as condições padrão, e a potência consumida no eixo em (kw/m).

O valor real da capacidade de oxigenação, em kg O<sub>2</sub>/h.m. para as condições de esgoto, pode ser obtido da seguinte fórmula:

$$O_R = O_P \frac{(\beta \times P \times C_{ST} - C_L) \alpha \theta^{t-20}}{C_S}$$

onde:

O<sub>R</sub> = capacidade de oxigenação em Kg O<sub>2</sub>/h.m. para as condições de esgoto;

O<sub>P</sub> = capacidade de oxigenação, em Kg O<sub>2</sub>/h.m. para as condições padrão, obtida da Figura 19;

C<sub>ST</sub> = saturação de O<sub>2</sub> na água, em mg/L, à temperatura de projeto;

C<sub>S</sub> = saturação de O<sub>2</sub> na água, em mg/L, à temperatura de 20°C, e ao nível do mar (9,2 mg/L) - ver Tabela 8;

β = relação entre concentração de saturação do OD no esgoto e concentração de saturação do OD na água (0,95);

P = relação pressão barométrica local e ao nível do mar;

α = relação entre os coeficientes de transferência de oxigênio no esgoto e na água em condições padrão (0,96);

θ = coeficiente de temperatura (1,02);

t = temperatura média do mês mais quente (em °C);

C<sub>L</sub> = concentração de O<sub>2</sub> no valo (de 1,5 a 2 mg/L).

Obtida a capacidade de oxigenação para as condições de esgoto (O<sub>R</sub> em Kg O<sub>2</sub>/h.m), obtém-se o comprimento do rotor dividindo-se a necessidade horária de O<sub>2</sub> (obtido no item 4.1.2) pela capacidade de oxigenação acima.

$$\text{Comprimento do rotor} = \frac{\text{Kg O}_2/\text{h}}{\text{Kg O}_2/\text{h.m}}$$

A potência consumida no eixo pode ser obtida multiplicando-se o valor obtido da Figura 19 em (kw/m) pelo comprimento do rotor.

O comprimento do rotor se relaciona com o comprimento total necessário; no entanto, para valos com comprimento longitudinal maior que 60 m, recomenda-se a instalação de mais um rotor de aeração, o qual, além de garantir maior capacidade de oxigenação, servirá também como reserva instalada, para eventuais paralisações, razão pela qual o emprego de, no mínimo, duas unidades de aeração é plenamente justificável.

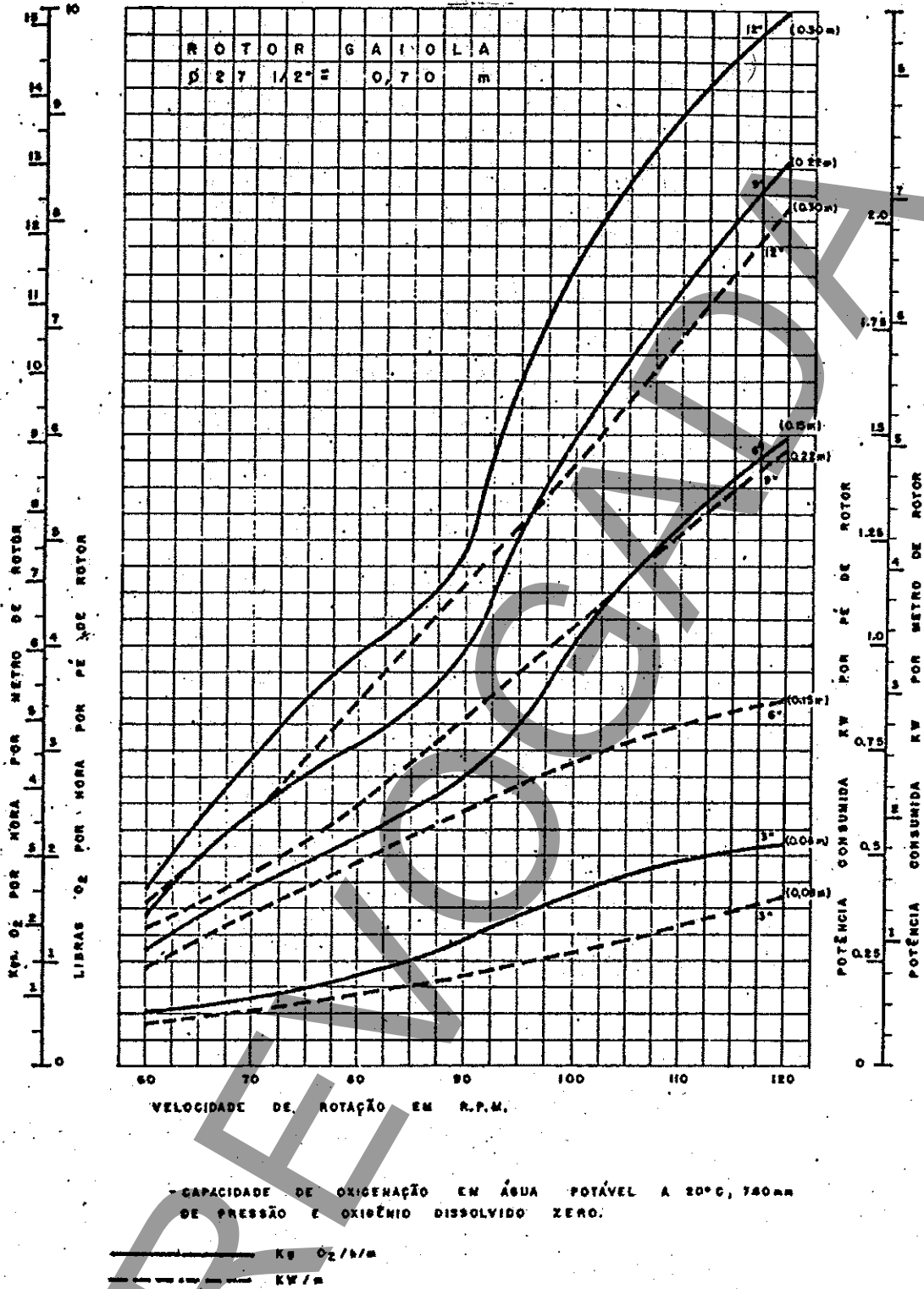


FIGURA 19 - Curvas características de rotores de aeração de eixo horizontal (tipo Gaiola)

Além disso, como verificação final, há recomendações no sentido de se adotar 1 m de rotor para, no máximo, 180 m<sup>3</sup> de valo para manutenção de uma velocidade de fluxo mínima de 0,30 m/s (para evitar sedimentação).

**TABELA 8 - Saturação de O<sub>2</sub> em água destilada à pressão 1 atmosfera em função da temperatura**

TEMPERATURA (°C)	O (mg/L)
0	14,6
5	12,8
10	11,3
15	10,2
20	9,2
25	8,4
30	7,6
35	7,1
40	6,6
45	6,1
50	5,6

#### 4.5 Sistema de valos de oxidação simplificados

Os sistemas de valos de oxidação simplificados não têm decantador separado nem recirculação de lodo (Figura 10 modelos A, B, C e F).

##### 4.5.1 Decantação em sistemas simplificados

Geralmente é obtida por intermitência de operação, seja dos rotores de aeracão, seja de alças ou de canais paralelos do valo (modelos A, B e C). Pela paralisação obtém-se a tranquilização necessária para a sedimentação do lodo, tanto em todo o valo, como em sua parte, durante um certo tempo, e extrai-se então o efluente, e o lodo decantado deverá ser retirado quando a sua concentração atingir valores superiores aos citados no item 4.4.1.1. Durante o funcionamento do rotor, da alça ou canal, a canalização de efluente é fechada (ver itens 4.3.4.2 e 4.3.4.3).

##### 4.5.2 Valo com decantador incorporado

É um valo simplificado de operação contínua (Figura 10, modelo F). O decantador (1) está localizado dentro do valo, geralmente ao longo de uma das bordas, e se comunica através de uma fenda inferior com o líquido em movimento. Através dessa fenda, há entrada de líquido de baixo para cima e saída do lodo depositado, de cima para baixo. O efluente decantado sai por um vertedor (2) instalado na parte superior e serve ao mesmo tempo para ajustar o nível de água no valo, e, portanto, para a submergência do equipamento de aeracão. Um "poço de acúmulo" (3) retém o lodo acumulado na região de tranquilização.

#### 4.5.3 Dimensionamento dos valos simplificados

Os valos de oxidação simplificados são dimensionados da mesma forma que os demais. O decantador incorporado é dimensionado como um decantador Dortmund (ver Norma NBR 12209, da ABNT). No caso de operação descontínua (intermitente), o equipamento de aeração deve ser dimensionado para fornecer o oxigênio requerido apenas durante as horas de funcionamento dos rotores.

### 5 DECANTAÇÃO FINAL

#### 5.1 Conceito

Na decantação final no processo de tratamento de esgoto por meio de valo de oxidação, o decantador recebe o efluente do tanque de aeração, com elevado teor de sólidos (flóculos). Estes são submetidos a regimes hidráulicos inerentes ao processo de sedimentação. Para isso, as unidades são dotadas de condições e dispositivos necessários à deposição de materiais flocculentos e conseqüente remoção.

#### 5.2 Finalidade

No processo de lodos ativados e, particularmente, no de aeração prolongada, são mantidas altas taxas de concentração de sólidos orgânicos, indispensáveis ao equilíbrio biológico alimento-microrganismo. A finalidade da decantação final é produzir um efluente líquido isento de substâncias sólidas. Apresenta este elevado grau de tratamento e, conseqüentemente, características físico-químico-biológicas dentro dos melhores padrões de qualidade.

#### 5.3 Características

Para atender à finalidade do processo, a decantação final, realizada por unidades denominadas decantadores, deverá ser projetada para realizar a retenção do lodo contido no efluente dos tanques de aeração e sua subseqüente transferência ou recirculação.

##### 5.3.1 Tipos de decantadores

A decantação final pode ser realizada pelos seguintes tipos de decantadores:

- a) De acordo com a forma (seção):
  - retangular (Figuras 20 e 21)
  - quadrado
  - circular (Figuras 22, 23, 24, 25, 26 e 27)
- b) De acordo com o fundo:
  - pouco inclinado (Figuras 22 e 23-A)
  - inclinado (Figuras 23, 24, 25 e 26)
  - plano (Figuras 20, 21 e 23-B)
  - com múltiplos poços (Figura 22)
- c) De acordo com o sistema de remoção de lodo:
  - mecanizado (Figuras 20, 21, 23, 24 e 27)
  - carga hidrostática (Figuras 22, 24, 25, 26 e 27)

