

Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP



TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS (LOB1225)

Aula 8

Tratamento primário de esgotos

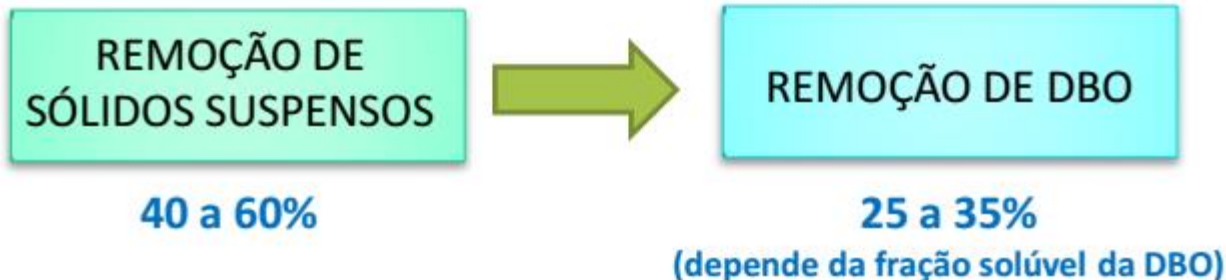
Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes

Decantadores primários

- Remoção de sólidos sedimentáveis;
- Ação da gravidade;
- Condições tranquilas de escoamento;
- Preparação do esgoto para unidades subsequentes, dependendo da tecnologia utilizada;
- Reduz a carga de SS e de DBO enviada às outras unidades

