

Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP



TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS (LOB1225)

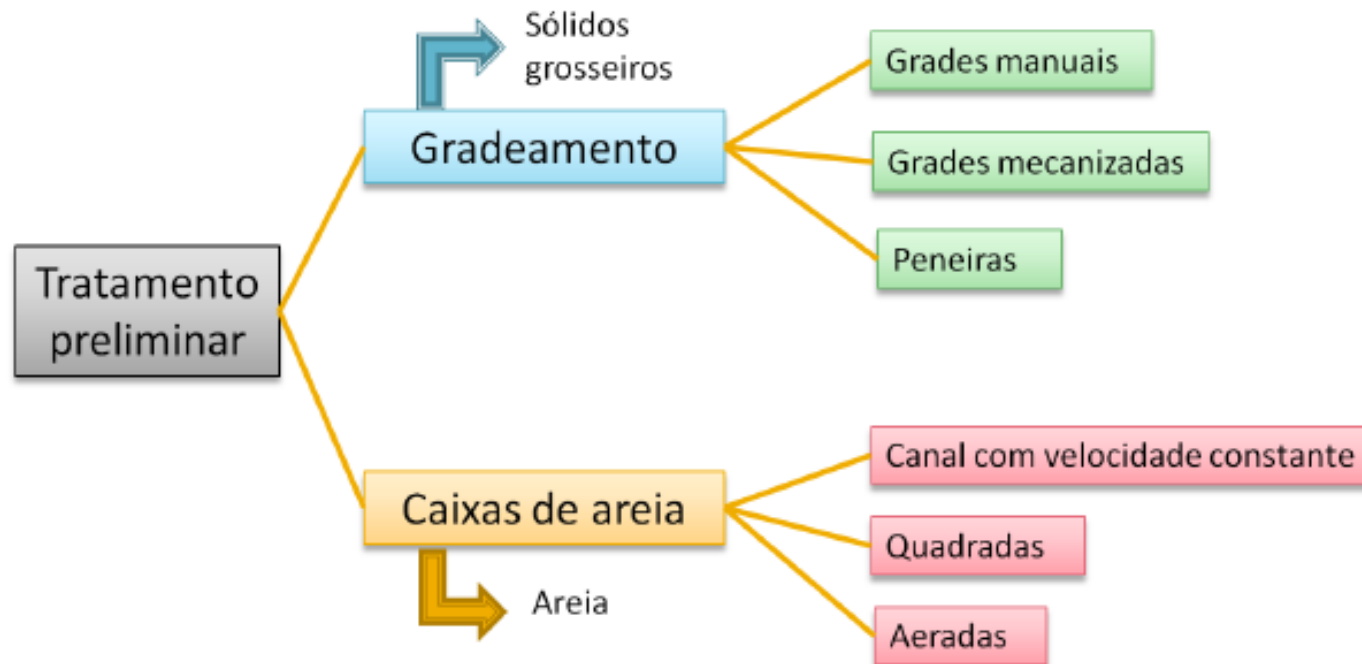
Aula 7

Tratamento preliminar de esgotos

Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes

Tratamento preliminar

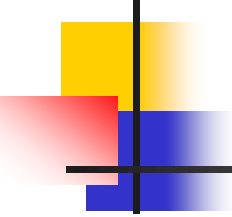
- Proteção às bombas, tubulações e unidades subsequentes do tratamento contra a presença de sólidos grosseiros e areia que compõem o afluente bruto



- Adicionalmente, a remoção de gordura também pode ser considerada como tratamento preliminar em uma ETE.

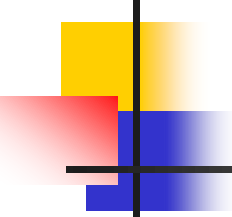
Gradeamento





Gradeamento

- Barras de ferro ou aço dispostas paralelamente
- Remoção de sólidos grosseiros
 - Presentes pelo uso inadequado do sistema de esgotamento sanitário
 - Função das condições socioeconômicas e do grau de conscientização da população
- Finalidade
 - Proteger tubulações, bombas, equipamentos da ETE
 - Proteger o corpo receptor
 - Remover parcialmente a carga poluidora afluente à ETE



Tipos de grades

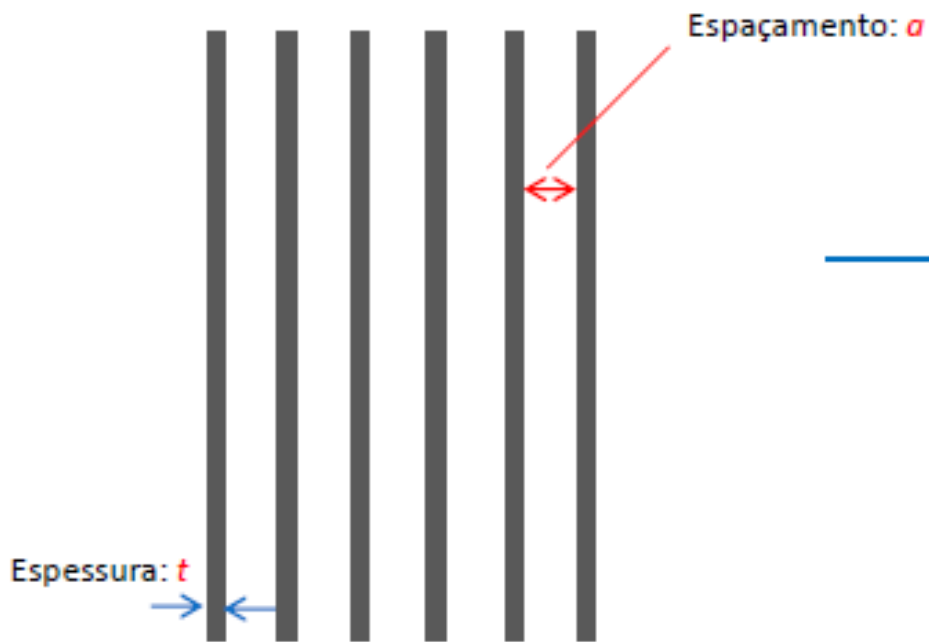
- Em função do espaçamento:

Tipo	Espaçamento (cm)
Grade grosseira	4 - 10
Grade média	2 - 4
Grade fina	1 - 2
Grade ultrafina ou <u>peneira</u>	0,3 - 1

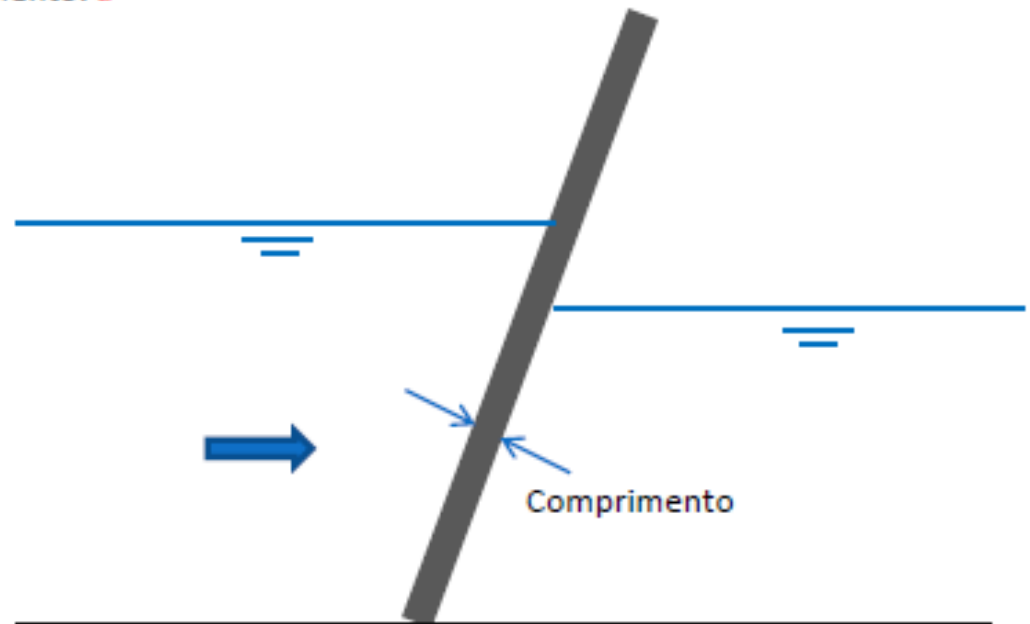
- Espessura das barras: 4 a 10 mm
- Comprimento das barras: 25 a 75 mm (estabilidade estrutural)

Espessura, espaçamento e comprimento

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



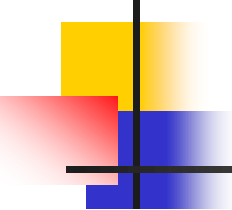
Material retido

Espaçamento (mm)	Retenção de sólidos grosseiros (L/1000 m ³)
12,5	50
20	38
25	23
35	12
40	9
50	6

Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

- Condicionamento
 - Lavagem
 - Secagem
 - Adição de químicos
- Destino: aterro ou incineração





Tipos de grades

- Em função da mecanização da limpeza:

Grades de
limpeza manual

Inclinação das barras:
45 a 60°

(facilita limpeza; maior comprimento)