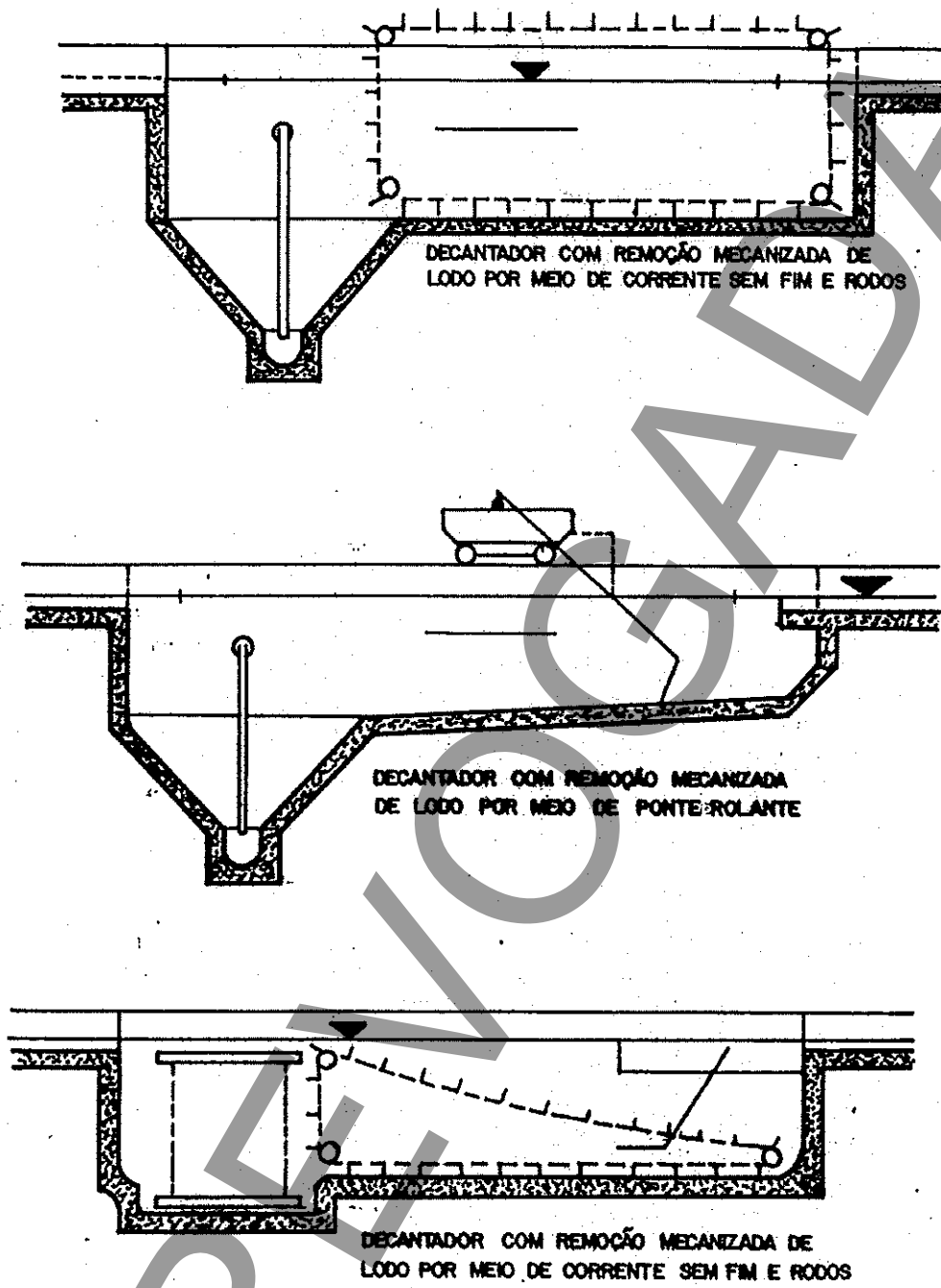


FIGURA 20 - Decantador retangular

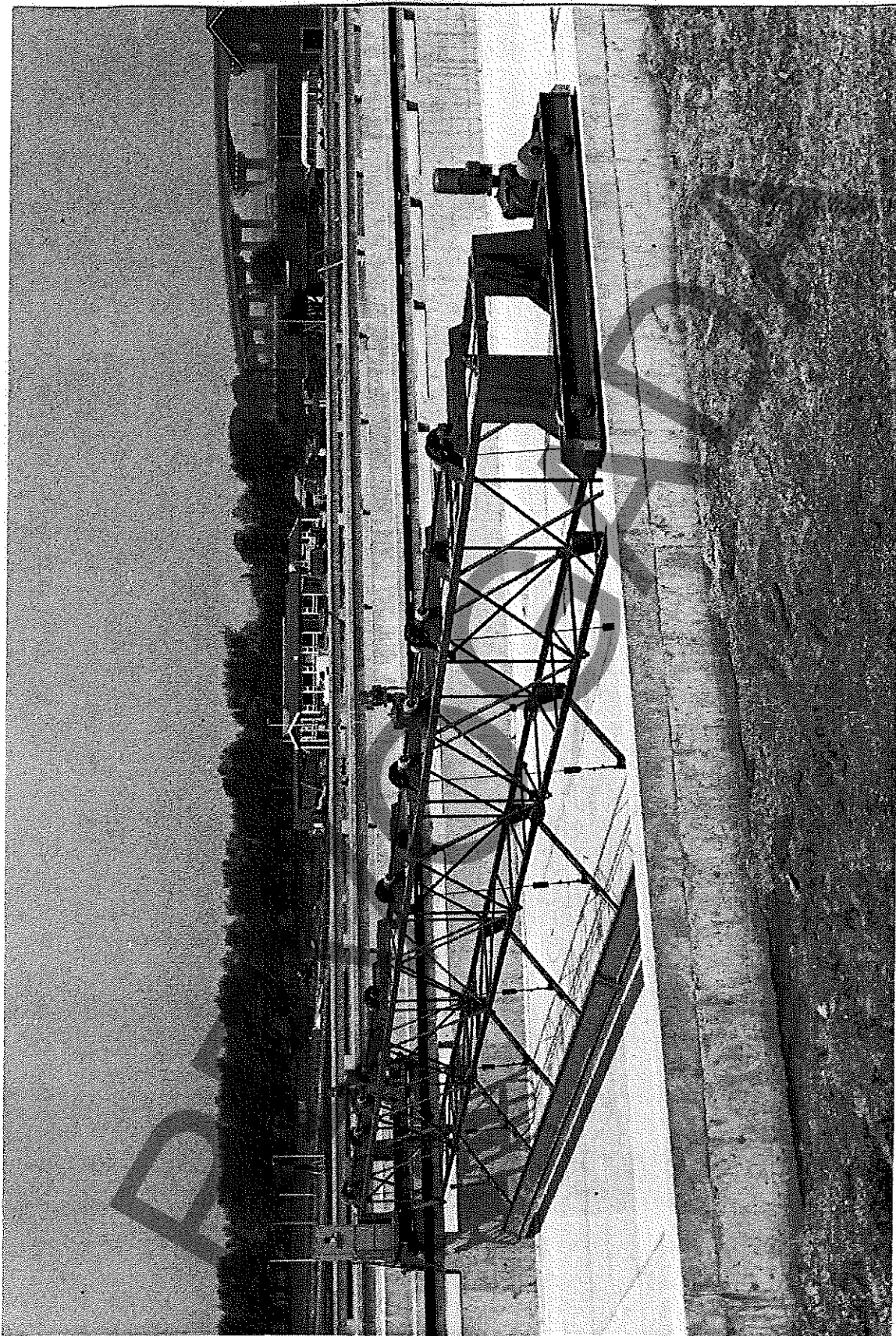


FIGURA 21 - Decantador rectangular



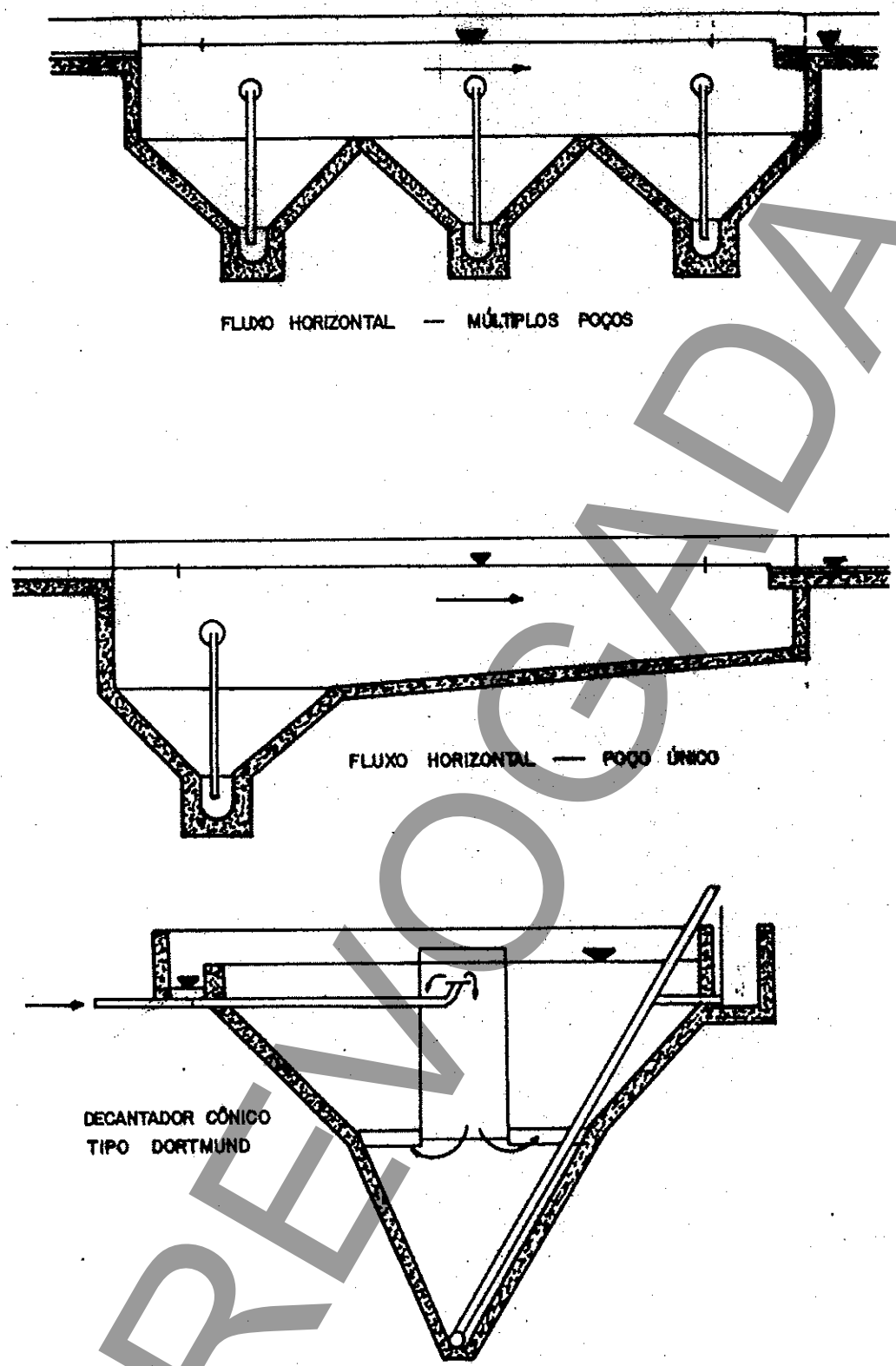
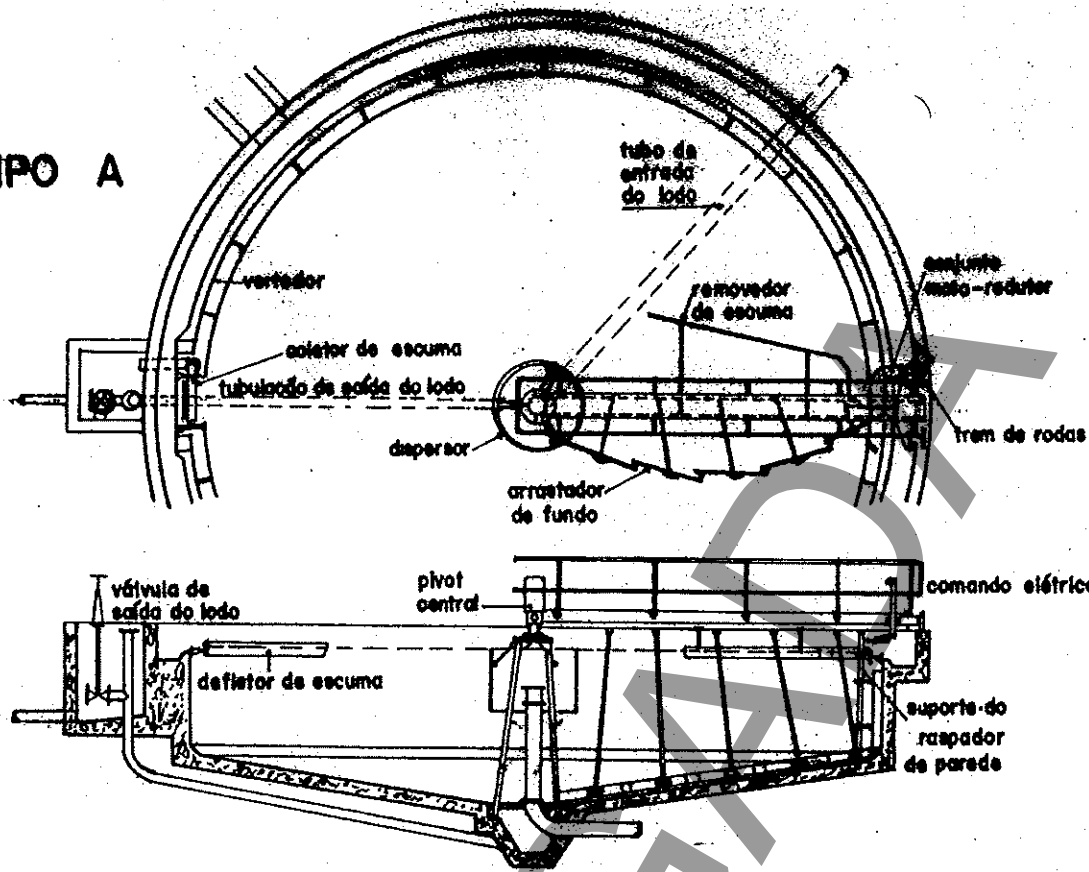