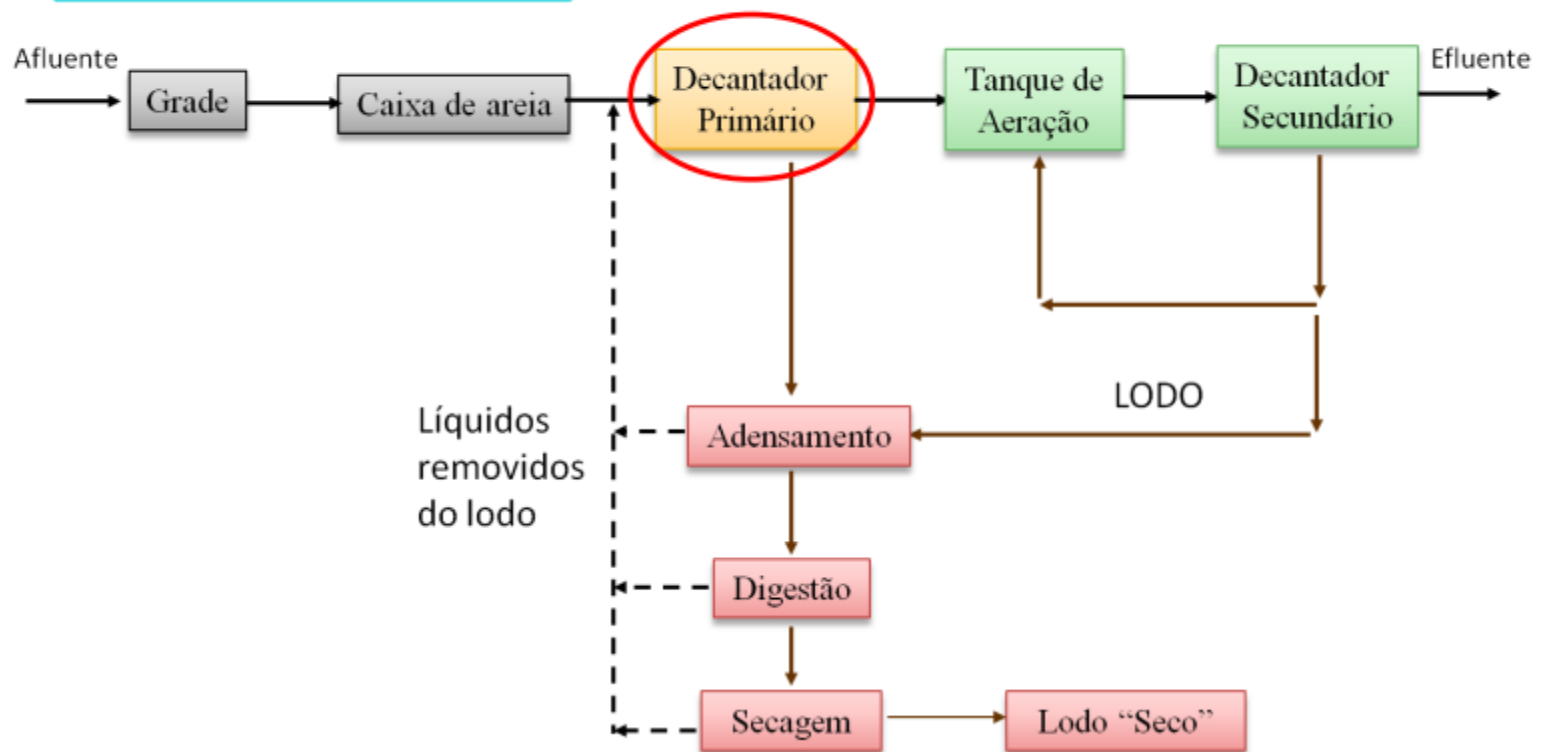


ETE ABC



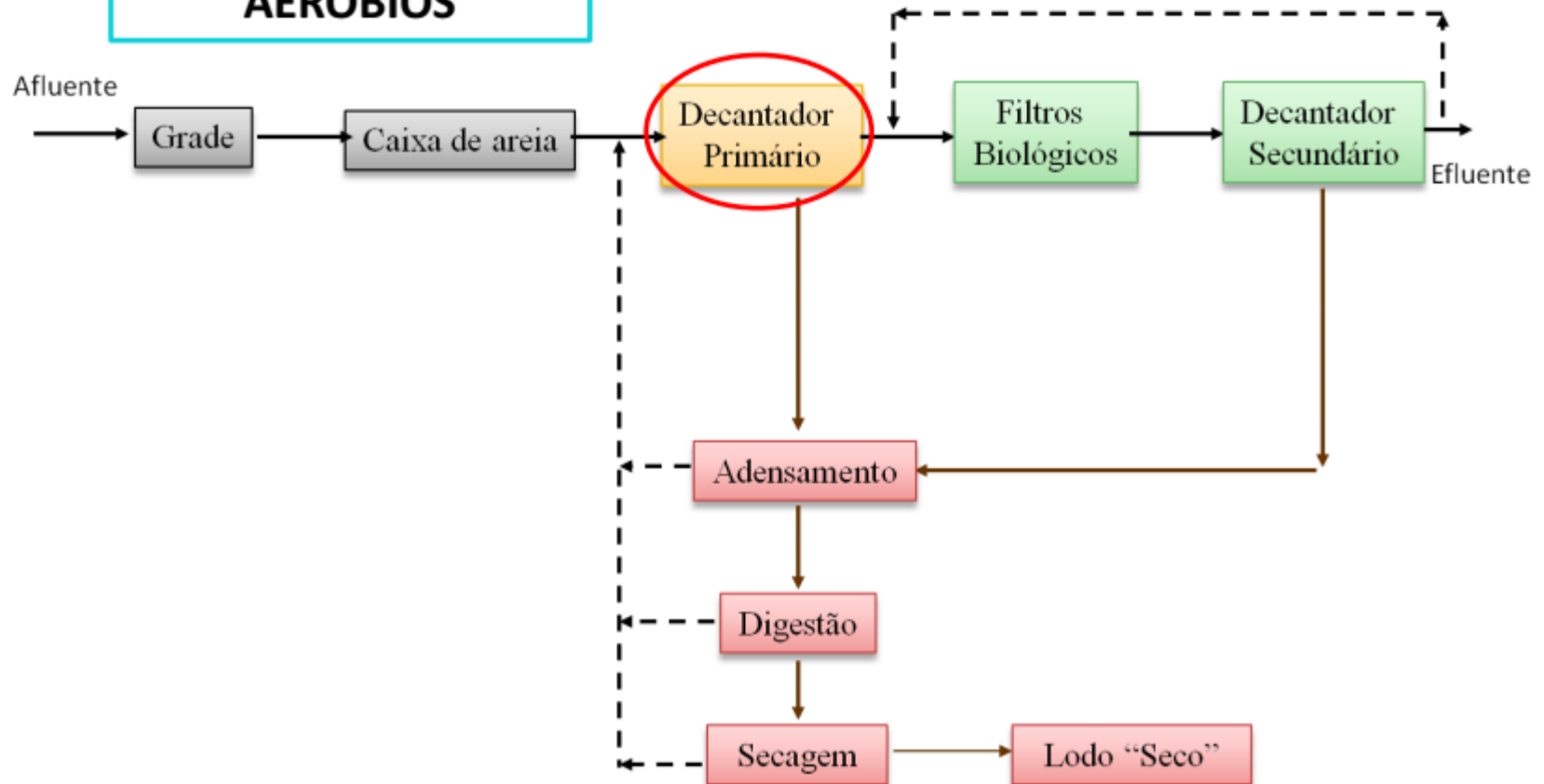
Tratamento primário

LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL

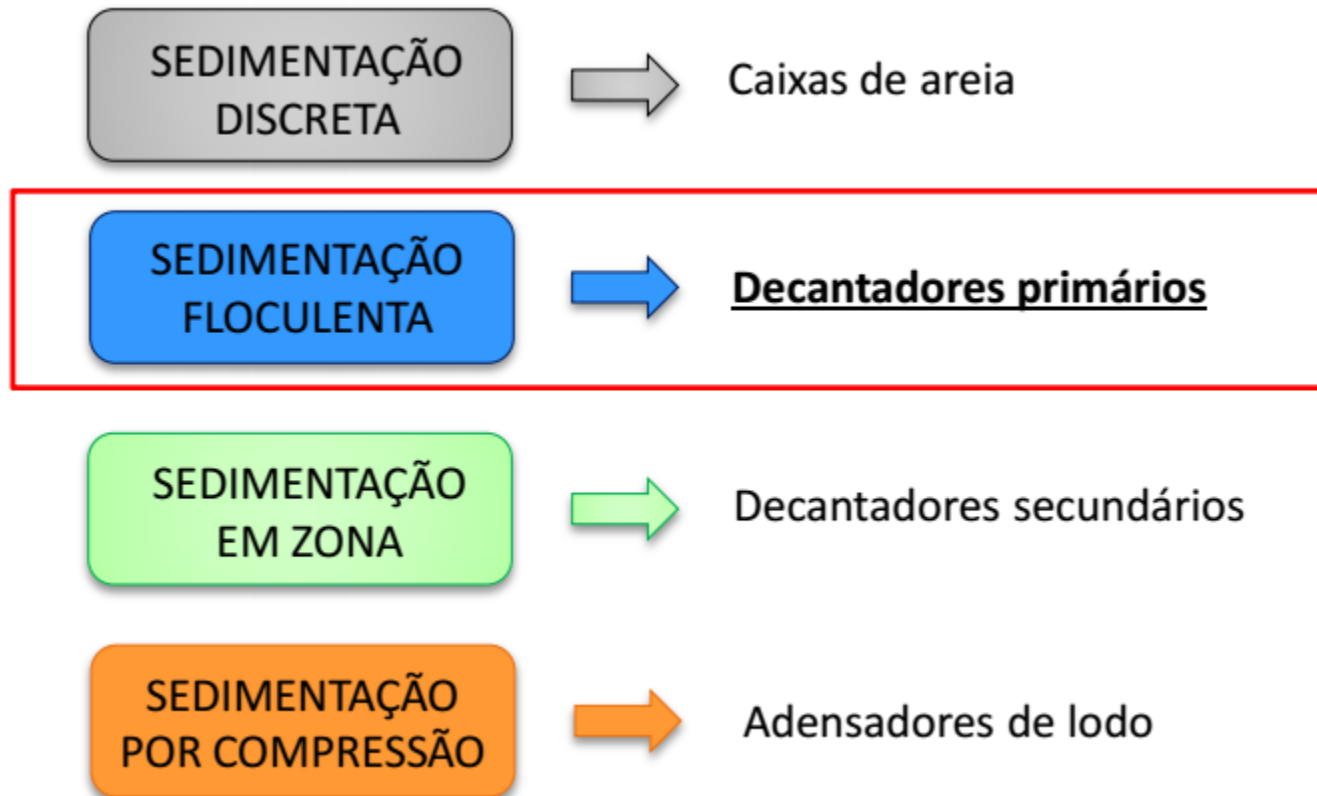


Tratamento primário

FILTROS BIOLÓGICOS AERÓBIOS

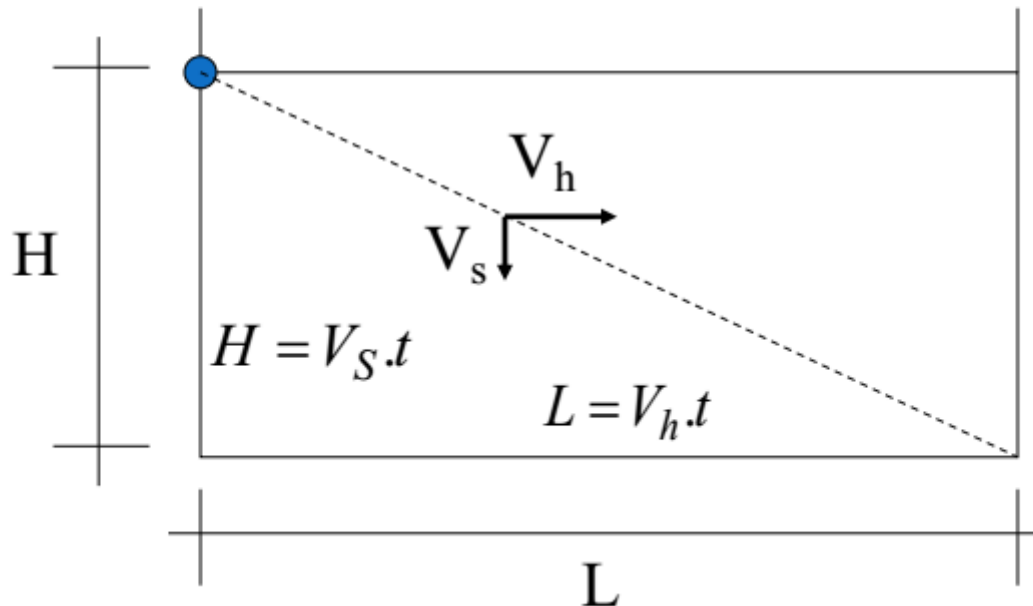


Tratamento primário



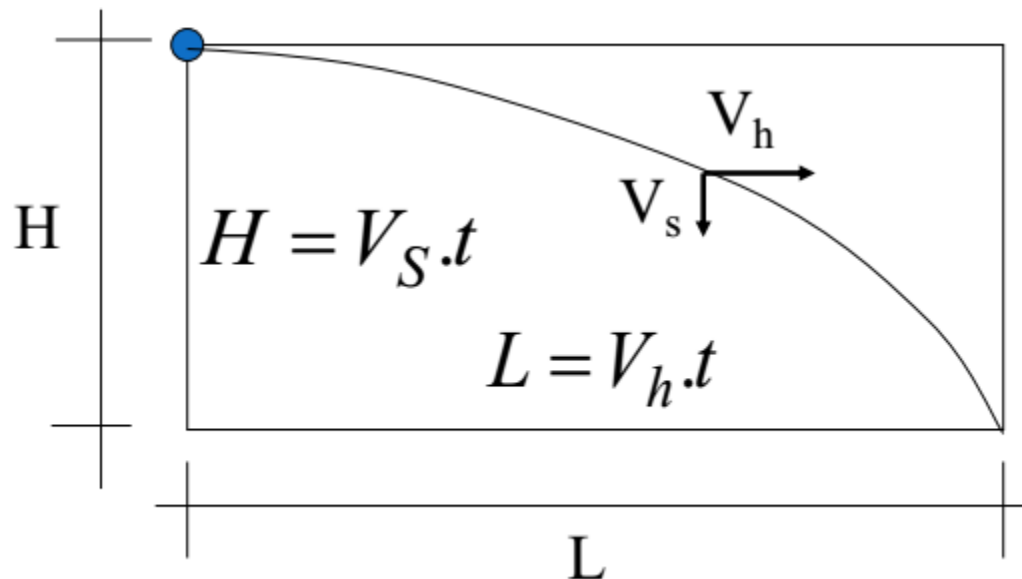
Sedimentação discreta

- Partícula individual: mantém forma, volume e peso inalterados