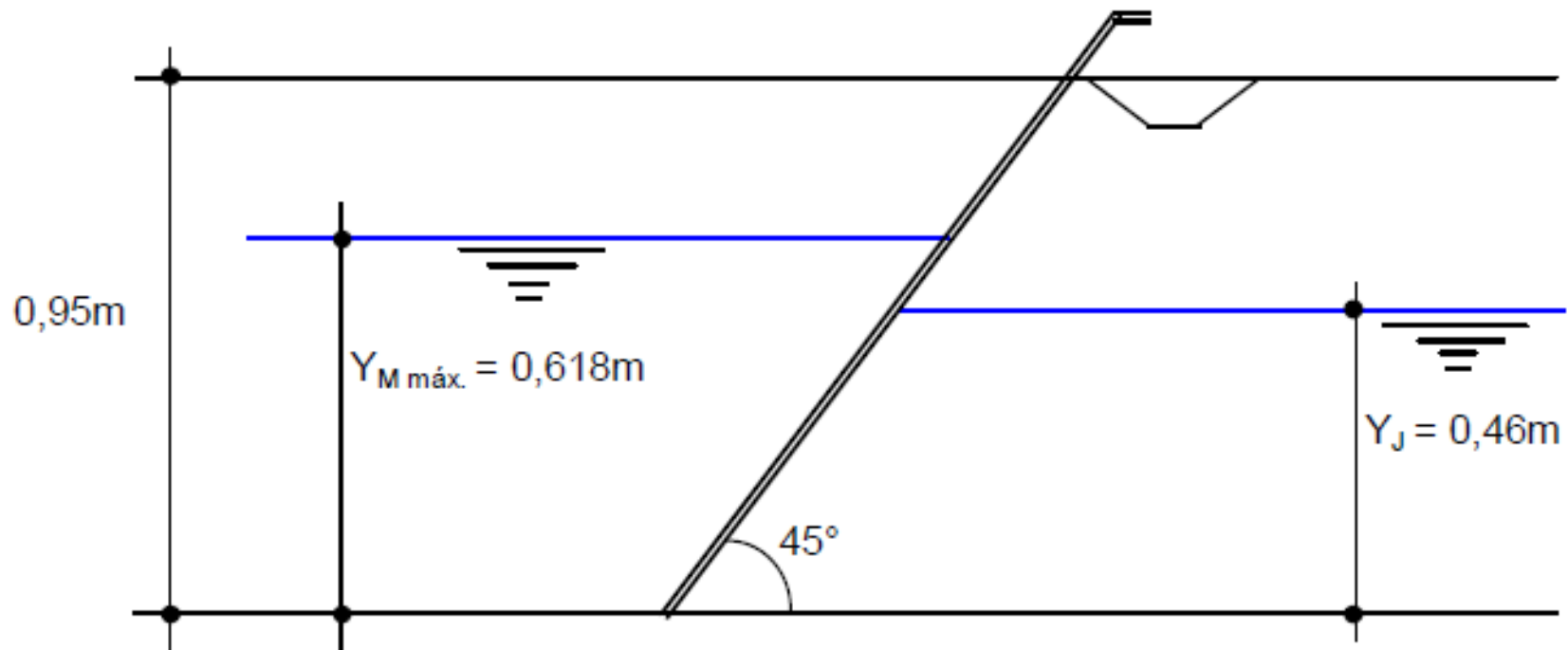
Grades
mecanizadas

Inclinação das barras:
70 a 90°

(Permite canais mais profundos)

Grades de limpeza manual

- Limpeza periódica de acordo com a necessidade, com uso de rastelos manuseados por um operador.
- Recomendado para até 100 L/s (NBR12209:2011)



Grades de limpeza manual



Grades de limpeza manual



Grades mecanizadas



Grades mecanizadas



ETE Piçarrão - Campinas

Grades mecanizadas



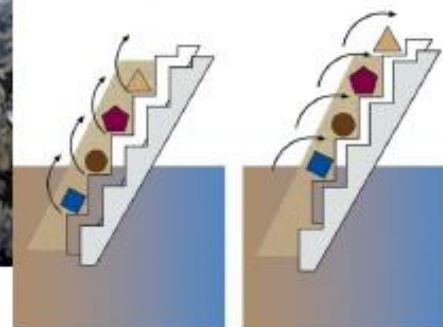
ETE Limoeiro (Presidente Prudente)

Grades mecanizadas



Grades mecanizadas

- Grades rolantes ou escalares

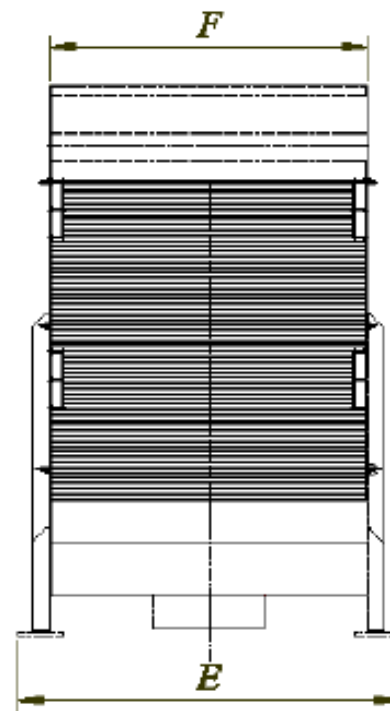
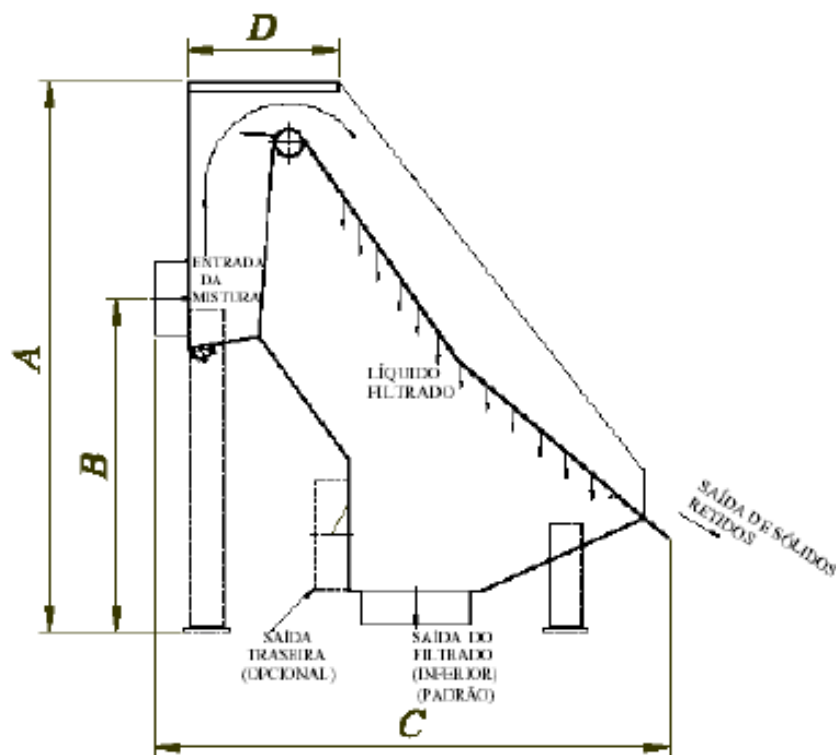


Fonte: <http://www.huber.de>

Peneiras ou grades ultrafinas

- Devem ser precedidas de grade
- Peneiras estáticas

Barras: aço inoxidável;
Espaçamento: 0,25-2,50 mm



Peneiras ou grades ultrafinas

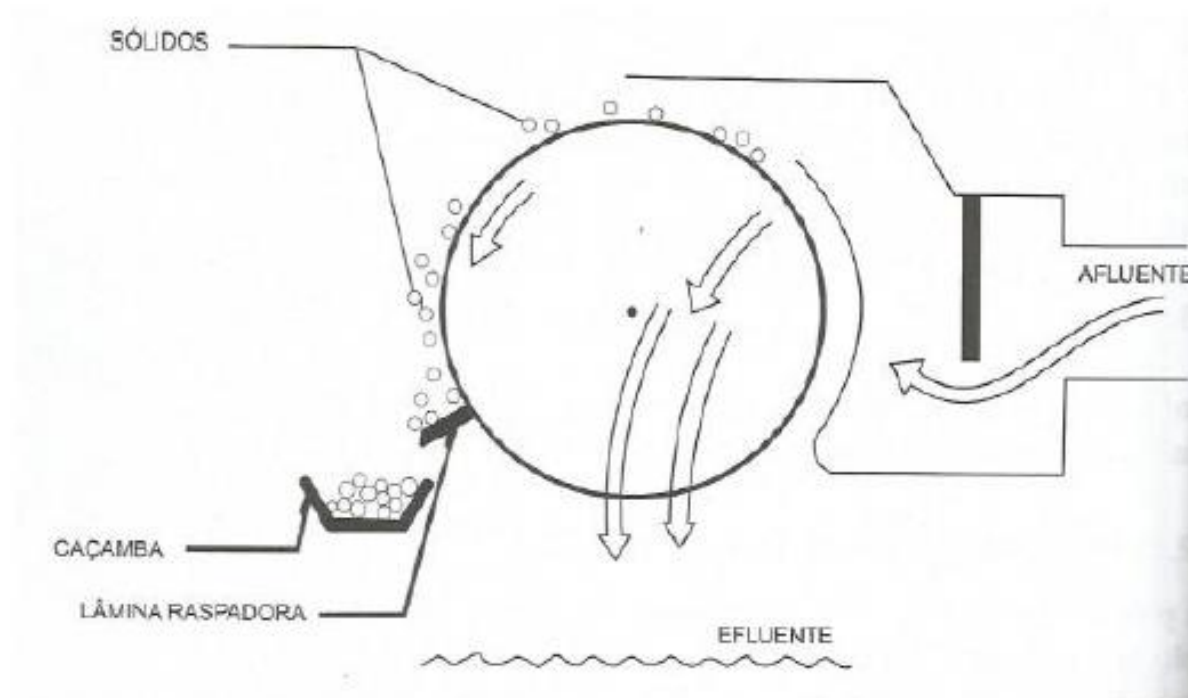
- Peneiras móveis

Tambores giratórios;
Velocidade: até 4 rpm.