FIGURA 22 - Decantador circular

TIPO A



TIPO B

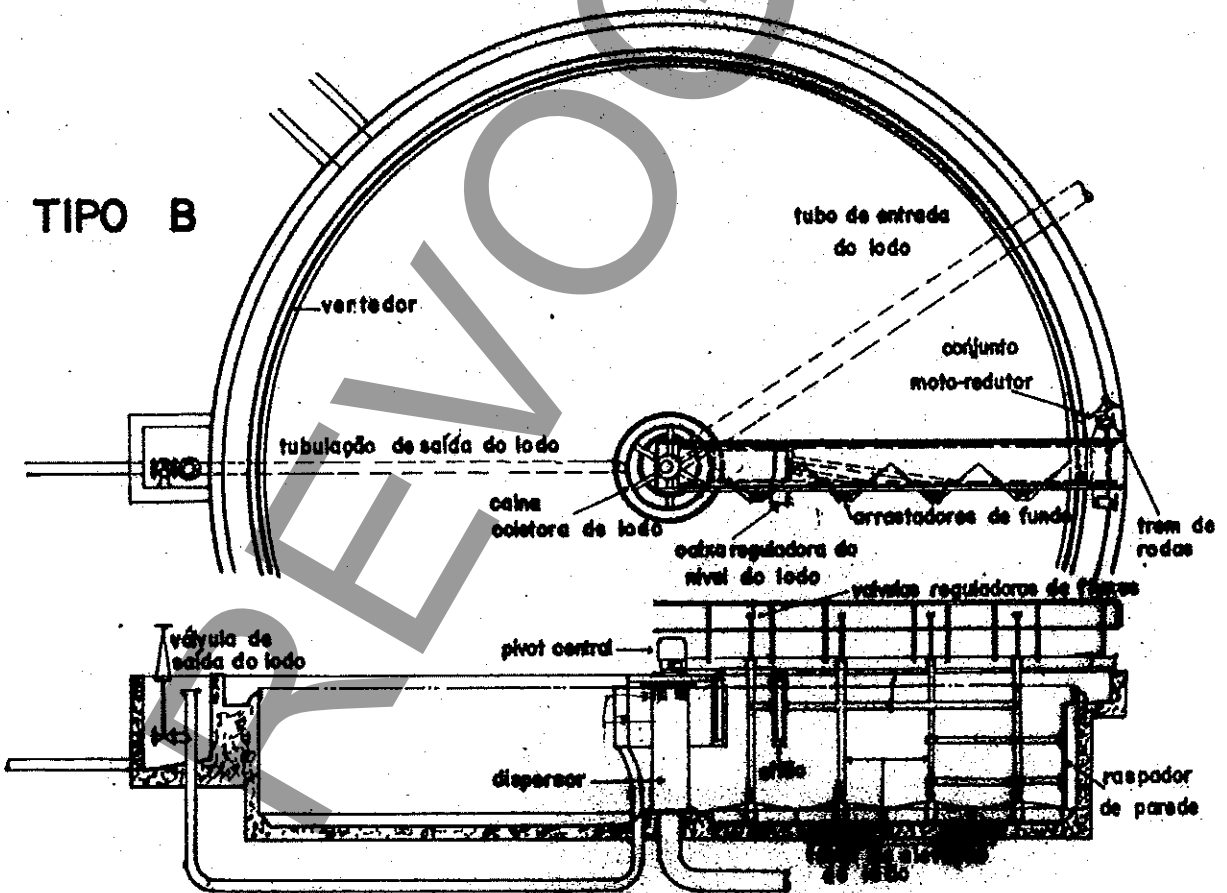


FIGURA 23 - Decantador circular

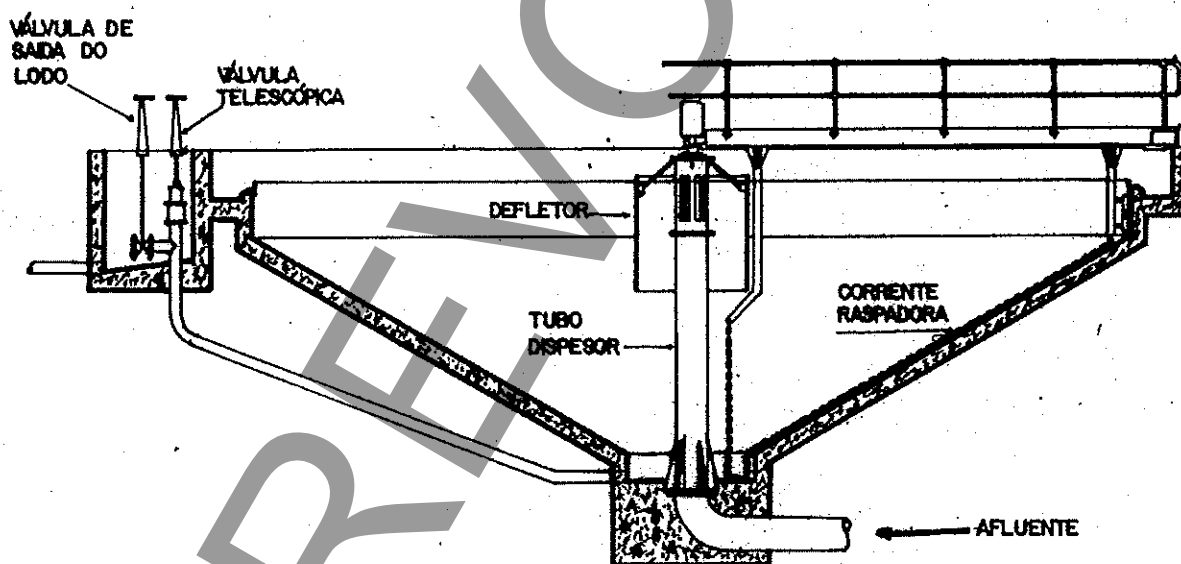
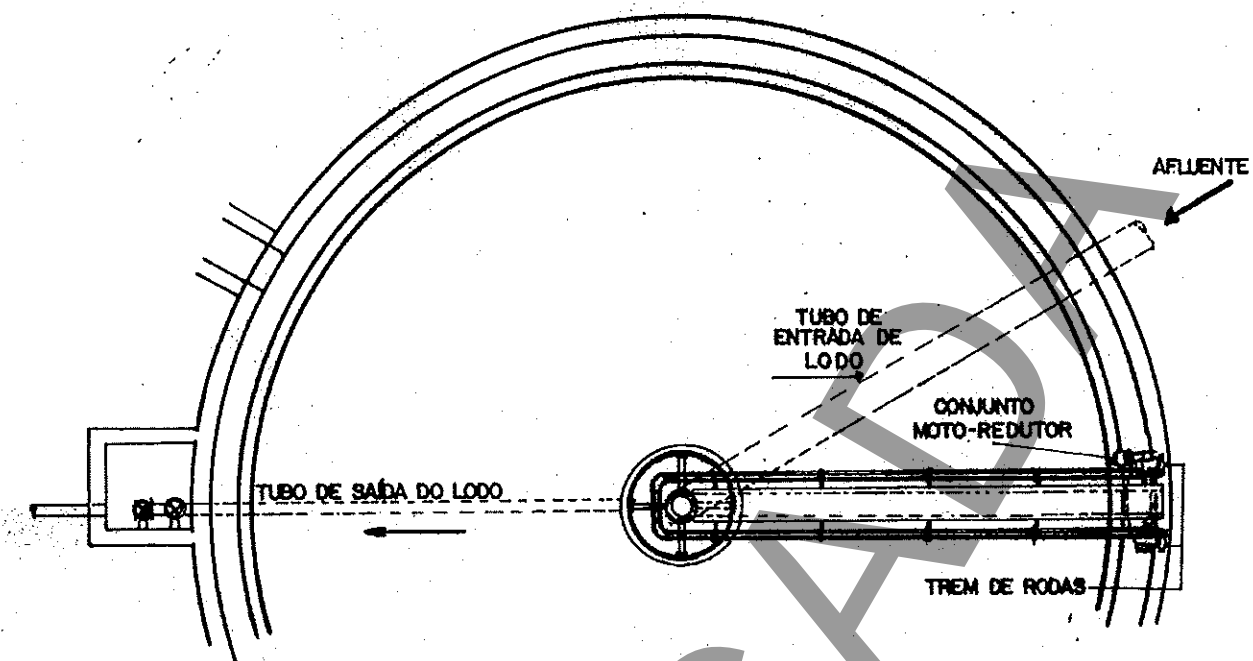