- Velocidade de sedimentação é constante
- Cálculo simplificado
- É a sedimentação considerada em caixas de areia/desarenadores



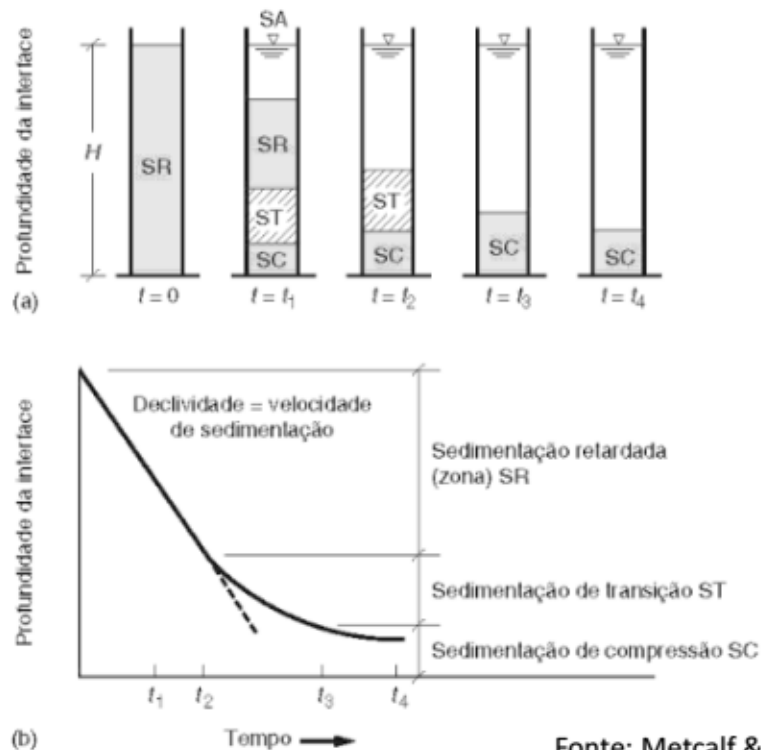
Sedimentação floculenta

- Partículas floculentas em pequena concentração
- Conforme ocorre a floculação, a velocidade das partículas aumenta
- Modelação mais complexa do que para sedimentação discreta
- É a sedimentação considerada em decantadores primários