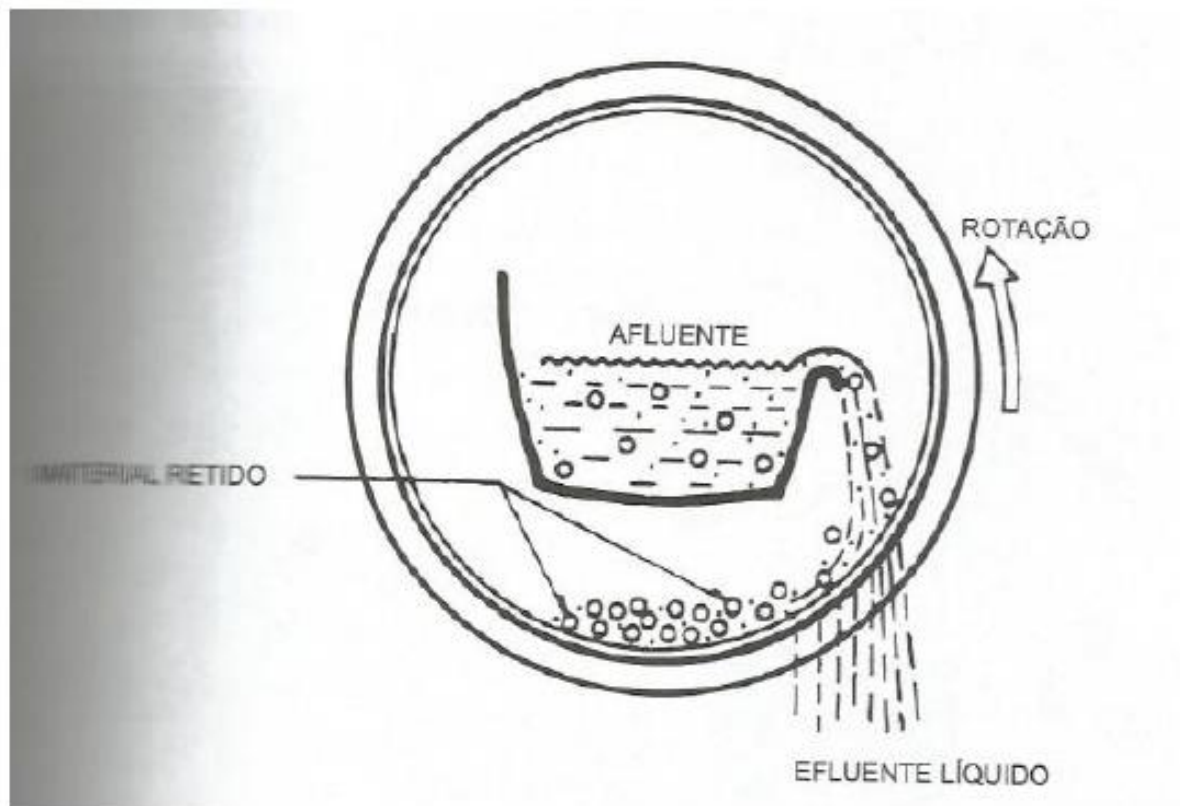
Peneiras ou grades ultrafinas

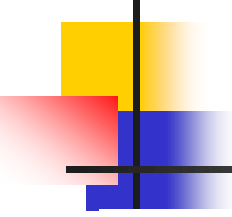
- Peneiras móveis de fluxo tangencial “Rotostrainer”



Peneiras ou grades ultrafinas

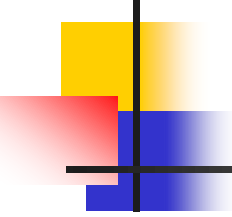
- Peneiras móveis de fluxo axial “Contrashear”





Dimensionamento das grades

- Velocidades de passagem na grade (v)
 - 0,6 a 1,2 m/s (limpeza mecanizada)
 - 0,6 a 0,9 m/s (limpeza manual)
 - NBR 12209:2011: menor que 1,2 m/s em todos os casos
 - Maior do que 0,4 m/s no canal a montante (aproximação, v_0)
- Dimensionamento do canal:
 - Definição do espaçamento (a) e da espessura (t) da grade
 - Cálculo da eficiência da grade
 - Adota-se uma velocidade de passagem na grade
 - Cálculo da área útil da grade
 - Com a altura da lâmina de água, cálculo da largura do canal
 - Verificações de v e v_0 para diferentes vazões



Dimensionamento das grades

- Eficiência da grade:

$$E = \left(\frac{a}{a + t} \right)$$

(porcentagem da área da grade correspondente às aberturas)

- Área do canal:

$$S = \frac{A_u}{E}$$

S = área da secção transversal do canal até o nível d'água

A_u = área útil da secção transversal

a = espaçamento entre as barras

t = espessura das barras

Dimensionamento das grades

- Exemplo:

Dados:

$Q_{\max} = 200 \text{ L/s}$

Grade: $a = 15 \text{ mm}$; $t = 5 \text{ mm}$

Conhecida lâmina a jusante da grade: 55 cm

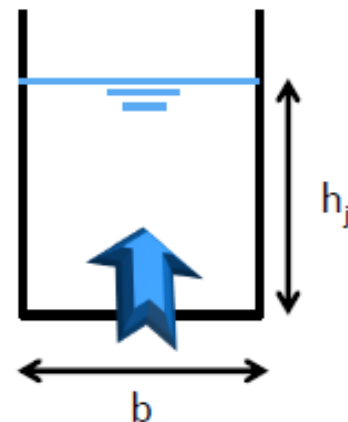
Adotar v (passagem) $= 0,8 \text{ m/s}$

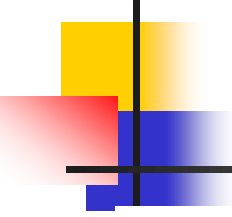
$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{15}{15 + 5} = 0,75$$

$$v = \frac{Q_{\max}}{A_u} \Rightarrow 0,8 = \frac{0,200}{A_u} \Rightarrow A_u = 0,25 \text{ m}^2$$

$$S = \frac{A_u}{E} = \frac{0,25}{0,75} = 0,33 \text{ m}^2$$

$$S = b \cdot h_j \Rightarrow b = \frac{0,33}{0,55} = 0,60 \text{ m}$$





Dimensionamento das grades

- Perda de carga na grade
 - Pode ser calculada de maneira simplificada por: (existem outras formas)

$$\Delta H = 1,43 \cdot \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot g} \right)$$

v = velocidade de passagem (m/s)
 v_0 = velocidade de aproximação (m/s)

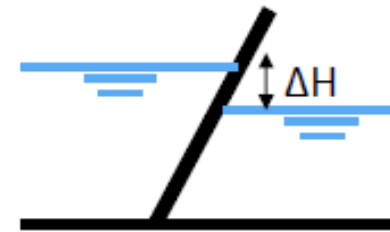
- NBR 12209:2011: perda de carga mínima a ser considerada:
 - 0,15 m para limpeza manual
 - 0,10 m para grades mecanizadas
 - Para grades de limpeza manual: máximo de 50% de obstrução

Dimensionamento das grades

- Exemplo

- A partir do exemplo anterior:

$$v_0 = \frac{Q_{\max}}{S} = \frac{0,200}{0,33} = 0,61 \text{ m/s}$$



- Grade limpa:

$$\Delta H = 1,43 \cdot \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot g} \right) = 1,43 \cdot \left(\frac{0,8^2 - 0,61^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,02 \text{ m}$$

Considerar 0,15 m

- Grade 50% obstruída: dobro da velocidade de passagem

$$\Delta H = 1,43 \cdot \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot g} \right) = 1,43 \cdot \left(\frac{(2 \cdot 0,8)^2 - 0,61^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,16 \text{ m}$$