FIGURA 24 - Decantador circular

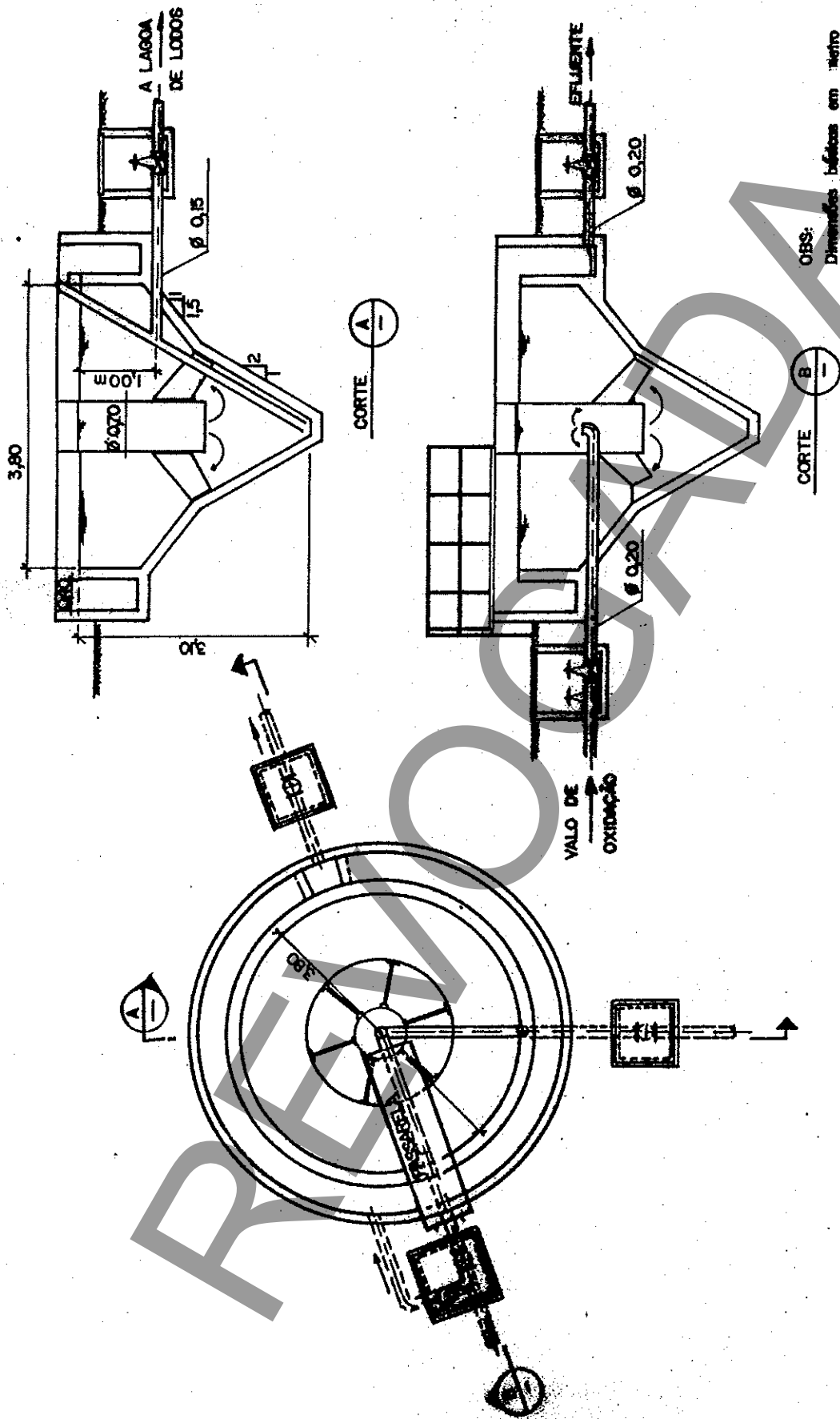


FIGURA 25 - Decantador circular

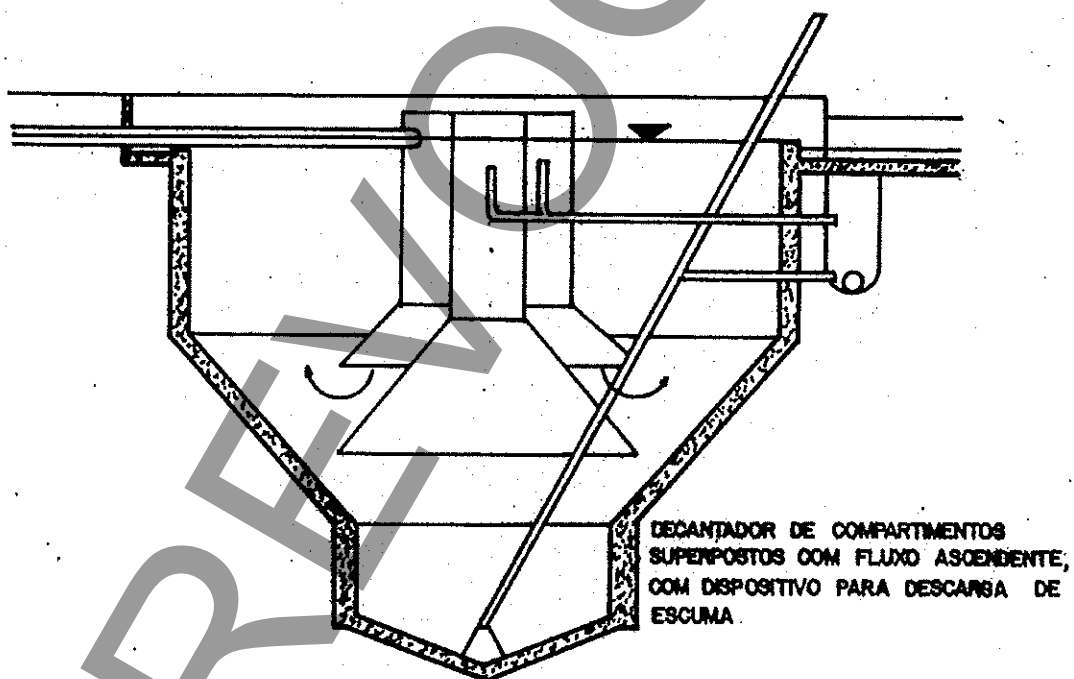
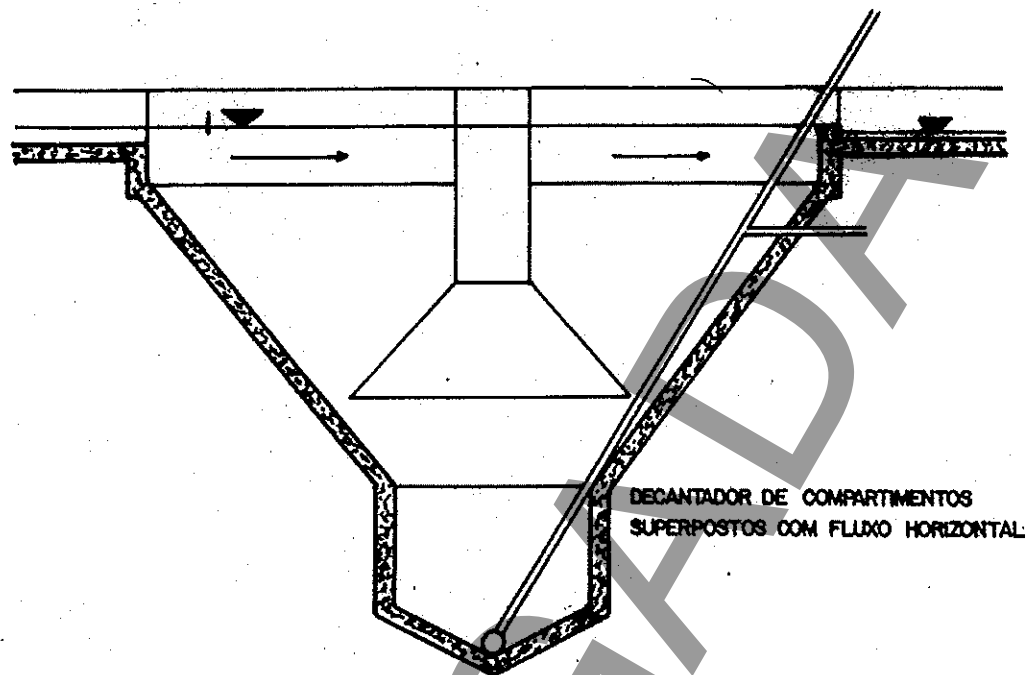


FIGURA 26 - Decantador circular

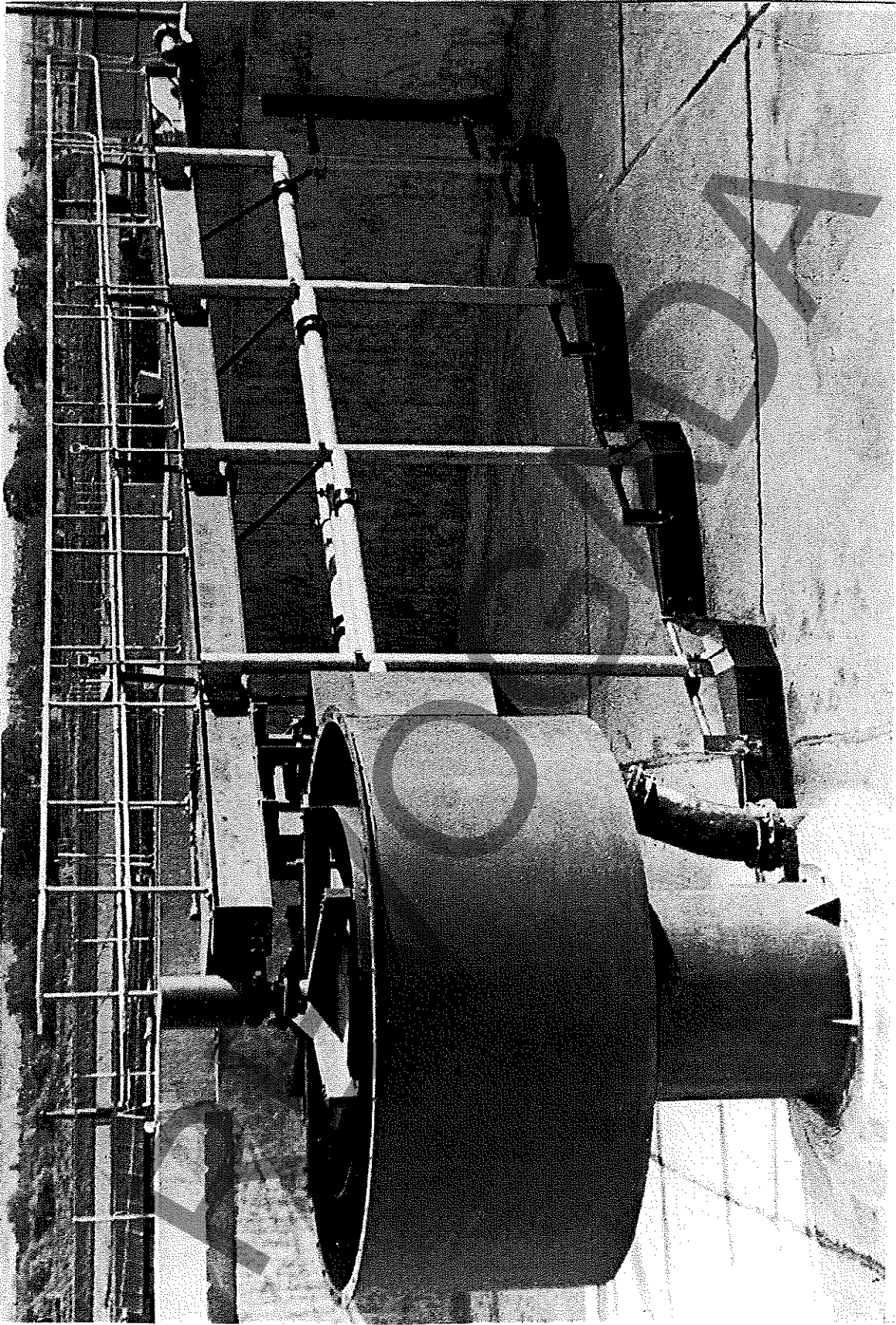


FIGURA 27 - Decantador circular (Remoção Contínua)

A decantação final exige que o lodo seja removido continuamente e com baixo período de retenção no tanque. Para tanto, o tipo mais eficiente é o de forma circular, com removedores mecanizados. Nas instalações de pequeno porte, recomendam-se as unidades tipo "Dortmund", cujo lodo é removido por carga hidrostática. O tipo selecionado deverá favorecer as seguintes operações: decantação, retenção e remoção contínua.

### 5.3.2 Condições de decantação

As condições de decantação exigem que o modelo selecionado atenda às taxas de aplicação superficiais recomendadas e ao período de retenção inerente ao processo de decantação.

O tempo de retenção em decantadores finais pode variar de uma hora e meia a duas horas e meia; no processo de aeração prolongada este tempo pode atingir até quatro horas, observando-se:

- a) no caso de se exigir um efluente de melhor qualidade em termos de sólidos suspensos, o tempo de retenção deverá ser ao redor de quatro horas;
- b) o tempo de retenção deverá ser verificado para as vazões mínimas, de modo a serem evitados tempos superiores a seis horas.

### 5.4 Dimensionamento

O dimensionamento das unidades de decantação final, cujo material é predominantemente flocculento, deve ser realizado pela taxa de aplicação de sólidos em suspensão por unidade de superfície. neste caso de lodo flocculento, cresce a importância do movimento vertical ascensional, pois o efluente se move através de um filtro descendente constituído de flocos, ao qual ficam aderentes muitas partículas minúsculas que não chegariam a sedimentar por si só (Imhoff).

#### 5.4.1 Critérios e parâmetros

No presente capítulo, também serão consideradas as recomendações da ABNT, no que se refere ao modelo de decantador selecionado.

O cálculo do decantador deverá ser realizado em função da vazão média afluente, uma vez que as recomendações da Norma NBR 12209 da ABNT estabelecem esse critério para instalações com tanques de aeração com mais de uma hora e meia de período de aeração.

Os decantadores com capacidade de até 300 m<sup>3</sup> podem ser projetados com ou sem remoção mecanizada de lodo. Para capacidade acima de 300 m<sup>3</sup>, a ABNT recomenda o emprego de equipamentos próprios para a remoção contínua de lodo.

Os decantadores de capacidade até 300 m<sup>3</sup> não mecanizados devem ser, preferivelmente, do tipo cônico ou piramidal, com fluxo predominantemente vertical tipo "Dortmund" (Figuras 22, 25 e 26). Nesse caso, recomenda-se:

- quando a remoção for por carga hidrostática, esta deverá ser, no mínimo, de 1,2 m e as paredes com inclinação mínima de 1:1,5 (horizontal/vertical).
- a canalização do lodo, com escoamento por gravidade, deverá ter no mínimo de 150 mm de diâmetro e declividade mínima de 0.02 m/m (Norma NBR-12209).

Para o emprego de decantadores retangulares não mecanizados com descarga do lodo por gravidade, recomenda-se, conforme Norma NBR-12209 da ABNT:

- o fundo deverá ser de poços piramidais, com tubos de descarga individuais (Figuras 20 e 22).
- a relação comprimento/profundidade, mínima de 4:1.
- a relação largura/profundidade, superior a 2:1.

Os decantadores mecanizados deverão ter, conforme NBR-12209:

- profundidade mínima de 2.0 m.
- velocidade periférica mínima, inferior a 20 mm/s.
- as tubulações de descarga do lodo deverão ter diâmetro mínimo de 150 mm, velocidade de escoamento superior a 1,80 m/s e declividade mínima de 0,03 m/m (quando o transporte for por gravidade).

#### 5.4.2 Parâmetros de dimensionamento

Os processos de tratamento biológico, por aeração prolongada, adotam para taxa de aplicação, por unidade de área, os seguintes valores, em função do tipo de remoção.

- mecanizada.....15 a 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia
- por carga hidrostática.....25 a 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

A profundidade do decantador normalmente é resultante da soma das seguintes parcelas:

$h_1$ (zona de espessamento/remoção)	= 0,60 m
$h_2$ (zona de separação)	= 1,00 m
$h_3$ (zona de armazenamento)	= 0,40 m
$h_4$ (zona do efluente limpo)	= 0,50 m
<hr/>	
profundidade total do líquido	= 2,50 m

#### 5.5 Recirculação de lodo

A finalidade da recirculação de lodo em um valo de oxidação é manter uma concentração suficiente de lodo ativado no tanque de aeração, de modo a se obter o grau de tratamento no intervalo de tempo desejado. O lodo a ser recirculado é separado por sedimentação em decantadores e a razão de recirculação do lodo varia de 50% a 150% da vazão do esgoto bruto, de maneira a manter  $C_e$  (F/M) de acordo com os valores indicados no item 4.4.1.1.

##### 5.5.1 Tempo de permanência

O tempo de permanência do lodo no decantador deve ser o mínimo possível, de maneira a se evitar sua ascensão à superfície, ocasionada pela formação de bolhas de gases que se aderem ao lodo. Normalmente, o tempo máximo de permanência recomendado é de quatro horas e por este motivo deve-se retirar o lodo continuamente, qualquer que seja a sua concentração.



### 5.5.2 Capacidade da bomba

A capacidade da bomba de recirculação deve ser grande, fato essencial para que não haja perda de lodo biológico no efluente. Tal medida é necessária, pois o lodo tende a formar uma camada de espessura variável no fundo do decantador, podendo ocupar grande parte do tanque nas vazões de pico, caso seja inadequada a capacidade da bomba de recirculação.