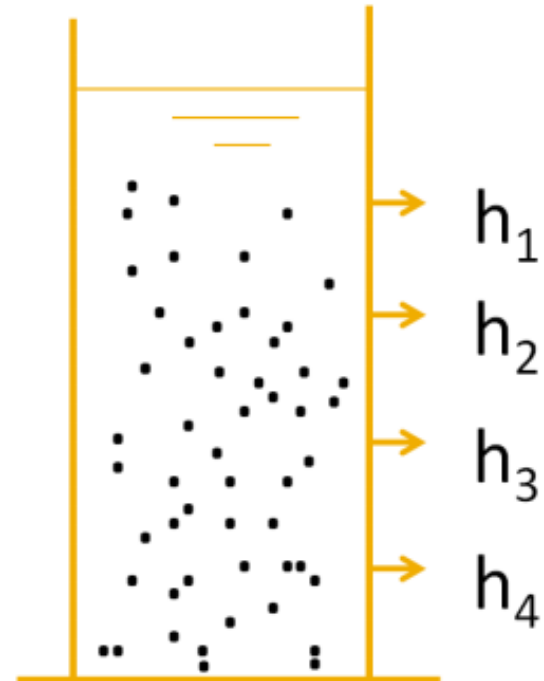
Sedimentação em zona e por compressão

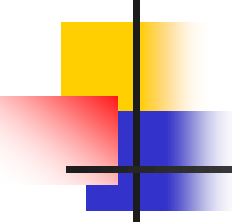
- Partículas em altas concentrações sedimentam como massa única
- Ocorre compactação da massa sedimentada
- Decantadores secundários e adensadores de lodo



Ensaio de sedimentação

- Necessário para os casos em que o fenômeno de sedimentação não pode ser facilmente previsto (floculenta, em zona, por compressão)
- Coleta de amostras em uma coluna cilíndrica, a alturas igualmente espaçadas, em diferentes intervalos de tempo
- Medida da concentração de SS para cada amostra
- Construção de curvas de remoção de SS
- Com a curva, pode-se correlacionar a remoção desejada à taxa de vazão superficial ou ao tempo de detenção.



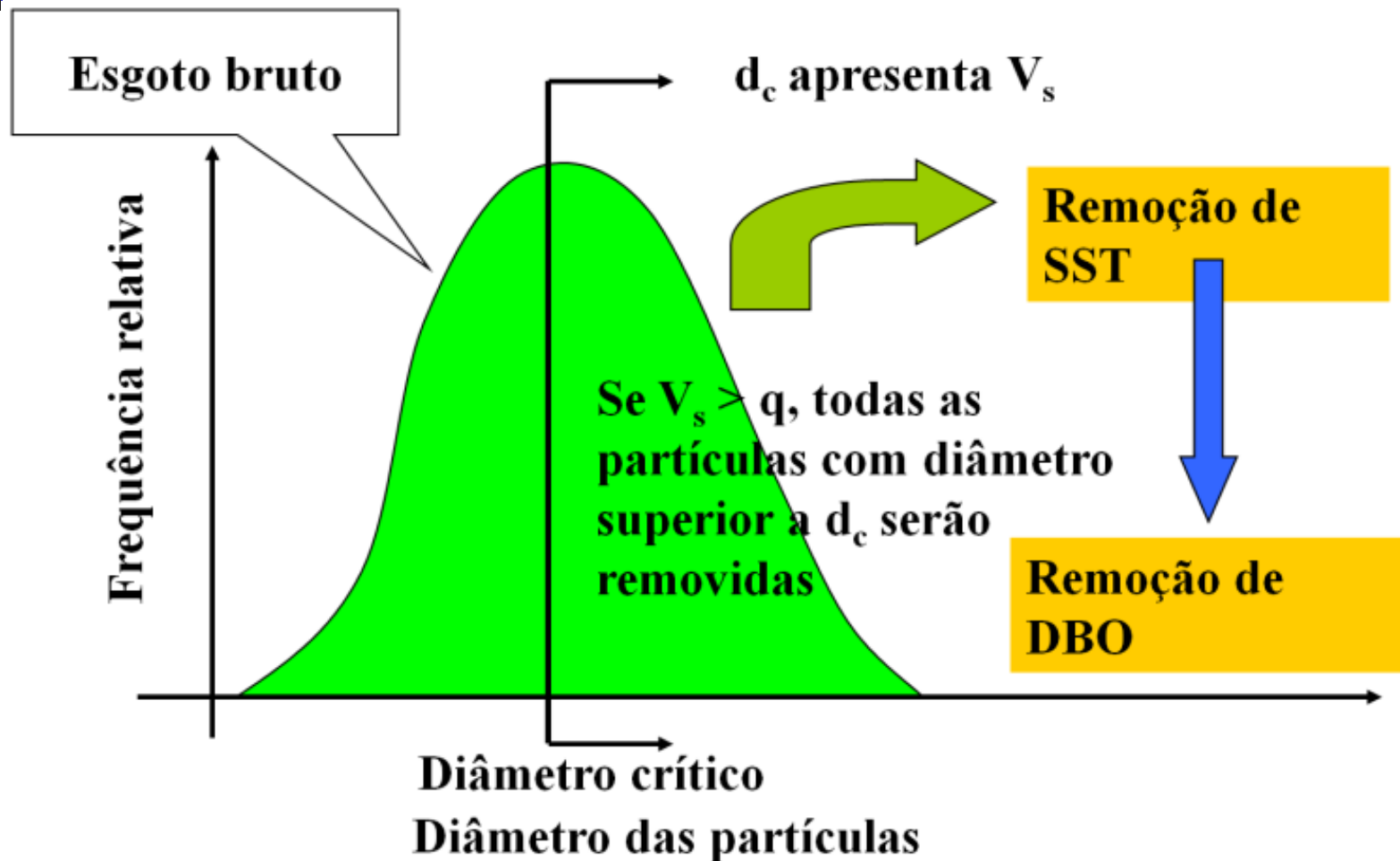


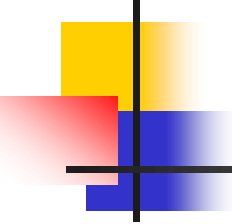
Taxa de vazão superficial (q)