Remoção de areia



Remoção de areia

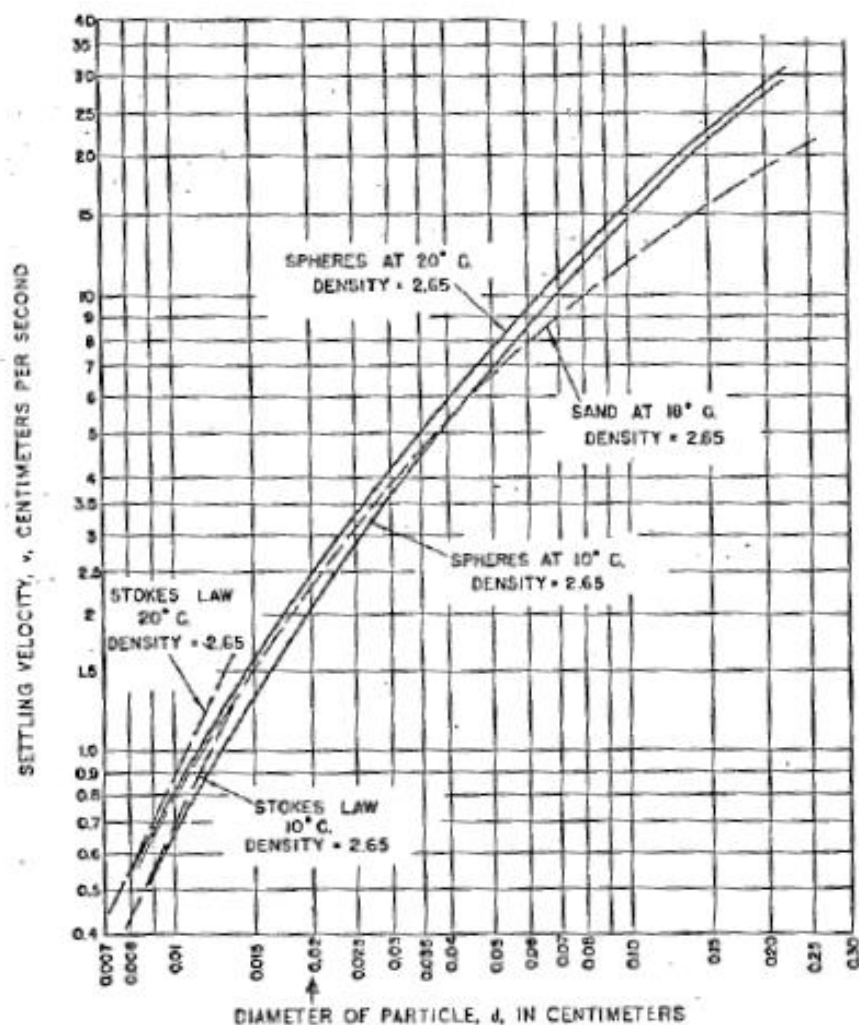
Caixas de areia/desarenadores

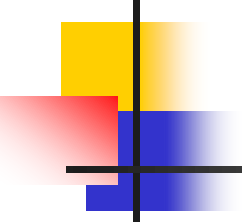
- Função:
 - Evitar o transporte deste material para as unidades subsequentes
 - Proteção a bombas e equipamentos
 - Proteção contra assoreamento de unidades
 - Devem ser dimensionadas de forma a reter somente areia, e não sólidos orgânicos sedimentáveis



Lei de Stokes

- Areia removida
 - Diâmetro efetivo:
 - 0,2 a 0,4 mm
 - Massa específica:
 - 2650 kg/m^3
 - Velocidade de sedimentação:
 - $2,0 \text{ cm/s}$



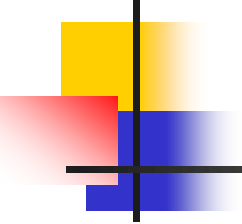


Remoção de areia

Caixas de areia/desarenadores

■ Características:

- Retenção de areia com características, quali e quantitativamente, indesejáveis ao corpo receptor;
- Armazenamento do material retido durante o período entre limpezas;
- Remoção e transferência do material retido e armazenado para dispositivos de transporte para destino final.

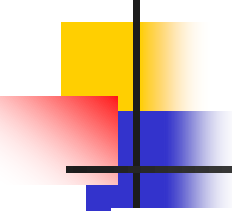


Remoção de areia

Caixas de areia/desarenadores

■ Tipos:

- De acordo com a forma: prismática (seção retangular ou quadrada) ou cilíndrica (seção circular);
- De acordo com a separação sólido-líquido: gravidade (natural e acelerada) e centrifugação (centrífuga ou vortex);
- De acordo com a remoção: manual, ciclone separador e mecanizada (raspador, bombas centrífugas, parafuso, *air lift*, caçambas transportadoras, etc.);
- De acordo com o fundo: plano (prismática com poço), inclinada (prismática aerada) e cônico (vortex).



Caixas de areia/desarenadores

- Dispositivos manuais ou mecânicos
- 30 a 40 L de areia removida/1000 m³ de esgoto tratado
- Destino: aterro sanitário ou lavagem da areia
- **Tipos de caixas de areia**
 - Tipo canal com velocidade constante controlada por calha Parshall
 - Seção quadrada em planta, com remoção mecanizada da areia
 - Caixa de areia aerada

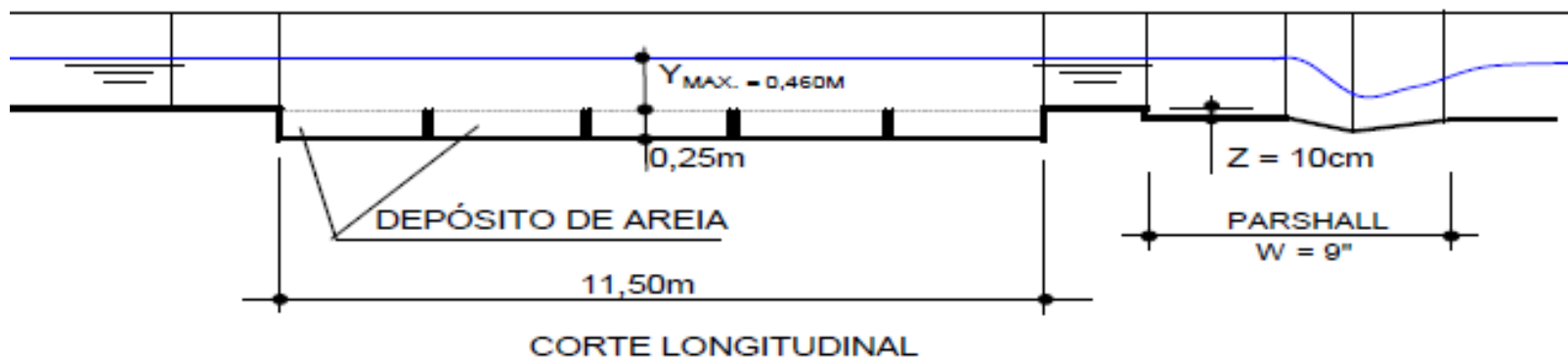
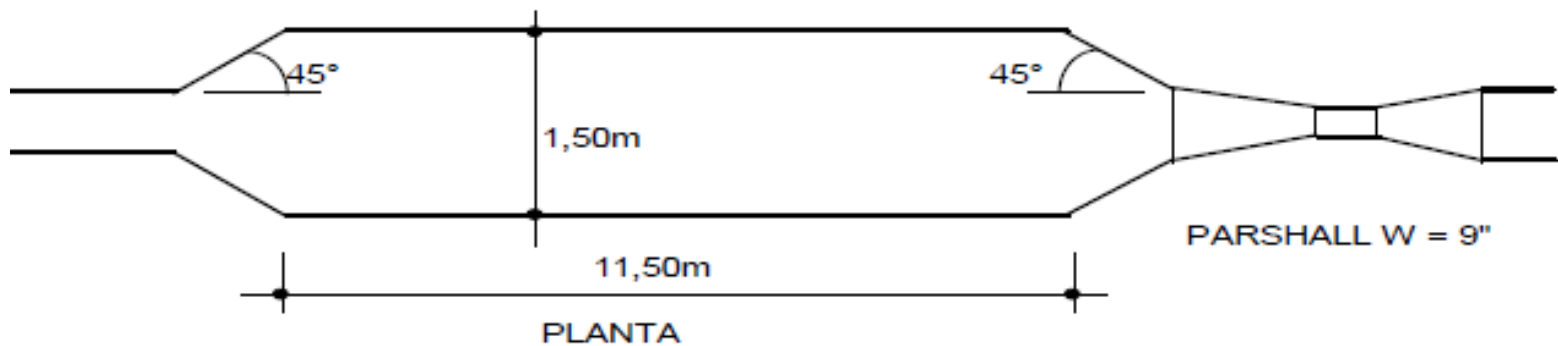
Caixas de areia/desarenadores

- Tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

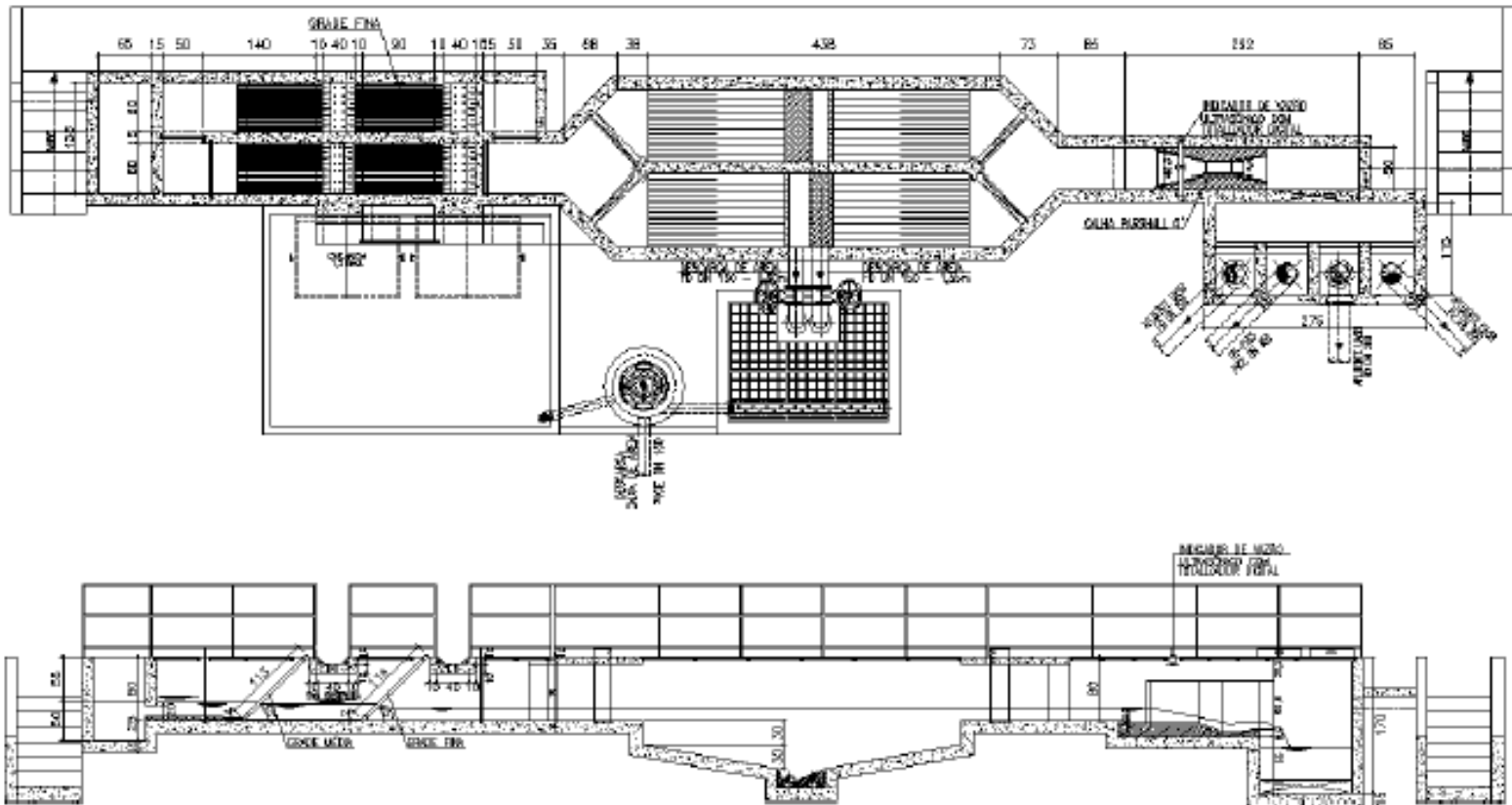


Caixas de areia/desarenadores

- Tipo canal com velocidade constante e calha Parshall



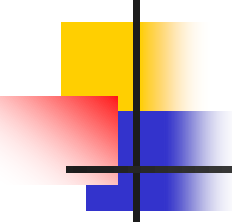
- Tipo canal com velocidade constante e calha Parshall



Calhas Parshall

- Medição de vazão e controle da velocidade do canal da caixa de areia





Calhas Parshall

$$Q = K \cdot h^n$$

Q (m³/s)
 h (m)

Largura Nominal	n	K	Capacidade (L/s)	
			Mín.	Máx.
3"	1,547	0,176	0,85	53,8
6"	1,580	0,381	1,52	110,4
9"	1,530	0,535	2,55	251,9
1'	1,522	0,690	3,11	455,6
1 1/2'	1,538	1,054	4,25	696,2
2'	1,550	1,426	11,89	936,7

Caixa de areia/desarenadores

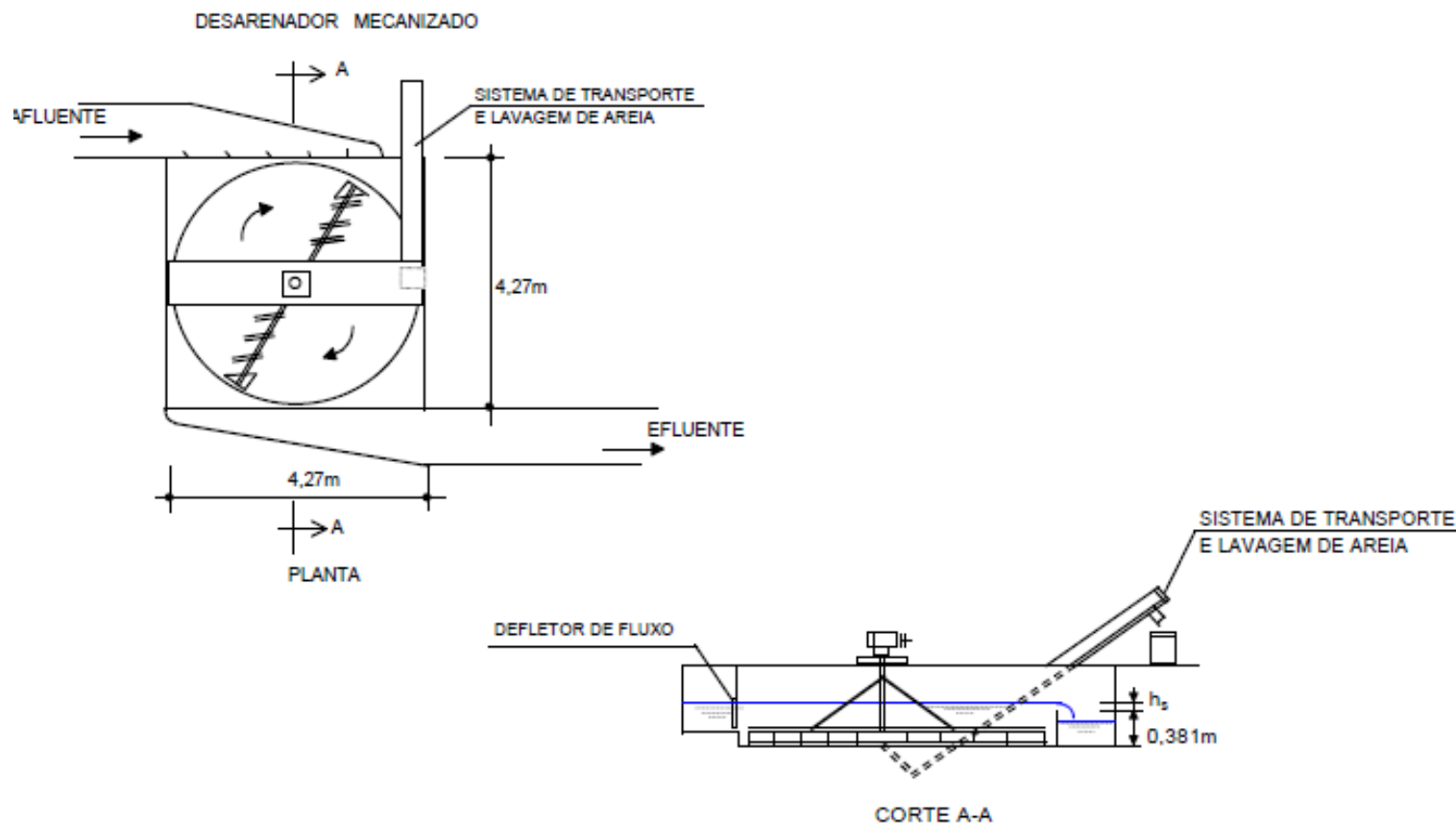
- Caixas de areia quadradas



ETE Piçarrão (Campinas)