#### 5.5.2.1 Avaliação da vazão de recirculação através de sólidos sedimentáveis

Geralmente, as bombas de lodo devem funcionar de forma que a vazão de recirculação seja aproximadamente igual à relação percentual do volume ocupado pelos sólidos sedimentáveis, procedentes do efluente do tanque de aeração, para o volume do líquido clarificado (sobrenadante), depois de uma sedimentação de 30 minutos, em cilindro graduado de 1000 mL. Esta relação não deverá ser, de maneira alguma, inferior a 15%.

Exemplo:

- volume de sólidos sedimentáveis após 30 minutos de sedimentação: 150 mL
- volume do líquido clarificado após 30 minutos de sedimentação: 850 mL

Portanto, o volume percentual será:

$$(150 \text{ mL} / 850 \text{ mL}) \times 100 = 17,7\%$$

#### 5.5.2.2 Avaliação da vazão de recirculação através de índice volumétrico de lodo (IVL)

Outro método, muito empregado para controlar a vazão do lodo de recirculação, assim como o funcionamento da instalação, baseia-se numa medida empírica conhecida como "índice volumétrico de lodo" (IVL). Este índice é definido como sendo o volume ocupado por um grama de sólidos da mistura líquida do lodo ativado, em peso seco, após 30 minutos de sedimentação em cilindro graduado de 1000 mL. Na prática, este índice é obtido medindo o volume ocupado pelo lodo em uma amostra de 1000 mL de mistura líquida (tomada na saída do tanque de aeração) após 30 minutos de sedimentação (Pv), dividido pela concentração de sólidos suspensos totais da mistura líquida, expressa em grama por litro (Pw).  
Conhecendo-se o IVL, a porcentagem necessária de retorno de lodo, em termos de taxa de recirculação ( $Q_R/Q$ ) para manter uma dada concentração (em %) de sólidos no tanque de aeração, será:

$$100 \frac{Q_R}{Q} = 100 / [(100 / PwIVL) - 1]$$

Exemplo:

Seja,

- concentração de sólidos dentro do valo de oxidação: 0.3% (3000 mg/L)
- índice volumétrico de lodo (IVL): 100

Portanto, a porcentagem de lodo de retorno será:

$$100 / [(100 / 0,3 \times 100) - 1] = 43\%$$

O índice pode ser utilizado também como indicador das características de sedimentação do lodo. As bibliografias citam que valores de IVL na faixa de 50 a 150 mL/g indicam um lodo com boas características de sedimentabilidade.

### 5.5.3 Localização

Quanto à localização física da unidade de recirculação do lodo no valo de oxidação, esta deve situar-se bem próxima ao rotor de aeração, à sua jusante.

## 6 SECAGEM DO LODO EXCEDENTE

### 6.1 Conceito

O processo de valo de oxidação, como já foi dito, não elimina a totalidade do lodo contido no esgoto afluente da ETE, ou produzido durante o processo. Dessa maneira, o lodo excedente tem que ser encaminhado para um local criteriosamente selecionado para receber este material com elevada concentração de umidade, ou para uma unidade de desidratação onde é submetido à redução prévia, do excesso de água.

Recentemente, os processos de tratamento, ou disposição final do lodo dos esgotos, têm tido ampla evolução. Assim sendo, para a seleção do processo mais adequado, já se apresenta um número bastante satisfatório de alternativas (Figura 28).

No presente Manual será abordado somente os processos naturais de secagem ao ar livre, leitos de secagem e lagoas de lodo.

### 6.2 Finalidade

Os leitos de secagem e lagoas de lodo, geralmente de forma retangular, são tanques, ou câmaras, convenientemente projetados, para permitir a secagem natural do material proveniente das unidades de separação e transferência do lodo, previamente submetidas a processos de estabilização aeróbia ou anaeróbia. O lodo cru não deverá ser lançado nos leitos de secagem ou lagoas de lodo.

### 6.3 Características

Os leitos de secagem e lagoas de lodo são projetados para favorecer a imediata drenagem e evaporação do líquido nele armazenado. Assim sendo, o projeto deve considerar as seguintes partes:

- construção dos tanques
- camada drenante

#### 6.3.1 Construção dos tanques

Os tanques podem ser de alvenaria, de concreto ou de terra (diques). As lagoas de lodo, construtivamente mais econômicas, são construídas de forma idêntica às lagoas de estabilização e não possuem camada drenante.

CONDICIONAMENTO	ADENSAMENTO	TREATAMENTO	RECICLAGEM DA UNIDADE	TRANSPORTE	DISPOSIÇÃO PARCIAL	DISPOSIÇÃO FINAL
- Polímeros	- Por gravidade	- Digestão aeróbia	- Filtros prensa	- Por tubulações	- Incineração	- Aproveitamento no solo
- Terra diatomácea	- Centrifugação	- Digestão anaeróbia	- Filtros a vácuo	- Por caminhões	- Pirólise	- Aterro
- Agentes flocculantes	- Flotação	- Lagoas de lodo	- Centrifugação	- Por estrada de ferro	- Oxidação úmida	- No oceano
- Eutritação		- Por calor	- Secagem ao ar livre	- Por barcoas		
		- Oxidação química				
		- Resfriamento				

FIGURA 28 - Processos unitários para tratamento e disposição de lodo

### 6.3.2 Camada drenante

A eficiência da camada drenante está condicionada ao desempenho das seguintes unidades: camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem.

A camada suporte tem as seguintes finalidades:

- manter a espessura da camada do lodo uniforme;
- evitar que o lodo lançado nos leitos de secagem se misture com o meio filtrante;
- facilitar a remoção do lodo seco;
- evitar a destruição da camada filtrante durante as operações de carga e descarga do lodo.

A camada suporte normalmente é constituída de tijolos cozidos ou lajotas, assentados em nível, com afastamento (juntas) de 2 a 3 cm, preenchidos com areia grossa isenta de matéria orgânica (Figuras 29 e 30).

O meio filtrante é constituído de camada de pedras de granulometrias diferentes e arrumadas, de modo que a camada inferior tenha granulometria maior do que a da camada superior (Figura 31).

O sistema de drenagem é constituído de uma rede de coletores, assentada no fundo do tanque, com a finalidade de drenar para fora da unidade o líquido percolado através da camada drenante.

As canalizações que formam o sistema de drenagem devem ser projetadas para atender aos seguintes fatores: boa ventilação do meio filtrante, escoamento rápido para o líquido drenado e fácil acesso para manutenção ou reparos eventuais. Para isso são utilizados normalmente tubos ou calhas perfuradas, sem juntas de acoplamento.

### 6.4 Funcionamento

Na secagem do lodo, nos leitos de secagem, desenvolvem-se os seguintes fenômenos:

- a) liberação dos gases dissolvidos ao serem submetidos à pressão atmosférica;
- b) liquefação, devido à diferença do peso específico aparente do lodo estabilizado e da água;
- c) evaporação natural, por contato com a atmosfera;
- d) evaporação, devido ao poder calorífico do lodo.

As lagoas de lodo apresentam maiores períodos de secagem, devido à ausência de sistemas de drenagem com capacidade de remover contínua e rapidamente a umidade durante o período de liquefação do lodo. O excesso líquido não evaporado nas lagoas de lodo é recolhido através dos dispositivos de acesso, "stop-logs" para a operação de remoção do lodo ou dispositivos de coleta tipo "sumidouros", estrategicamente localizados na área das lagoas e dotados de canalizações de drenagem do líquido.

### 6.5 Dimensionamento

O dimensionamento do leito de secagem, ou da lagoa de lodo, é função dos seguintes fatores:

- quantidade de lodo em excesso; e
- período de secagem.

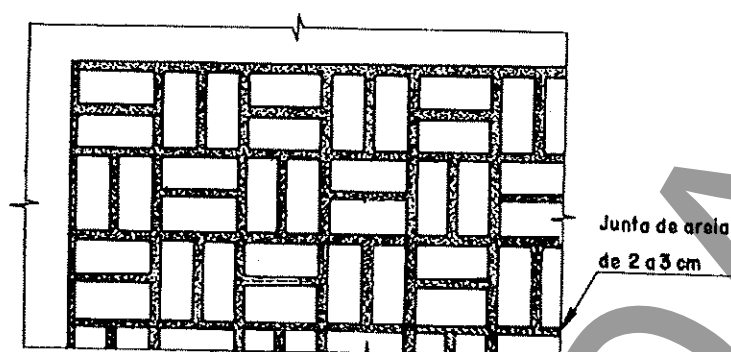


FIGURA 29 - Disposição dos tijolos nos leitos de secagem



FIGURA 30 - Leito de secagem

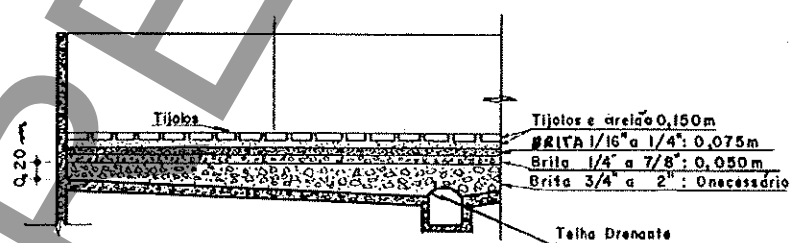


FIGURA 31 - Camada drenante dos leitos de secagem

### 6.5.1 Quantidade de lodo em excesso

Para cálculo da quantidade de lodo em excesso ( $L_e$ ), adotam-se os seguintes parâmetros:

- eficiência de remoção de DBO ..... 95%
- parcela remanescente de sólidos em suspensão:
  - . inorgânico ..... 100% do valor afluente
  - . orgânico ..... 30% do valor afluente
  - . parcela de lodo proveniente da conversão da DBO ..... 30% da DBO removida

Exemplo de cálculo para um esgoto bruto com DBO = 300 mg/L e SS = 300 mg/L.

$$L_e = [SS \text{ inorgânico} + SS \text{ orgânico} + \text{lodo (DBO)}] \text{ kg/dia}$$

Supondo SS composto de 50% orgânico e 50% inorgânico, teremos:

$$\begin{aligned} SS \text{ inorgânico} &= (50\% \text{ SS} \times Q_{\text{médio}}) \text{ kg/dia} \\ SS \text{ orgânico} &= (0,30 \times 50\% \text{ SS} \times Q_{\text{médio}}) \text{ kg/dia} \end{aligned}$$

$$\text{Lodo da conversão da DBO} = (0,95 \times 0,30 \times 300 \times Q_{\text{médio}}) \text{ kg/dia}$$

Obs.:  $Q_{\text{médio}}$  em  $\text{m}^3/\text{dia}$  ou L/dia.

### 6.5.2 Período de secagem

O funcionamento e operação das unidades de secagem (leitos e lagoas) permitem estabelecer os seguinte parâmetros:

#### 6.5.2.1 Leitos de secagem

- período de secagem ..... 15 a 20 dias
- profundidade do leito ..... 25 a 30 cm
- umidade inicial ..... 99%
- umidade final ..... 70%

#### 6.5.2.2 Lagoas de lodo

- período de secagem ..... 90 a 120 dias
- profundidade do leito ..... 2 a 5 cm
- umidade inicial ..... 99%
- umidade final ..... 70%

Para cálculo das lagoas de lodo, considera-se a umidade média 84.5%, ou 86%, o que corresponde a 15% de sólidos.

### 6.5.3 Recomendações complementares

É oportuno incluir neste Manual algumas recomendações, tanto para leitos de secagem como para lagoas de lodo.

- Leitos de secagem:

- a) adotar, no mínimo, duas unidades (Norma NBR-12209 da ABNT);
- b) se for adotado o dique de terra como parede divisória, esta deverá ter altura mínima de 0,70 m acima do topo da soleira drenante (Norma NBR 12209 da ABNT);

- c) os parâmetros recomendados aplicam-se a instalações sem adensadores;
- d) estima-se em 600 mL/hab/dia o excesso de lodo produzido, para um teor de sólido de 1.5%, o que corresponderia a 0,10 m<sup>2</sup> de leito de secagem por habitante, admitidos 12 ciclos de secagem anuais.

- Lagoas de lodo:

- a) as lagoas de lodo deverão ter, ao longo de um ou mais lados, entradas em diversos pontos, distantes entre si de, no máximo, 50 m; nos diques opostos serão previstos dispositivos para remoção e drenagem do líquido sobrenadante, distantes entre si, no máximo, 100 m (Norma NBR 12209 da ABNT);
- b) o líquido drenado deverá voltar para um ponto a montante do tanque de aeração (Norma NBR 12209 da ABNT).