- Velocidade de sedimentação das partículas que se deseja remover é diretamente relacionada à vazão que flui sobre a área superficial de sedimentação
- A taxa de vazão superficial é o principal parâmetro para dimensionamento de decantadores primários

$$v_s = \frac{h}{t} = \frac{Q \cdot h}{V} = \frac{Q \cdot h}{A_s \cdot h} = \frac{Q}{A_s} = q$$

Taxa de vazão superficial





Decantadores primários

RETANGULARES

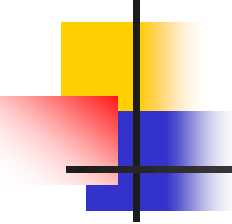
Com remoção mecanizada do lodo
(corrente ou ponte rolante)

Sem remoção mecanizada do lodo
(fundos tronco-piramidais)

CIRCULARES

Com remoção mecanizada do lodo
(tração central ou periférica)

Sem remoção mecanizada do lodo
("Dortmund")



Decantadores primários

- Retangulares:

- Vantagens:

- Menor área ocupada;
 - Menor facilidade para arraste do lodo já sedimentado;
 - Melhor distribuição de carga de lodo sobre as lâminas raspadoras;
 - Melhor adensamento do lodo no próprio decantador.

- Desvantagens:

- Maior tempo de detenção para o lodo sedimentado;
 - Menor eficiência nos casos de elevada carga de sólidos

Decantadores retangulares com remoção mecanizada de lodo

- Fluxo horizontal, alimentação uniforme por uma das cabeceiras
- Raspadores de lodo (fundo) e espuma (superfície) no sentido jusante-montante
- Correntes ou ponte rolante
- Poços de lodo na cabeceira de montante, com inclinação acentuada das paredes



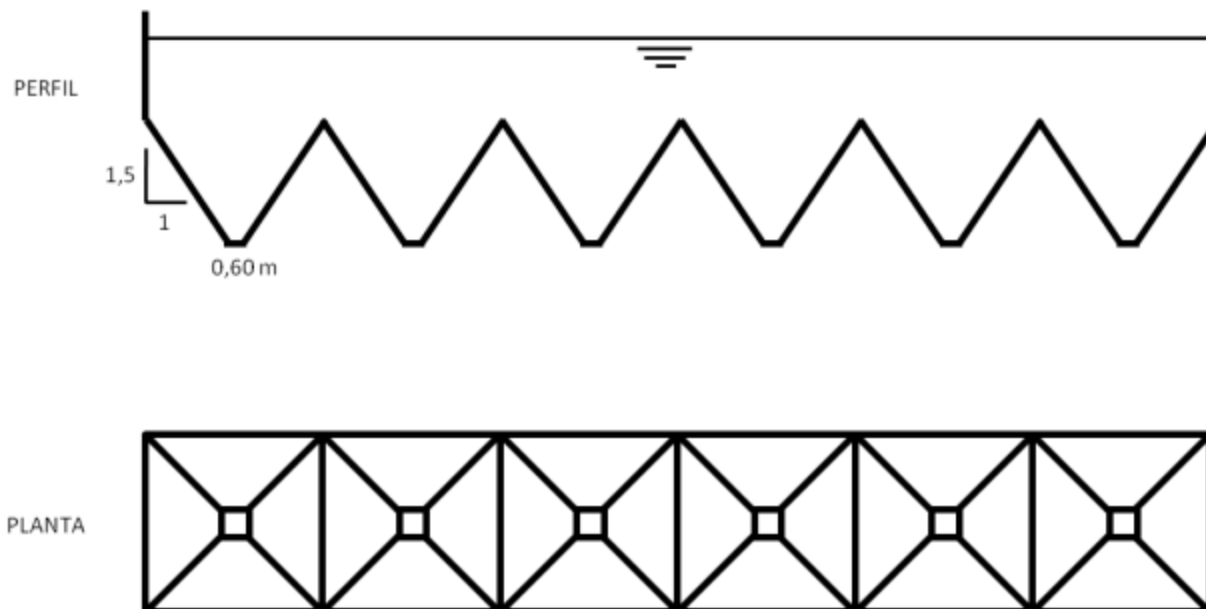
ETE Suzano

Decantadores retangulares **com** remoção mecanizada de lodo

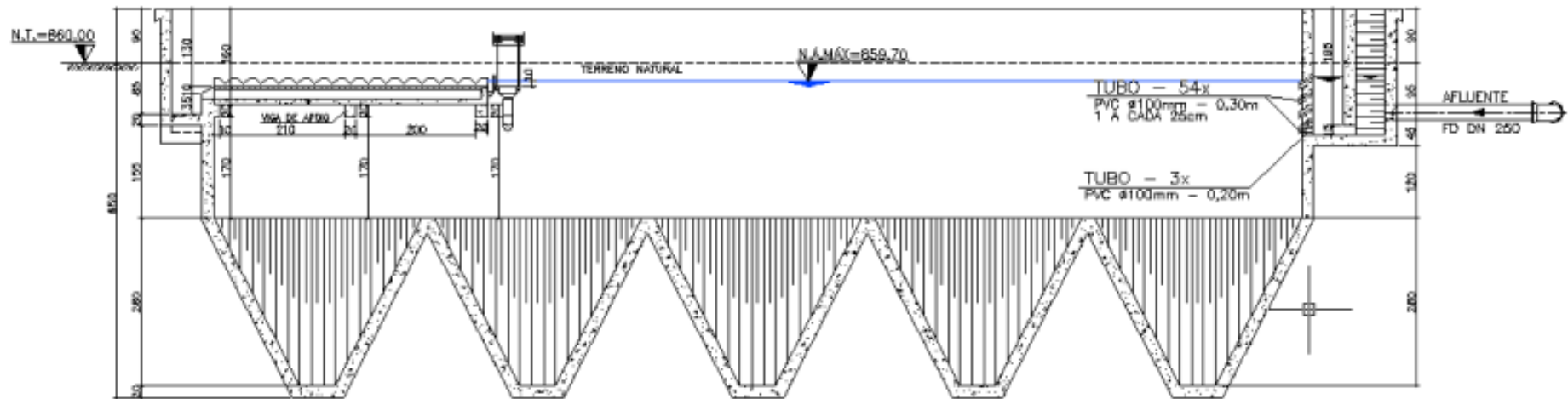


Decantadores retangulares **sem** remoção mecanizada de lodo

- Fundos tronco-piramidais intermediários para coleta do lodo sedimentado
- Paredes dos poços de lodo com inclinação acentuada
- Remoção de lodo por carga hidrostática
- Recomendado para sistemas pequenos