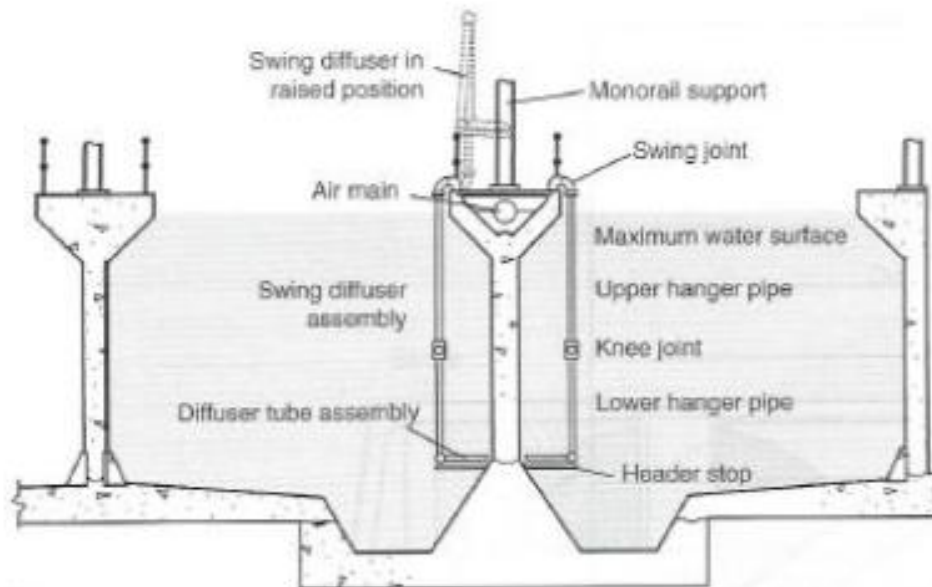
Caixa de areia/desarenadores

- Caixas de areia quadradas

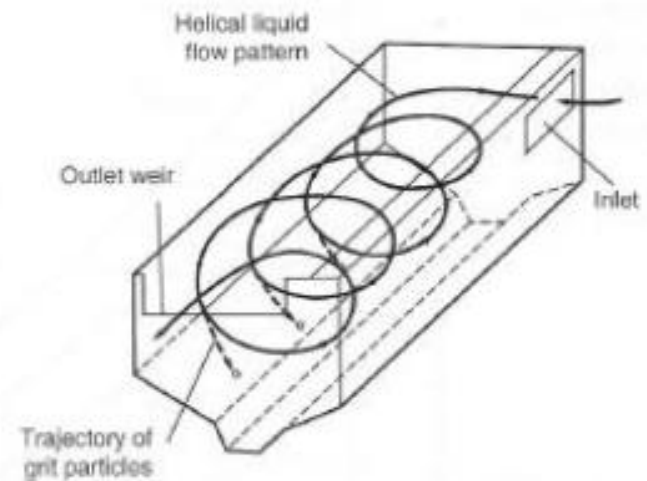


Caixa de areia/desarenadores

- Caixas de areia aeradas



(a)



(b)

Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

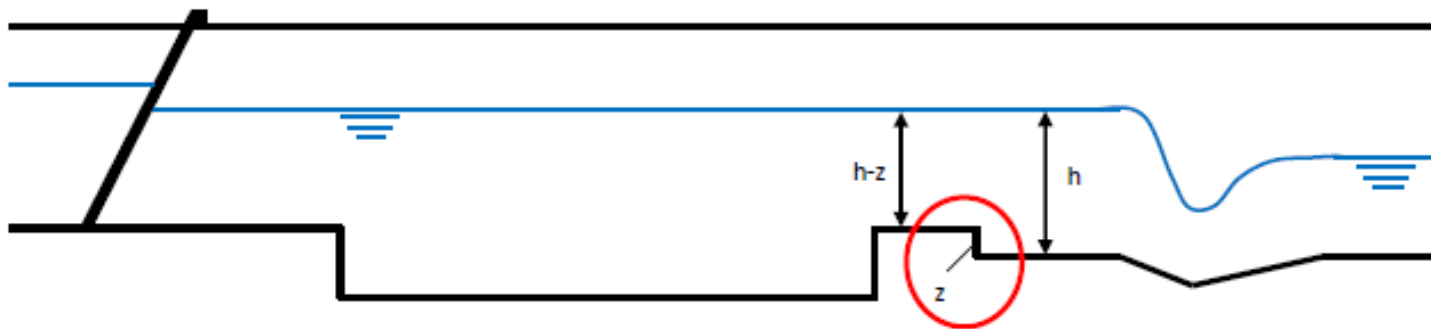
- Velocidade (v_h) $\cong 0,30$ m/s
 - Inferior a 0,15 m/s: sedimentação de matéria orgânica
 - Superior a 0,4 m/s: arraste de areia sedimentada

Velocidade mantida constante: Calha Parshall a jusante

Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

- Rebaixo “z”: localizado a montante da calha Parshall e a jusante da caixa de areia, é calculado de tal maneira que mantenha a velocidade constante no canal com a variação de vazões



$$Z = \frac{Q_{\max} \times h_{\min} - Q_{\min} \times h_{\max}}{Q_{\max} - Q_{\min}}$$

Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

- Exemplo: cálculo do rebaixo “z”

- Escolha da calha Parshall:

Dados:

$$Q_{\min} = 50 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{med}} = 100 \text{ L/s}$$

$$Q_{\max} = 180 \text{ L/s}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\min} = 50 \text{ L/s} \\ Q_{\max} = 180 \text{ L/s} \end{array} \right\} \text{ Da tabela: LN} = 9'' \Rightarrow n = 1,530 ; K = 0,535$$

Equação da calha Parshall: $Q = 0,535 \cdot h^{1,530}$

$$\text{Para } Q_{\max}: 0,18 = 0,535 \cdot h_{\max}^{1,530} \Rightarrow h_{\max} = 0,49 \text{ m}$$

$$\text{Para } Q_{\min}: 0,05 = 0,535 \cdot h_{\min}^{1,530} \Rightarrow h_{\min} = 0,21 \text{ m}$$

$$Z = \frac{Q_{\max} \times h_{\min} - Q_{\min} \times h_{\max}}{Q_{\max} - Q_{\min}} = \frac{0,18 \cdot 0,21 - 0,05 \cdot 0,49}{0,18 - 0,05} = 0,10 \text{ m}$$

Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

- Largura e comprimento calculados para $Q_{\max}$
- Largura da caixa de areia:
 - Com $(h-z)$ e fixando-se v_h em 0,3 m/s:

$$Q_{\max} = v_h \cdot b \cdot (h - z) \Rightarrow b = \frac{Q_{\max}}{(h - z) \cdot v_h}$$

- No exemplo anterior:

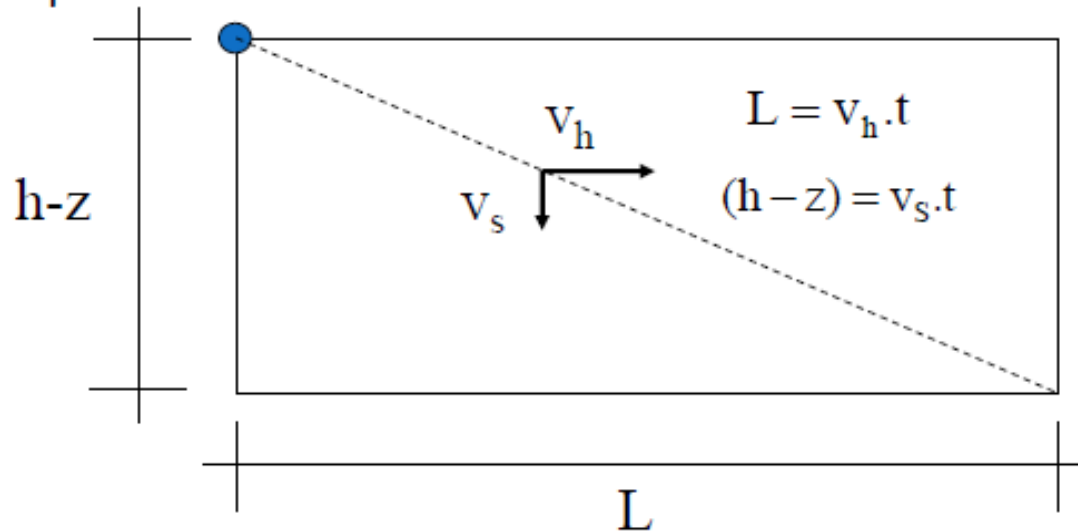
$$b = \frac{Q_{\max}}{(h - z) \cdot v_h} = \frac{0,18}{(0,49 - 0,10) \cdot 0,3} = 1,54 \text{ m}$$

$$\text{Verificação para } Q_{\min}: v_h = \frac{Q_{\min}}{A_{\min}} = \frac{Q_{\min}}{b \cdot (h_{\min} - z)} = \frac{0,05}{1,54 \cdot (0,21 - 0,10)} = 0,30 \text{ m/s}$$

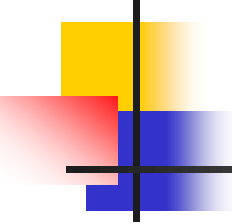
Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

- Comprimento da caixa de areia:



$$v_s = \frac{v_h \cdot (h-z)}{L} \left\{ \begin{array}{l} v_s = 0,02 \text{ m/s} \\ v_h = 0,3 \text{ m/s} \end{array} \right. \Rightarrow L = 15 \cdot (h-z) \quad (\text{multiplica-se pelo coeficiente de segurança de 1,5})$$
$$\Rightarrow L = 22,5 \cdot (h-z)$$



Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

- Continuando o exemplo anterior: (usando $Q_{\max}$)

$$L = 22,5 \cdot (h_{\max} - z) = 22,5 \cdot (0,49 - 0,10) = 8,8 \text{ m}$$

- NBR12209:2011: taxa de escoamento superficial

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{Q}{b \cdot L} = 600 \text{ a } 1300 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Área superficial (planta)

- Verificando no exemplo:

$$q = \frac{Q_{\max}}{A_s} = \frac{Q_{\max}}{b \cdot L} = \frac{0,18 \cdot 86400}{1,54 \cdot 8,8} = 1148 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Dimensionamento