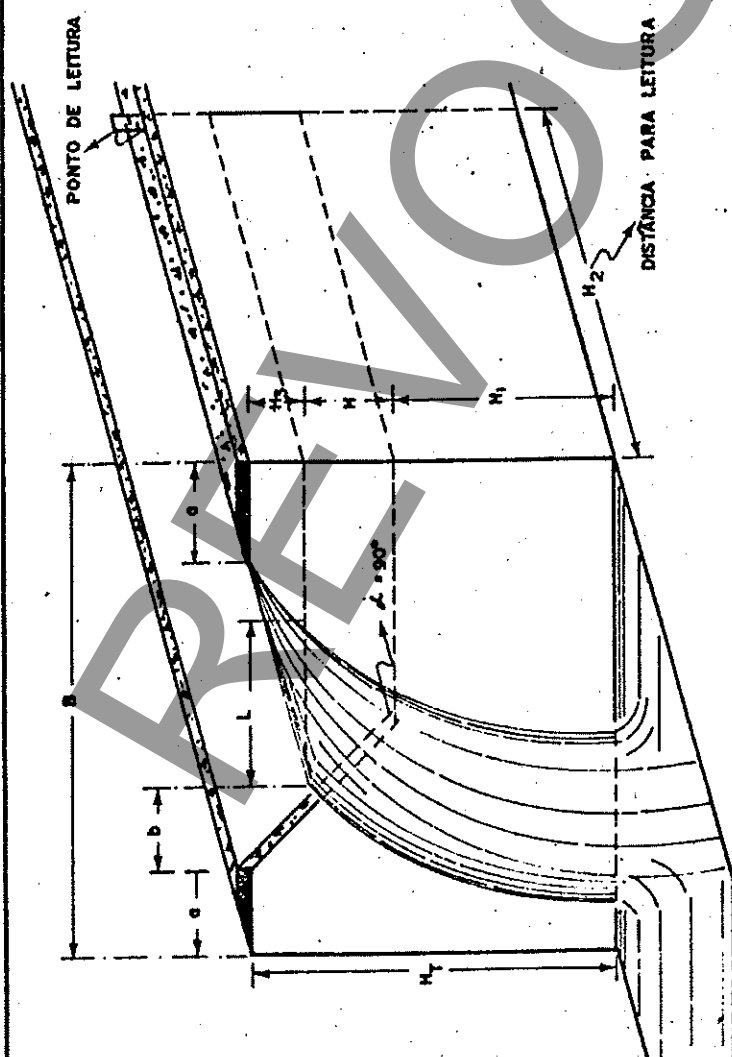
RENOVAGAR

REVOGADA

**ANEXO A**

**VERTEDOR TRIANGULAR PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO**





FORMULA :  $Q = 1,32 H^{2,47}$   
 $Q =$  VAZÃO ( $m^3/s$ )  
 $H =$  CARGA (m)

CAPACIDADE	
MAXIMA	MINIMA
1,3 (l/s)	0,02 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)						
H	a	b=H <sub>3</sub>	L	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	B	H <sub>T</sub>
7,2	10,8	0,7	14,4	18	37,4	25,9

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
1,0	0,02	3,5	0,34
1,1	0,02	3,6	0,36
1,2	0,02	3,7	0,38
1,3	0,03	3,8	0,41
1,4	0,04	3,9	0,44
1,5	0,04	4,0	0,47
1,6	0,05	4,1	0,49
1,7	0,06	4,2	0,53
1,8	0,07	4,3	0,56
1,9	0,07	4,4	0,59
2,0	0,08	4,5	0,62
2,1	0,10	4,6	0,66
2,2	0,11	4,7	0,69
2,3	0,12	4,8	0,73
2,4	0,13	4,9	0,77
2,5	0,15	5,0	0,81
2,6	0,16	5,1	0,85
2,7	0,18	5,2	0,89
2,8	0,19	5,3	0,93
2,9	0,21	5,4	0,98
3,0	0,23	5,5	1,02
3,1	0,25	5,6	1,07
3,2	0,27	5,7	1,12
3,3	0,29	5,8	1,17
3,4	0,31	5,9	1,22
		6,0	1,27

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Verif. \_\_\_\_\_

Aprov. \_\_\_\_\_

Rev. \_\_\_\_\_

Projeto \_\_\_\_\_

**VERTECOR TRIANGULAR**

( abertura igual a 90° )

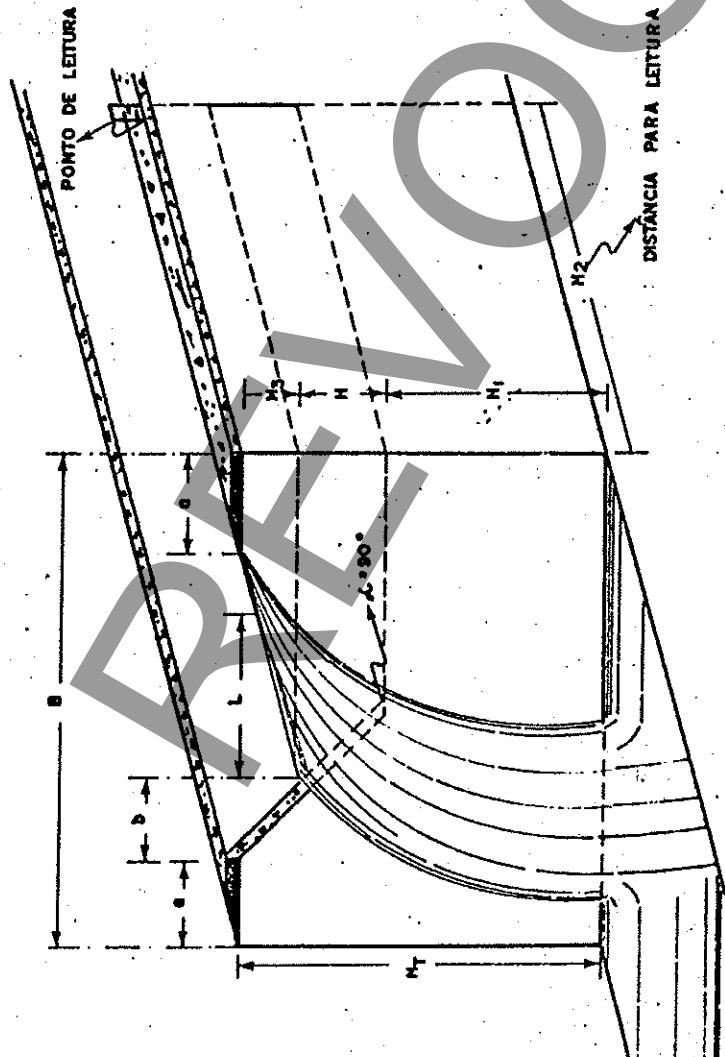
Desenho \_\_\_\_\_

Escala \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_\_

Foto \_\_\_\_\_






FORMULA :  $Q = 1,32 H^{2,47}$   
 $Q =$  VAZÃO ( $m^3/s$ )  
 $H =$  CARGA (m)

CAPACIDADE	
MAXIMA	MINIMA
5,7 (l/s)	1,3 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)					
H	a	b = H <sub>3</sub>	L	H <sub>1</sub> = H <sub>2</sub>	H <sub>T</sub>
13,2	19,8	1,3	26,4	33,0	47,5
			68,6		

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
6,1	1,32	8,6	3,08
6,2	1,37	8,7	3,17
6,3	1,43	8,8	3,26
6,4	1,49	8,9	3,35
6,5	1,54	9,0	3,45
6,6	1,60	9,1	3,54
6,7	1,66	9,2	3,64
6,8	1,73	9,3	3,74
6,9	1,79	9,4	3,84
7,0	1,85	9,5	3,94
7,1	1,92	9,6	4,04
7,2	1,99	9,7	4,15
7,3	2,06	9,8	4,26
7,4	2,13	9,9	4,36
7,5	2,20	10,0	4,47
7,6	2,27	10,1	4,58
7,7	2,35	10,2	4,70
7,8	2,42	10,3	4,81
7,9	2,50	10,4	4,93
8,0	2,58	10,5	5,05
8,1	2,66	10,6	5,17
8,2	2,74	10,7	5,29
8,3	2,82	10,8	5,41
8,4	2,91	10,9	5,53
8,5	2,99	11,0	5,66

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

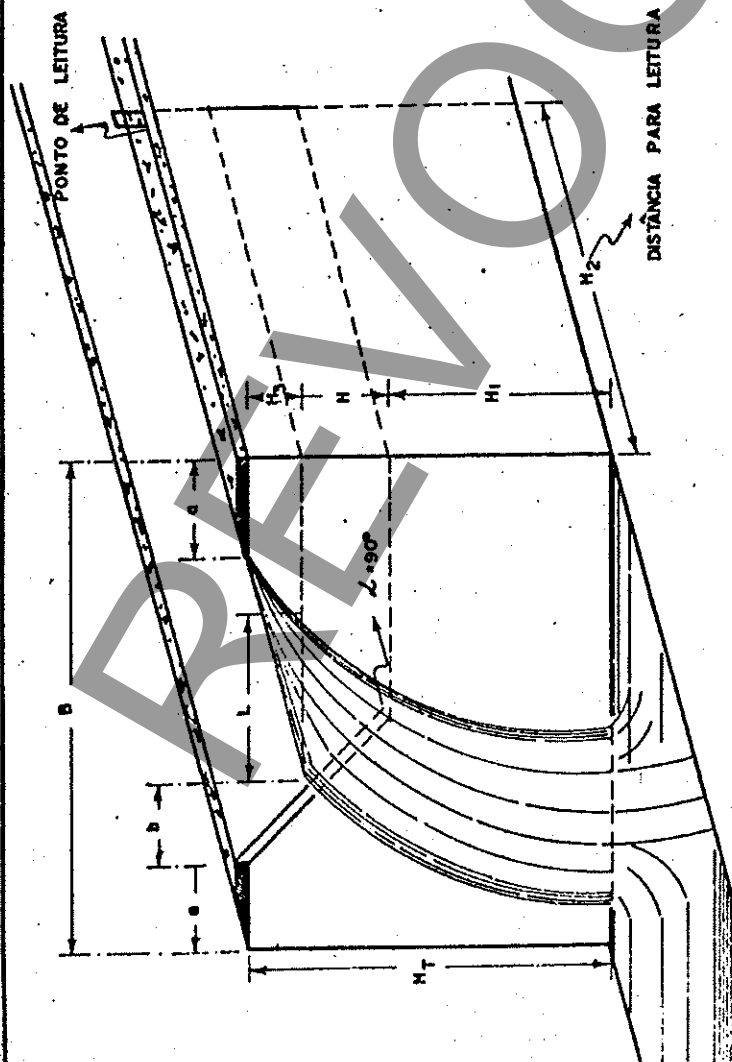


Verif. \_\_\_\_\_  
 Aprov. \_\_\_\_\_  
 Rev. \_\_\_\_\_  
 Projeto \_\_\_\_\_

**VERTEDOR TRIANGULAR**  
 (abertura igual a 90°)

Desenho \_\_\_\_\_  
 Escala \_\_\_\_\_  
 Data \_\_\_\_\_  
 Folha \_\_\_\_\_

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
11,1	5,79	13,6	9,56
11,2	5,92	13,7	9,73
11,3	6,05	13,8	9,91
11,4	6,18	13,9	10,09
11,5	6,32	14,0	10,27
11,6	6,45	14,1	10,45
11,7	6,59	14,2	10,64
11,8	6,73	14,3	10,82
11,9	6,87	14,4	11,01
12,0	7,02	14,5	11,20
12,1	7,16	14,6	11,39
12,2	7,31	14,7	11,58
12,3	7,46	14,8	11,78
12,4	7,61	14,9	11,98
12,5	7,76	15,0	12,18
12,6	7,92	15,1	12,38
12,7	8,07	15,2	12,58
12,8	8,23	15,3	12,79
12,9	8,39	15,4	12,99
13,0	8,55	15,5	13,20
13,1	8,71	15,6	13,42
13,2	8,88	15,7	13,63
13,3	9,05	15,8	13,84
13,4	9,22	15,9	14,06
13,5	9,39	16,0	14,28




FÓRMULA :  $Q = 1,32 H^{2,47}$   
 $Q =$  VAZÃO (m<sup>3</sup>/s)  
 $H =$  CARGA (m)

CAPACIDADE	
MAXIMA	MINIMA
14,3 (l/s)	5,8 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)						
H	Q	b = H <sup>3</sup>	L	H1 = H2	B	Ht
19,2	28,8	1,9	38,4	48,0	99,8	69,1