Decantadores retangulares **sem** remoção mecanizada de lodo



Decantadores circulares com remoção mecanizada de lodo

- Alimentação pelo centro, com saia defletora para dissipação de energia
- Raspadores de lodo e espuma com tração central ou periférica
- Pequena inclinação do fundo em direção ao centro, com poço central de lodo
- Vertedores ao longo de todo o perímetro do decantador, com anteparo para espuma ("baffle")



Decantadores circulares com remoção mecanizada de lodo



ETE Jardim das Flores (Goiânia)

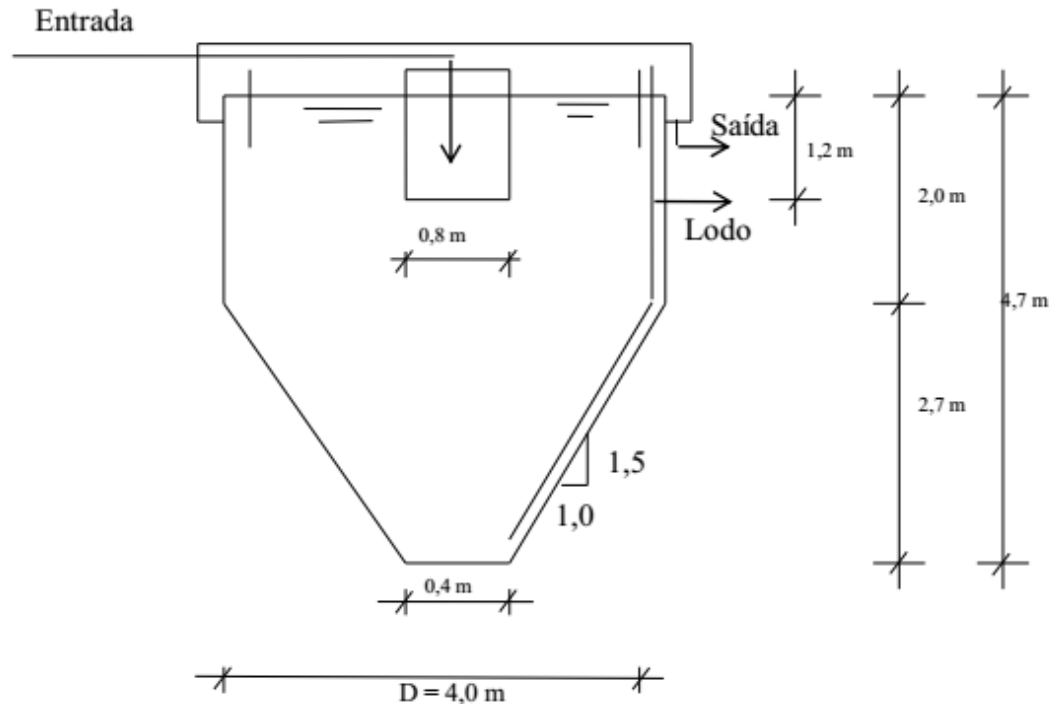
Decantadores circulares com remoção mecanizada de lodo

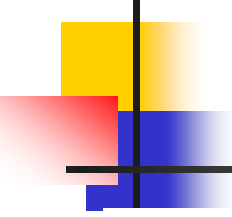


ETE ABC (decantador secundário)

Decantadores circulares **sem** remoção mecanizada de lodo

- Decantadores tipo “Dortmund”
- Remoção do lodo por carga hidrostática
- Inclinação acentuada do fundo para acumulação do lodo
- Só é viável para diâmetros menores, pois senão a altura resultante é excessiva





Dimensionamento de decantadores primários

- Segundo a NBR 12209/2011:

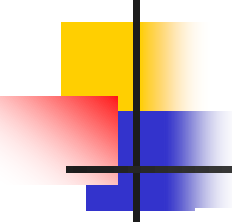
- Dimensionamento com a vazão máxima horária

- Taxa de escoamento superficial: $q = \frac{Q}{A_s}$

-  $q < 60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para decantador primário seguido de filtro biológico

-  $q < 90 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para decantador primário seguido de lodos ativados

-  $q < 90 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para tratamento primário quimicamente assistido



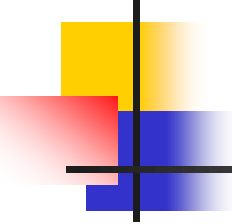
Dimensionamento de decantadores primários

- Verificação do TDH, segundo a NBR 12209/2011:

$$\theta_h \geq 1 \text{ h} \quad \Rightarrow \quad \text{Para } Q_{\text{máx}}$$

$$\theta_h \leq 3 \text{ h} \quad \Rightarrow \quad \text{Para } Q_{\text{méd}}$$

- Profundidade mínima ($H_{u,\text{min}}$)
 - 3,5 m (remoção mecanizada)
 - 0,5 m (remoção por carga hidrostática)



Dimensionamento de decantadores primários

Dimensões

- Decantadores retangulares:
 - $L/B > 2$, preferencialmente $L/B > 4$
 - Comprimento: 10 a 90 m, usualmente 25 a 40 m
 - Inclinação do fundo
 - 1 a 2% (remoção mecanizada)
 - 1H:1,5V (fundos tronco-piramidais)
- Decantadores circulares:
 - Diâmetro: 3 a 60 m, normalmente de 10 a 40 m
 - Inclinação do fundo:
 - Superior a 1:12 (remoção mecanizada)
 - 1H:1,5V (“Dortmund”)

Dimensionamento de decantadores primários

Cálculo do volume útil (V_u)