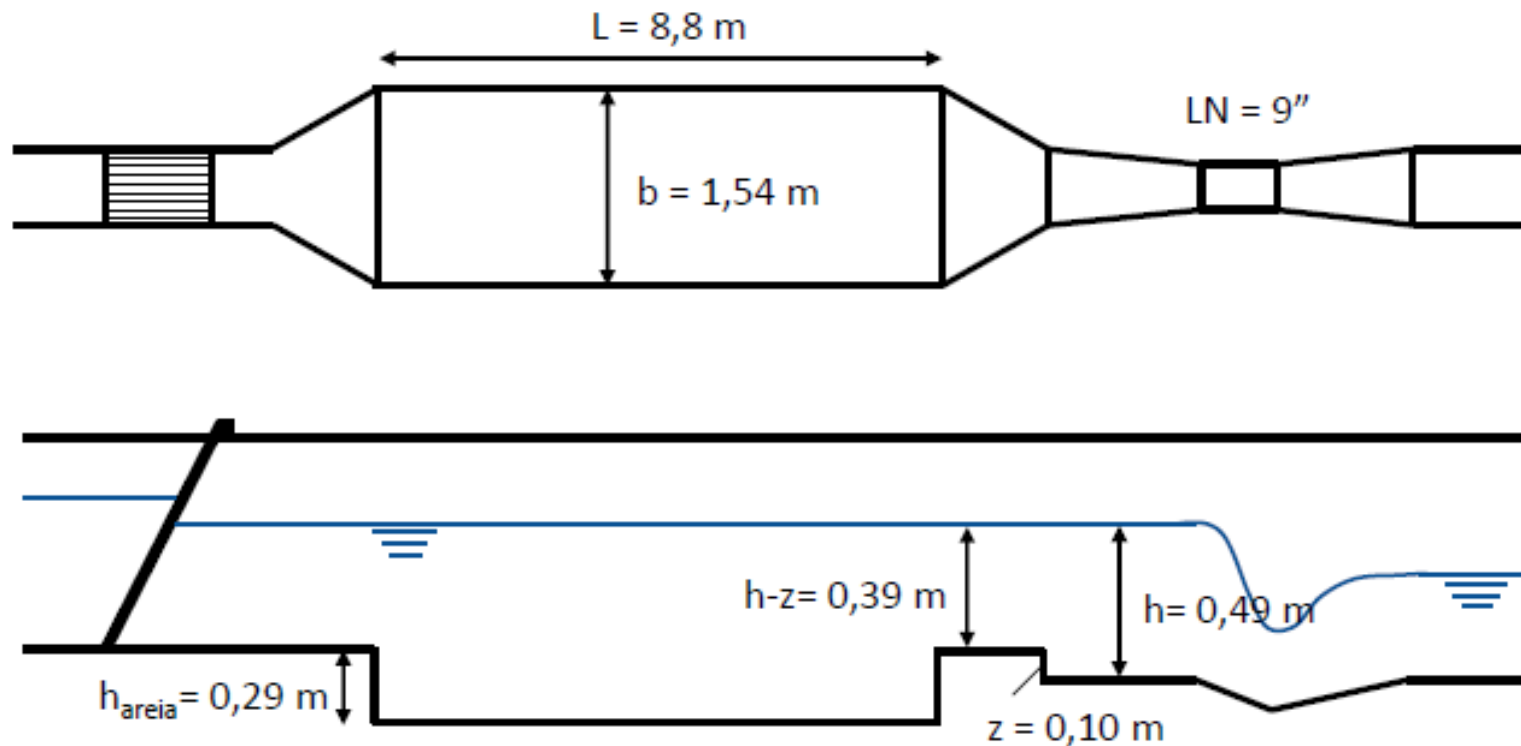
Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

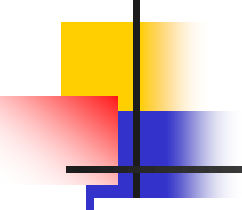
- Profundidade do compartimento para armazenamento da areia
 - Função da quantidade de areia removida, considerando Q_{med} , e da periodicidade de limpeza da caixa de areia
 - 30 a 40 L de areia removida/1000 m³ de esgoto tratado
 - NBR12209:2011: mínimo de 0,20 m
- No exemplo
 - Adotando-se 30 L areia removida/1000 m³ de esgoto tratado
 - Em um dia: $0,100 \cdot 86400 \cdot \frac{30}{1000} = 259,2 \text{ L areia}$
 - Considerando limpeza a cada 15 dias: $15 \cdot 259,2 = 3888 \text{ L} = 3,9 \text{ m}^3$
 - Profundidade do compartimento: $h_{areia} = \frac{3,9}{b \cdot L} = \frac{3,9}{1,54 \cdot 8,8} = 0,29 \text{ m}$

Dimensionamento

Caixa de areia tipo canal com velocidade constante e calha Parshall

- Visão geral para $Q_{\max}$





Roteiro: grade + caixa de areia + calha Parshall

- Sequência de passos no dimensionamento:
 - Escolha da calha Parshall;
 - Cálculo das lâminas líquidas a partir da equação da calha;
 - Cálculo do rebaixo “z” a montante da calha Parshall ;
 - Determinação da largura e comprimento da caixa de areia com $Q_{\max}$;
 - Verificações de velocidades e taxas de escoamento superficial para a caixa de areia;
 - Determinação da profundidade do compartimento para depósito de areia e intervalo de limpeza;
 - Definição das características da grade;
 - Cálculo das dimensões do canal da grade e número de barras;
 - Verificação de velocidades;
 - Verificação de perdas de carga e determinação da lâmina líquida a montante da grade.

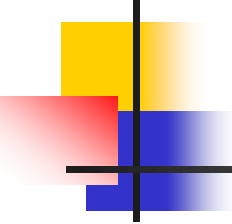
Remoção de gordura



Óleos e graxas

- Presença no esgoto
 - Resíduos de cozinha:
 - Manteigas, óleos vegetais, gorduras etc.
 - Cosméticos
 - Postos de serviço e garagens
 - Combustíveis, lubrificantes
 - Atividade industrial
- Necessidade de remoção
 - Formação de espuma
 - Obstrução de coletores
 - Aderência em paredes e peças
 - Poluição do corpo receptor



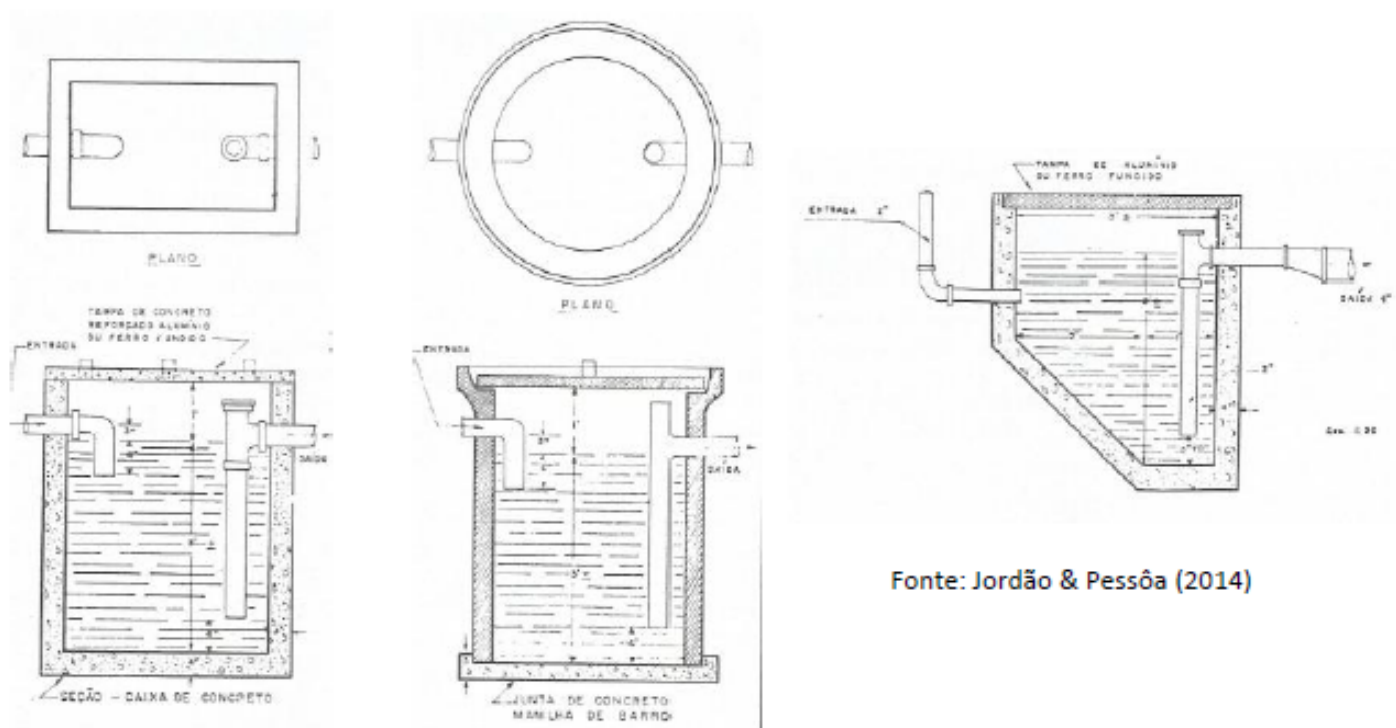


Formas de remoção de gorduras

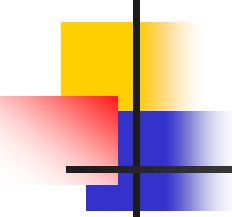
- Caixas de gordura domiciliares
- Caixas de gordura coletivas
- Remoção de gordura em decantadores
- Tanques aerados por ar comprimido
- Flotação por Ar Dissolvido (FAD)

Caixa de gordura

- Vários modelos e vários fabricantes
- Retenção do líquido por tempo suficiente para separação da gordura
- Limpezas periódicas são necessárias



Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

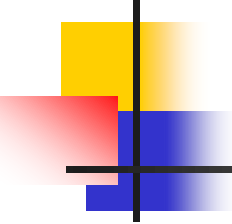


Caixa de gordura

- Área da caixa de gordura:

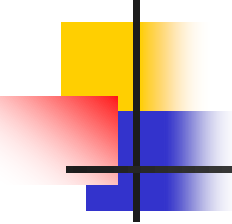
$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{\text{vazão } (\frac{\text{m}^3}{\text{h}})}{\text{velocidade mínima de ascensão } (\frac{\text{m}}{\text{h}})}$$

- Destinos da gordura: enterrada ou reaproveitada para a fabricação de sabões e detergentes;
- Gorduras de instalações prediais são mais impuras do que gorduras de instalações industriais (matadouros, curtumes, outras indústrias alimentícias).