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

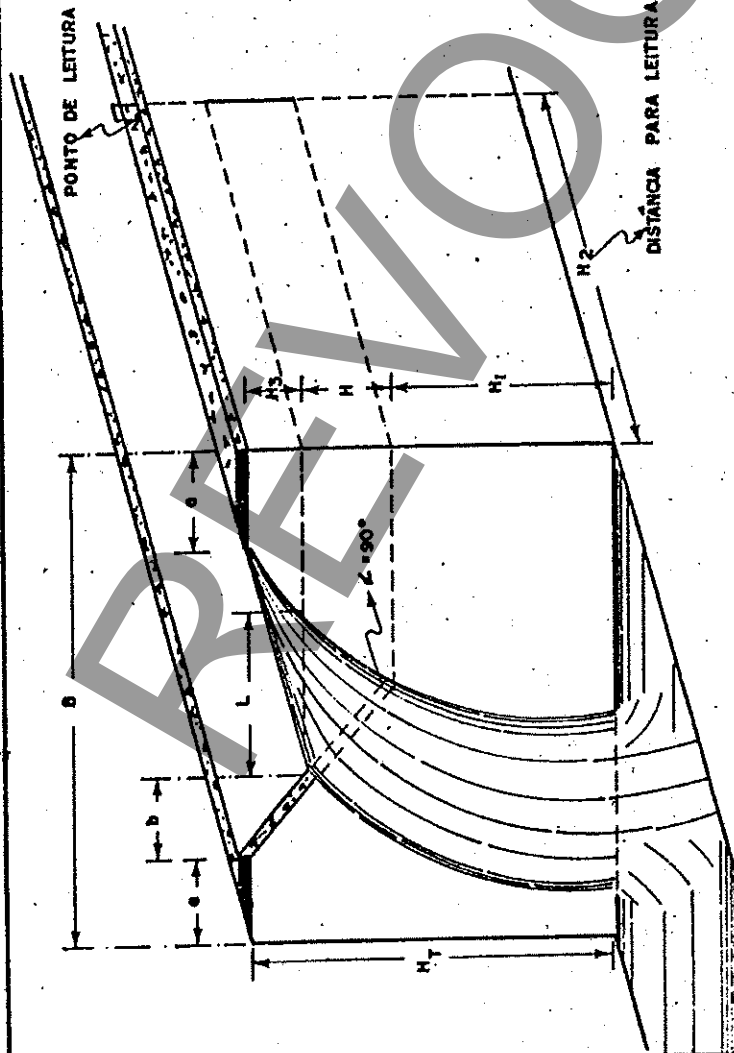


VERTEDOR TRIANGULAR  
(abertura igual a 90°)

Verif. \_\_\_\_\_  
Aprov. \_\_\_\_\_  
Rev. \_\_\_\_\_

Projeto \_\_\_\_\_  
Desenho \_\_\_\_\_  
Escala \_\_\_\_\_  
Data \_\_\_\_\_  
Folha \_\_\_\_\_

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
16,1	14,50	18,6	20,71
16,2	14,73	18,7	20,99
16,3	14,95	18,8	21,27
16,4	15,18	18,9	21,55
16,5	15,41	19,0	21,83
16,6	15,64	19,1	22,12
16,7	15,87	19,2	22,40
16,8	16,11	19,3	22,69
16,9	16,35	19,4	22,99
17,0	16,59	19,5	23,28
17,1	16,83	19,6	23,58
17,2	17,07	19,7	23,87
17,3	17,32	19,8	24,17
17,4	17,57	19,9	24,48
17,5	17,82	20,0	24,78
17,6	18,07	20,1	25,09
17,7	18,33	20,2	25,40
17,8	18,58	20,3	25,71
17,9	18,84	20,4	26,02
18,0	19,10	20,5	26,34
18,1	19,37	20,6	26,66
18,2	19,63	20,7	26,98
18,3	19,90	20,8	27,30
18,4	20,17	20,9	27,63
18,5	20,44	21,0	27,96



FÓRMULA : $Q = 1,32 H^{2.47}$	
Q = VAZÃO (m³/s)	
H = CARGA (m)	14,5 (l/s)

CAPACIDADE	
MÁXIMA	MÍNIMA
28,0 (l/s)	14,5 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)					
H	a	b = H3	L	H1	HT
25,2	37,8	2,5	50,4	63	131
					90,7

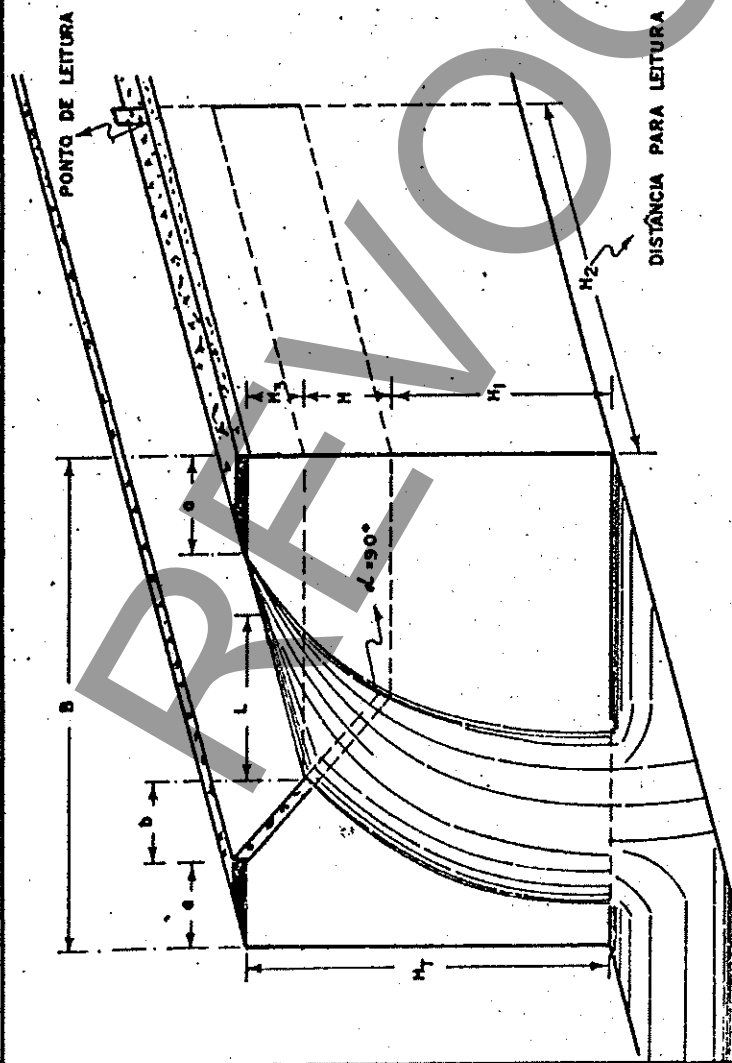
CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Verif.  
Aprov.  
Rev.



VERTEDEDOR TRIANGULAR  
(abertura igual a 90°)

Projeto: \_\_\_\_\_ Desenho: \_\_\_\_\_ Escala: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Folha: \_\_\_\_\_



FORMULA :  $Q = 1,32 H^{2.47}$   
 $Q =$  VAZÃO ( $m^3/s$ )  
 $H =$  CARGA (m)

CAPACIDADE	
MAXIMA	47,4 (l/s)
MINIMA	28,0 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)						
H	a	b = H <sup>3</sup>	L	H <sub>1</sub> = H <sub>2</sub>	B	H <sub>T</sub>
31,2	45,0	3,1	62,4	78	162,2	112,3

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
21,1	28,29	23,6	37,30
21,2	28,62	23,7	37,69
21,3	28,95	23,8	38,08
21,4	29,29	23,9	38,48
21,5	29,63	24,0	38,88
21,6	29,97	24,1	39,28
21,7	30,31	24,2	39,68
21,8	30,66	24,3	40,09
21,9	31,01	24,4	40,50
22,0	31,36	24,5	40,91
22,1	31,71	24,6	41,32
22,2	32,07	24,7	41,74
22,3	32,43	24,8	42,16
22,4	32,79	24,9	42,58
22,5	33,15	25,0	43,00
22,6	33,51	25,1	43,43
22,7	33,88	25,2	43,86
22,8	34,25	25,3	44,29
22,9	34,62	25,4	44,72
23,0	35,00	25,5	45,16
23,1	35,38	25,6	45,60
23,2	35,75	25,7	46,04
23,3	36,14	25,8	46,48
23,4	36,52	25,9	46,93
23,5	36,91	26,0	47,38

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Verif. \_\_\_\_\_

Aprov. \_\_\_\_\_

Rev. \_\_\_\_\_

Projeto \_\_\_\_\_

VERTEDOR TRIANGULAR

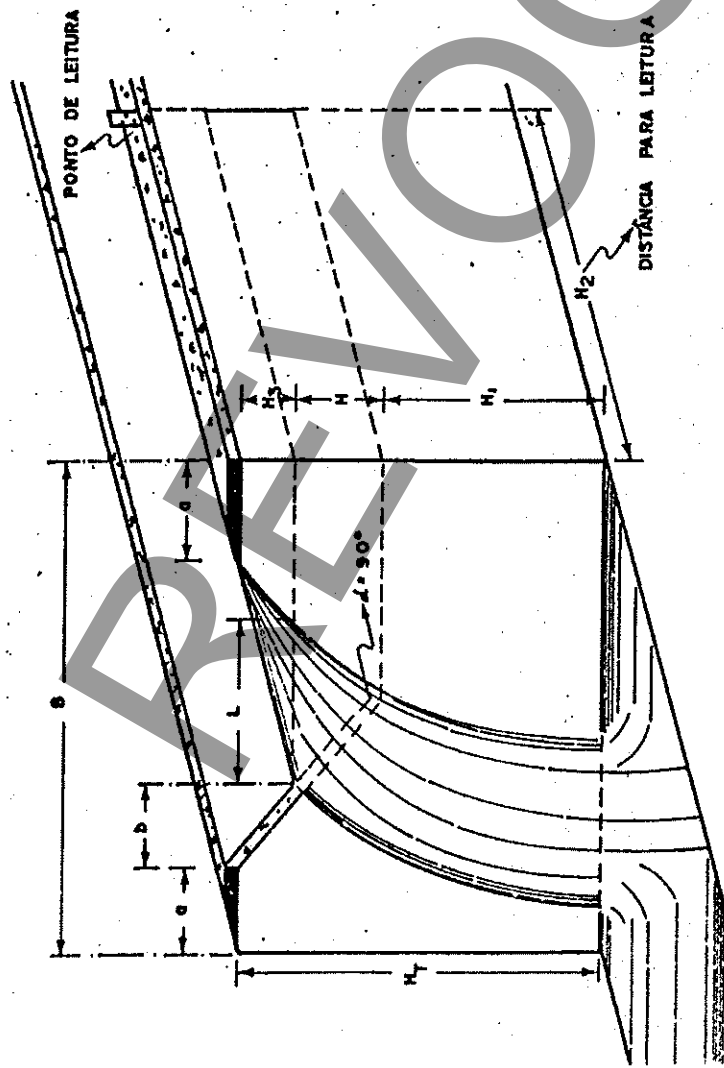
(abertura igual a 90°)

Folha \_\_\_\_\_

Desenho \_\_\_\_\_

Escala \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_\_



FÓRMULA :  $Q = 1,32 H^{2,47}$   
 $Q =$  VAZÃO (m<sup>3</sup>/s)  
 $H =$  CARGA (m)

CAPACIDADE	
MÁXIMA	MÍNIMA
99,0 (l/s)	47,0 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)						
H	a	b = H <sub>5</sub>	L	H <sub>1</sub> = H <sub>2</sub>	B	HT
42,0	63,0	4,2	84,0	105,0	218,4	151,2

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
26,1	47,83	28,6	59,95
26,2	48,28	28,7	60,47
26,3	48,74	28,8	60,99
26,4	49,20	28,9	61,52
26,5	49,66	29,0	62,04
26,6	50,12	29,1	62,57
26,7	50,59	29,2	63,11
26,8	51,06	29,3	63,64
26,9	51,53	29,4	64,18
27,0	52,01	29,5	64,72
27,1	52,48	29,6	65,26
27,2	52,96	29,7	65,81
27,3	53,44	29,8	66,36
27,4	53,93	29,9	66,91
27,5	54,42	30,0	67,46
27,6	54,91	30,5	70,27
27,7	55,40	31,0	73,15
27,8	55,89	31,5	76,10
27,9	56,39	32,0	79,12
28,0	56,89	32,5	82,21
28,1	57,40	33,0	85,37
28,2	57,90	33,5	88,60
28,3	58,41	34,0	91,90
28,4	58,92	34,5	95,28
28,5	59,44	35,0	98,72