- Remoção mecanizada: $H_u \times A$

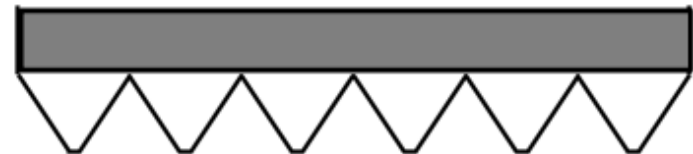


Circular

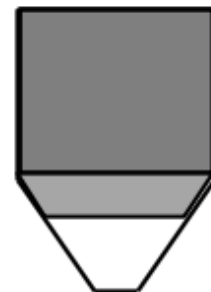


Retangular

- Fundos tronco-piramidais: $H_u \times A$



- Dortmund: $H_u \times A + \text{volume do terço superior do cone}$



Dimensionamento de decantadores primários

- Exemplo:** decantadores com remoção mecanizada de lodo

Aplicação anterior a lodos ativados:

$$q < 90 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Cálculo da área superficial necessária:

$$q = \frac{Q_{\max}}{A_s} \Rightarrow 90 = \frac{0,360 \times 86400}{A_s} \Rightarrow A_s \cong 346 \text{ m}^2$$

Dados

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

$$Q_{\text{max}} = 360 \text{ L/s}$$

$$\text{SST} = 220 \text{ mg/L}$$

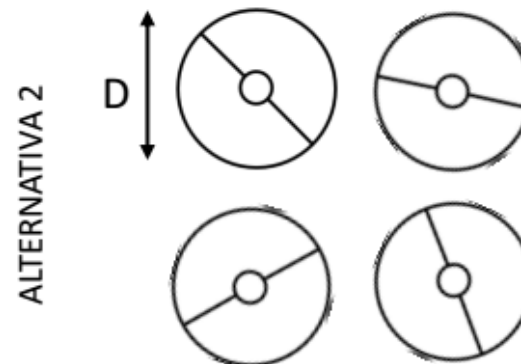
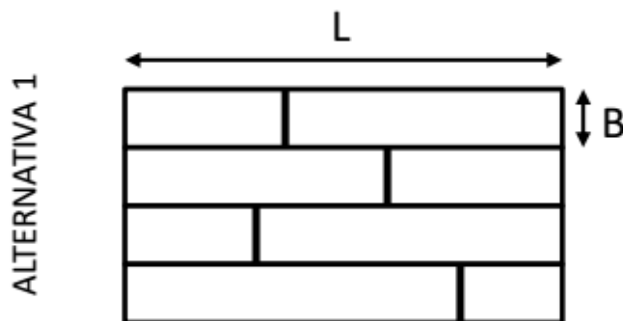
$$E_{\text{SST}} = 40\%$$

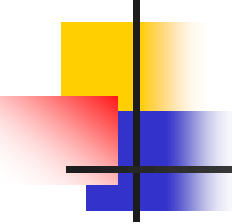
$$\text{TS} = 2\%$$

$$\rho_{\text{lodo}} = 1020 \text{ kg/m}^3$$

Decantação seguida de lodos ativados

Adotando 4 decantadores retangulares ou circulares:





Dimensionamento de decantadores primários

- **Exemplo**: decantadores com remoção mecanizada de lodo

Alternativa 1: decantadores retangulares

$$\text{Área de cada decantador: } \frac{A_s}{4} = \frac{346}{4} = 86,5 \text{ m}^2$$

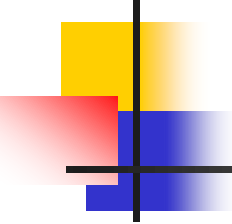
$$\text{Adotando } L/B = 6: \quad B \times 6B = 86,5 \text{ m}^2 \Rightarrow B = 3,8 \text{ m; } L = 22,8 \text{ m}$$

Adotando $H_u = 4,0 \text{ m}$:

$$\text{Volume útil total (4 decantadores): } V_u = 4,0 \times 346 = 1384 \text{ m}^3$$

$$\text{Verificando TDH para } Q_{\max}: \quad \theta_h = \frac{V_u}{Q_{\max}} = \frac{1384}{0,360 \times 3600} = 1,1 \text{ h} > 1,0 \text{ h} \quad \text{OK}$$

$$\text{Verificando TDH para } Q_{\text{med}}: \quad \theta_h = \frac{V_u}{Q_{\text{med}}} = \frac{1384}{0,200 \times 3600} = 1,9 \text{ h} < 3,0 \text{ h} \quad \text{OK}$$



Dimensionamento de decantadores primários

- **Exemplo**: decantadores com remoção mecanizada de lodo

Alternativa 2: decantadores circulares

Área de cada decantador: $\frac{A_s}{4} = \frac{346}{4} = 86,5 \text{ m}^2$

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = 86,5 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 10,5 \text{ m}$$

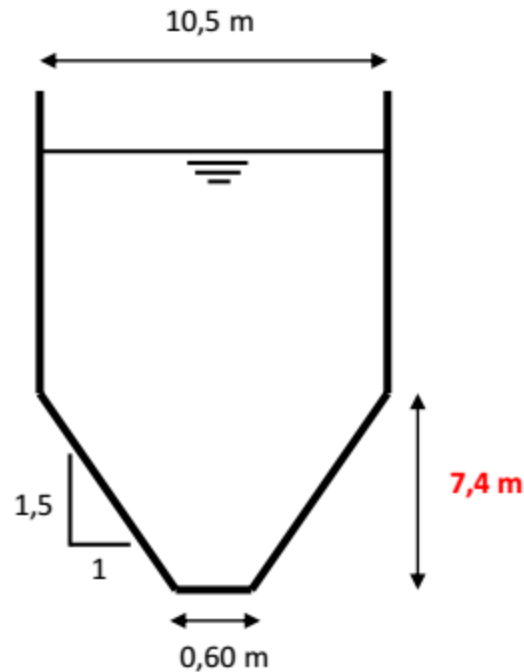
Adotando $H_u = 4,0 \text{ m}$:

Volume útil total (4 decantadores): $V_u = 4,0 \times 346 = 1384 \text{ m}^3$

Verificando TDH para $Q_{\max}$ e Q_{med} : similar ao caso anterior

Dimensionamento de decantadores primários

- **Exemplo:** E se o decantador fosse tipo “Dortmund”, com o mesmo diâmetro calculado?