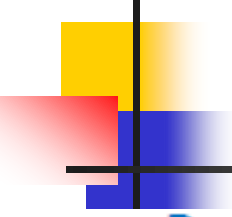
Tanques aerados com ar comprimido

- Aumentar a eficiência de remoção de óleo, por insuflação de ar no tanque de retenção;
- Dimensionamento: mesmas diretrizes da caixa de gordura (área superficial em função da velocidade ascensional);
- Entrada do ar: fundo do tanque ($4,2 \text{ m}^3 \text{ ar/m}^3$ afluyente) por tubos perfurados ou difusores ao longo do tanque;



Tanques aerados com ar comprimido

- Aumentar a eficiência de remoção de óleo, por insuflação de ar no tanque de retenção;
- Dimensionamento: mesmas diretrizes da caixa de gordura (área superficial em função da velocidade ascensional);
- Entrada do ar: fundo do tanque ($4,2 \text{ m}^3 \text{ ar/m}^3$ afluyente) por tubos perfurados ou difusores ao longo do tanque;
- Tanque: 3 seções paralelas (duas para câmara de tranquilização e uma de agitação).

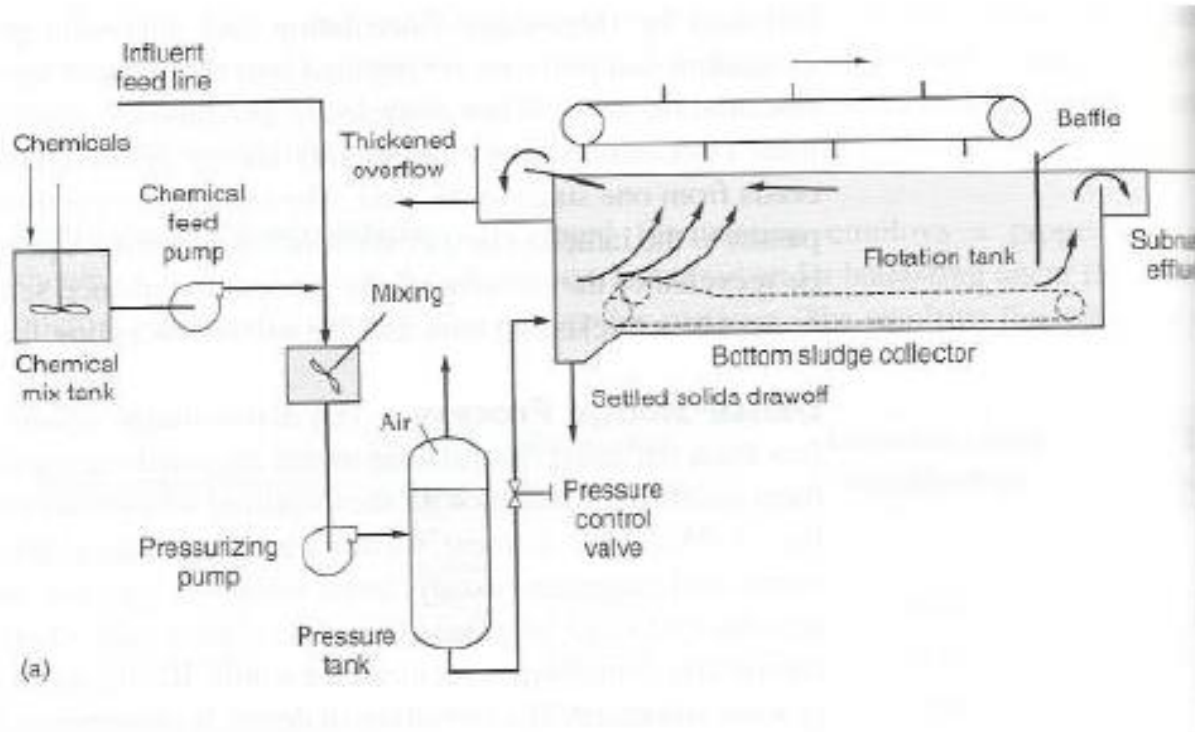


Flotação por ar dissolvido (FAD)

- **Pressurização** de parcela ou do total da vazão de esgoto em tanque de pressurização
- Ao entrar no tanque de flotação, o ar é exposto à pressão atmosférica, arrastando o material em suspensão para a superfície
- O material flutuante é coletado por braço raspador
- Podem ser adicionados reagentes para melhor desempenho do processo: sais de ferro e alumínio, ou polímeros
- O processo pode ser utilizado para:
 - Para remoção de material flutuante;
 - Como substituição do decantador secundário;
 - Como etapa de tratamento físico-químico;
 - Como pós-tratamento de reator UASB;
 - Para adensamento de lodo em excesso.

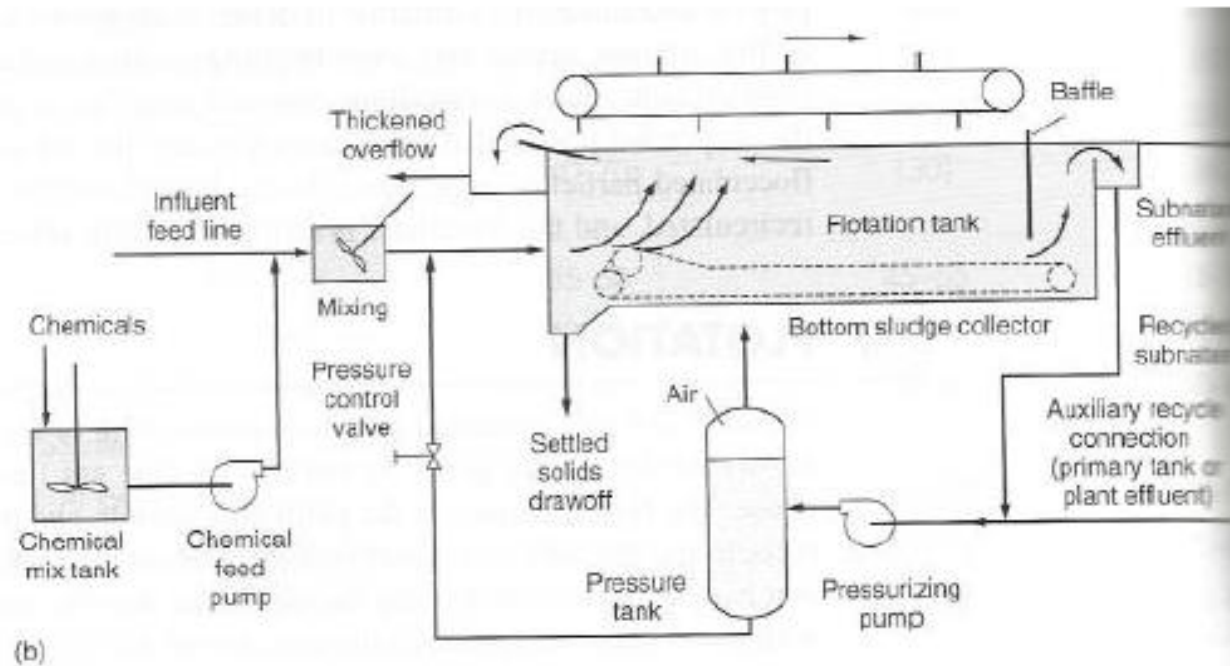
Flotação por ar dissolvido (FAD)

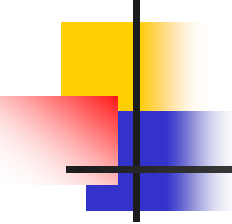
- Com toda a vazão pressurizada



Flotação por ar dissolvido (FAD)

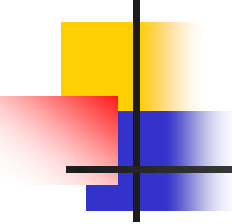
- Com recirculação e pressurização de parcela da vazão





Bibliografia

- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 4ª ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.
- PIVELI, R.P.; SOUZA, T.S.O. **Tratamento preliminar**. Aula 2 – Disciplina Tratamento de Esgotamento Sanitário (PHA 3413). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.



Bibliografia

- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.