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Verif. \_\_\_\_\_

Aprov. \_\_\_\_\_

Rev. \_\_\_\_\_

Projeto \_\_\_\_\_

**VERTECOR TRIANGULAR**

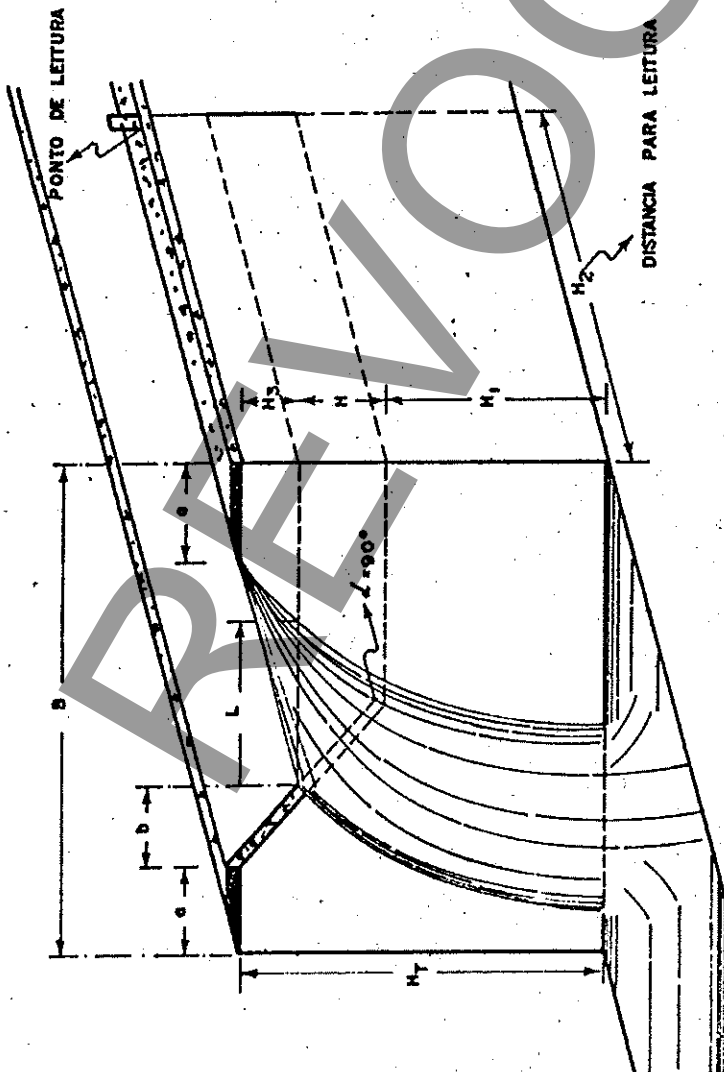
(abertura igual a 90°)

Desenho \_\_\_\_\_

Escala \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_\_

Folha \_\_\_\_\_



FORMULA :  $Q = 1,32 H^{2,47}$   
 Q = VAZAO ( $m^3/s$ )  
 H = CARGA (m)

CAPACIDADE	
MÁXIMA	MÍNIMA
374,0 (l/s)	102,0 (l/s)

DIMENSIONAMENTO (cm)							
H	Q	b = H <sup>3</sup>	L	H <sub>1</sub> = H <sub>2</sub>	B	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
72,0	108,0	7,2	14,4	180	374,4	259,2	

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
35,5	102,24	48,0	215,40
36,0	105,84	48,5	220,98
36,5	109,51	49,0	226,65
37,0	113,25	49,5	232,41
37,5	117,07	50,0	238,25
38,0	120,96	50,5	244,18
38,5	124,93	51,0	250,19
39,0	128,97	51,5	256,29
39,5	134,00	52,0	262,48
40,0	137,30	52,5	268,76
40,5	141,58	53,0	275,13
41,0	145,93	53,5	281,58
41,5	150,37	54,0	288,13
42,0	154,88	54,5	294,76
42,5	159,48	55,0	301,49
43,0	164,15	55,5	308,30
43,5	168,91	56,0	315,21
44,0	173,74	56,5	322,21
44,5	178,66	57,0	329,30
45,0	183,66	57,5	336,48
45,5	188,74	58,0	343,75
46,0	193,90	58,5	351,12
46,5	199,15	59,0	358,57
47,0	204,48	59,5	366,13
47,5	209,90	60,0	373,77

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Verif. \_\_\_\_\_

Aprox. \_\_\_\_\_

Rev. \_\_\_\_\_

Projeto \_\_\_\_\_

VERTEDOR TRIANGULAR

(abertura igual a 90°)

Data \_\_\_\_\_

Folha \_\_\_\_\_

**ANEXO B**

**CÁLCULO DE OXIGÊNIO NECESSÁRIO CONSIDERANDO:**

- Síntese de novas células
- Respiração endógena
- Nitrificação e desnitrificação



## ANEXO B - CÁLCULO DE OXIGÊNIO NECESSÁRIO

A quantidade de oxigênio necessário para o processo biológico poderá ser calculada pela adoção direta da taxa de 2,0 a 3,0 Kg O<sub>2</sub>/Kg DBO<sub>5</sub>, conforme referido no item 4.4.2.1 deste Manual. No entanto, segundo Eckenfelder e O'Connor, para um cálculo mais rigoroso, o oxigênio requerido em um processo de oxidação biológica pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{Oxigênio utilizado (Kg O}_2\text{/dia)} = a' \times \text{DBO}_5 \text{ removida} + b' \times C_{\text{ssvTA}} \times V \quad (1)$$

onde:

- a' = massa de O<sub>2</sub> utilizada para energia/massa de DBO<sub>5</sub> removida
- DBO<sub>5</sub> = carga orgânica removida (em Kg/dia), a partir da eficiência estabelecida para o sistema
- b' = massa de O<sub>2</sub> utilizada para respiração endógena/massa de sólidos suspensos voláteis no valo/dia
- C<sub>ssvTA</sub> = concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração em Kg/m<sup>3</sup>
- V = volume do valo em m<sup>3</sup>

Os valores comumente adotados para os parâmetros a' e b' são:

$$a' = 0,55$$

$$b' = 0,10 \text{ dia}^{-1}$$

**Obs.:** Segundo alguns autores, estes parâmetros podem variar dentro das seguintes faixas para esgotos domésticos:

$$a' - 0,45 \text{ a } 0,55$$

$$b' - 0,07 \text{ a } 0,2$$

A nitrificação fatalmente ocorrerá em valos de oxidação situados em climas tropicais e subtropicais, em virtude da ocorrência de idades elevadas do lodo.

Ao mesmo tempo em que ocorre o processo de nitrificação, também há ocorrência de desnitrificação, em trechos de valo onde o oxigênio dissolvido tende a zero, desde que haja fonte de carbono disponível e o pH seja maior que 7. Cerca de 60% do oxigênio é reaproveitado quando ocorrerem concomitantemente os processos de nitrificação e desnitrificação.

Nas nossas condições climáticas, é comum a ocorrência desses fenômenos nos valos de oxidação, razão pela qual a quantidade de O<sub>2</sub> para atender a essas reações deve ser acrescida àquela calculada pela expressão anteriormente apresentada.

Sabe-se que 1 Kg de nitrogênio orgânico consome 4,5 Kg de oxigênio para nitrificação e a concentração para esgotos domésticos é de 0,008 a 0,010 Kg de nitrogênio orgânico/habitante.dia, sendo:

- A = quantidade de O<sub>2</sub> necessário para nitrificação (Kg/dia)
- B = quantidade de O<sub>2</sub> liberada pela desnitrificação = 0,6 A (Kg/dia)
- C = quantidade de O<sub>2</sub> efetiva, necessária para o processo de nitrificação-desnitrificação (Kg/dia)

Portanto:

$$C = A - B = A - 0,6 A = 0,4 A$$

Como dito anteriormente, o valor de C deve ser adicionado à expressão 1.

REVOGADA

**ANEXO C**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### ANEXO C - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 9649 - Estudo de concepção de sistemas de abastecimento de esgoto sanitário - Procedimento.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 11885 - Grades de barras retas de limpeza manual - Especificação.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12207 - Projeto de interceptores de esgoto sanitário.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12208 - Projeto de estações elevatórias de esgotos sanitários.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12209 - Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.
- AERATION In wastewater treatment: manual of practice n° 5. J. Wat. Pollut. Contr. Fed. Washington, 41(11): 1863-78, nov.1969.
- AFINI JR., B. - Estudos preliminares do projeto do valo de oxidação da Fundação "Parque Zoológico de São Paulo, Capital". Rev. DAE, São Paulo, 32(86): 98-111, ago.1972.
- AQUA - AEROBIC SYSTEMS INC - Engineering manual, 111, Rockford, 1972.
- ARCEIVALA, S.I. Simple waste treatment methods, Ankara (Turkia), 1973
- ASHCROFT, L.G. & EDWARDS, M.B. Split channel Pasveer oxidation ditches. Separata de surveyor, mai.1969.
- 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 rev. DAE).
- BOTELHO, M.H.C. Assistência à operação de um valo de oxidação de esgotos sanitários. In: 7º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Salvador, 1973 (mimeogr.).
- BRANCO, S.M. Depuração biológica das águas residuárias. In: Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. São Paulo, CETESB, 1971, v.III p. 825-975.
- BRANCO, S.M. Princípios biológicos em valos de oxidação e lagoas aeradas. São Paulo, CETESB, Div. Treinamento e Assistência, 1971 (mimeogr.).
- BURCHINAL, J.C. A detailed study of the oxidation ditch as a method of wastewater treatment at Cameron, West Virginia. Morgantown, Department of Civil Engineering, College of engineering, West Virginia University, 1967.
- CAPRI, G.M. & MARAIS, G.V.R. The activated sludge process treating raw unsettled domestic sewage. Cape Town. Department of Civil Engineering, University of Cape Town, 1974.

- CETESB - E2.150 - Medidor Parshall - Especificação
- CETESB - E2.151 - Indicador de vazão para medidor Parshall - Especificação.
- DERISIO, J.C. et alii - Teste de reoxigenação em um valo de oxidação  
Rev. DAE, São Paulo, 35 (95): 26-35, Jun.1974.
- ECKENFELDER JR, J.W.W. Teory and practice of activated sludge process modifications. Water Sewage Works, Chicago, (ref. n<sup>o</sup>): 340-5, Oct. 1961.
- ECKENFELDER JR, J.W.W. Water quality engineering for practicing engineers. New York, Barnes & Nobles, 1970.
- GUILLAUME, F. Evaluation of oxidation ditch as a mean of wastewater treatment in Ontario. Ontario, Water Resources Comission, 1964. (Division of Research, Publ. 6).
- HESS, M.L. Desenho de lagoas e valos de oxidação. In: Tratamento de recuperação de despejos industriais. Rio de Janeiro, Instituto de Engenharia Sanitária, SURSAM, 1971. Seção 2 p. 1-20.
- KANESHIGH, H.M. Performance of the Somerset Ohio, oxidation ditch. J. Wat. Pollut. Contr. Washington, 42 (6): 1370-8, Jul.1970.
- MARAI, G.V.R. Course of activated sludge plants. São Paulo, CETESB, 1975 (anotações de aula).
- OPERATION of wastewater treatment plants; manual of practice n<sup>o</sup>11 Washington, Water Pollution Control Federation, 1961.
- PARKER, H.W. Oxidation ditch waste treatment process. Washington, Federal Highway Administration, 1972. v.6 (Water Suply and Waste Disposal Series).
- PASVEER, A. New developments in the aplication of Kessener bruches (aeration rotors) in the activated sludge treatment of tradewaste waters. In: ISAAC, P.C.G. (ed.) Waste Treatment: proceedings of the second symposium on the treatment of waste waters. Oxford, Pergamon Press, 1960. p. 126-55.
- PASVEER, A. Developments in activated sludge treatment in the Netherlands. 1960. In: CONFERENCE ON BIOLOGICAL WASTE TREATMENT, Manhattan College, April, 20-22, 1960. (Report n<sup>o</sup> 34).
- PERA, A.F. Comunicação preliminar sobre um funcionamento de um valo de oxidação com perspectiva de reaproveitamento da água. Rev. DAE, São Paulo, 26 (59): 59-65, Dez. 1965.
- PESSOA, C.A. Valo de oxidação. In: Curso livre por correspondência sobre processos simplificados de tratamento de esgotos. São Paulo, CETESB, Faculdade de Saúde Pública da USP, 1973.
- PESSOA, C.A. & JORDÃO, E.P. Valo de oxidação. In: Tratamento de esgotos domésticos. São Paulo, CETESB, 1971. p. 297-314.
- PESSOA, C.A. & JORDÃO, E.P. Oxidação total. In: Tratamento de esgotos domésticos. São Paulo, CETESB, 1971. p. 231-58.

PORGES, R. et alii - Sewage treatment by extended aeration. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., Washington, 33 (12): 1260-6, Dec. 1961.

RIN, B.P. & NASCIMENTO, G.P.L. Método de dimensionamento de valos de oxidação para tratamento de esgotos domésticos. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, Rio de Janeiro, 1975 (mimeogr.).

RIZZO, O. & LIMA, L.C. Utilização de valo de oxidação como tratamento de esgotos de pequenas comunidades. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, Salvador, 1973. (mimeogr.).

WALKER, P.G. Rotor aeration of oxidation ditches. Water Sewage Works, Chicago, 109 (6): 238-41, jun. 1962.

WHEELER, R.W. A cost survey of oxidation ditches in the United States and Canada. Morgantown, West Virginia, s.c.p. 1967 (Problem submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of master of science in civil engineering to the Faculty of the Graduate School of West Virginia University).

ZEPPER, J. Valos de oxidação de grandes tamanhos "Carrousel". Trad. Bento Afini Júnior. Rev. DAE, São Paulo, 32 (87): 25-34, Set. 1972.