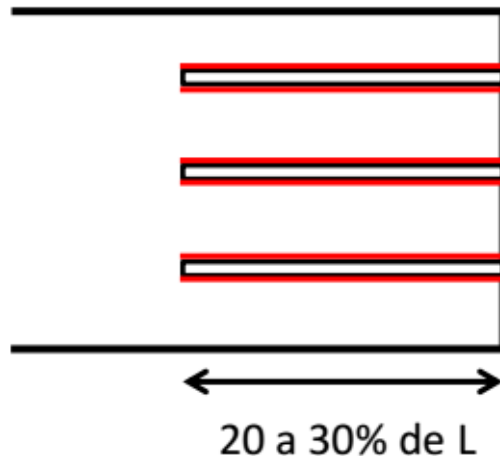
(é inviável para diâmetros grandes)

Dimensionamento de decantadores primários

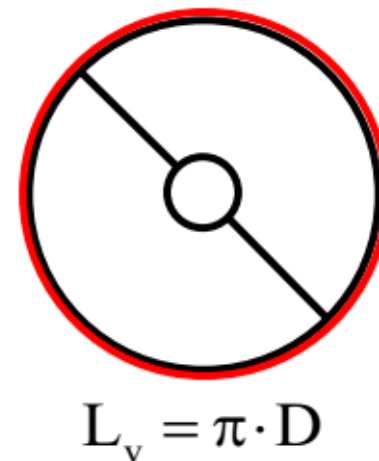
Vertedores

- NBR12209:2011:
 - Taxa de escoamento nos vertedores (Q/L_v) $< 500 \text{ m}^3/\text{m.d}$

Decantadores retangulares:
calhas ou canaletas



Decantadores circulares:
perímetro



Dimensionamento de decantadores primários

Vertedores



Dimensionamento de decantadores primários

Vertedores



Dimensionamento de decantadores primários

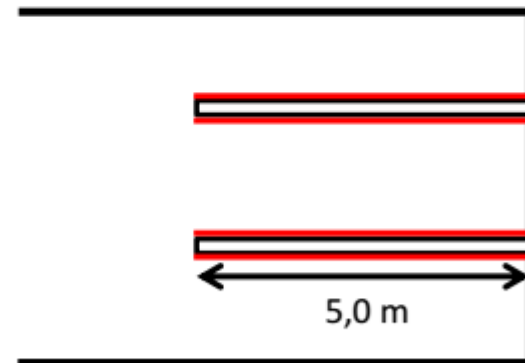
Vertedores

- No exemplo anterior:

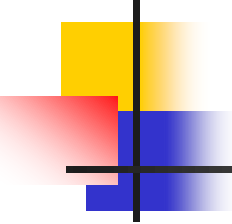
$$\text{Alternativa 1: } \frac{Q_{\max}}{L_v} < 500 \text{ m}^3 / \text{m.d} \Rightarrow \frac{0,360 \times 86400}{L_v} < 500 \Rightarrow L_v > 62,2 \text{ m}$$

Para cada decantador: $L_v > 15,6 \text{ m}$

Adotam-se 2 canaletas de 5,0 m



$$\text{Alternativa 2: } \frac{Q_{\max}}{L_v} = \frac{0,360 \times 86400}{\pi \times 10,5 \times 4} = 236 \text{ m}^3 / \text{m.d} < 500 \text{ OK}$$



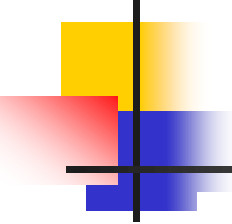
Produção de lodo

$$Q_{\text{lodo}} (\text{m}^3 / \text{d}) = \frac{\text{Carga de SST removida (kg SST / d)}}{\text{TS} \cdot \rho_{\text{lodo}} (\text{kg} / \text{m}^3)}$$



TS = teor de sólidos do lodo: 2 a 5%, tipicamente < 4% para decantadores primários

$$\rho_{\text{lodo}} = 1020 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad \text{Massa específica do lodo}$$



Produção de lodo

- No exemplo anterior:

Carga de SST removida:

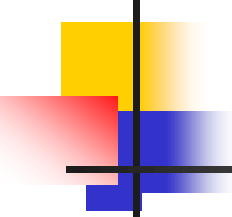
$$Q_{\text{med}} \times \text{conc}_{\text{SST}} \times E_{\text{SST}} = 0,200 \times 86400 \times \frac{220}{1000} \times 0,40 = 1520,6 \text{ kgSST / d}$$

$$Q_{\text{lodo}} (\text{m}^3 / \text{d}) = \frac{\text{Carga de SST removida (kg SST / d)}}{\text{TS} \cdot \rho_{\text{lodo}} (\text{kg} / \text{m}^3)}$$

$$Q_{\text{lodo}} = \frac{1520,6}{0,02 \times 1020} = 74,5 \text{ m}^3 / \text{d}$$

E se o lodo estivesse melhor sedimentado, a 4%?

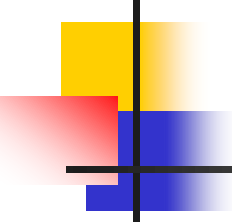
$$Q_{\text{lodo}} = \frac{1520,6}{0,04 \times 1020} = 37,3 \text{ m}^3 / \text{d}$$



Decantação primária quimicamente assistida

- Tratamento primário avançado
- Adição de sais de ferro ou alumínio:
 - Ex: cloreto férrico, sulfato de alumínio
- Podem ser adicionado polímero
- Coagulação e floculação: melhoria da eficiência da decantação

Processo	Rem. SST %	Rem. DBO %	Rem. DQO %	Rem. Fósforo %
Primário convencional	40 – 50	25 – 30	18 – 25	10 – 20
Primário avançado	70 – 85	45 – 55	30 – 50	50 – 90



Decantação primária quimicamente assistida

- Vantagens

- Maior eficiência
- Remoção de fósforo, dependendo da dosagem de coagulantes
- Maior q aplicada: menor área
- Menor carga afluyente às unidades posteriores: economia com aeração

- Desvantagens

- Custos com reagentes
- Maior geração de lodo primário
- Maiores investimentos na linha de lodos

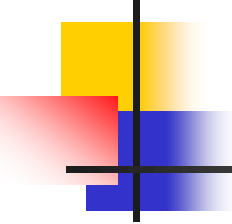
Decantadores lamelares ou tubulares

- Placas paralelas ou dutos inclinados
- Espaçamento de 7 a 10 cm
- Inclinação de 55 a 70°
- Comprimento entre 1,0 a 1,2 m
- Sólidos escorrem sobre a placa inferior quando o fluxo escoar entre placas



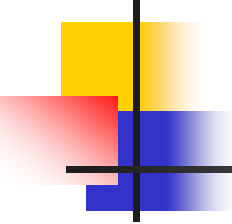
Decantadores lamelares ou tubulares





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. **Decantadores primários**. 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.