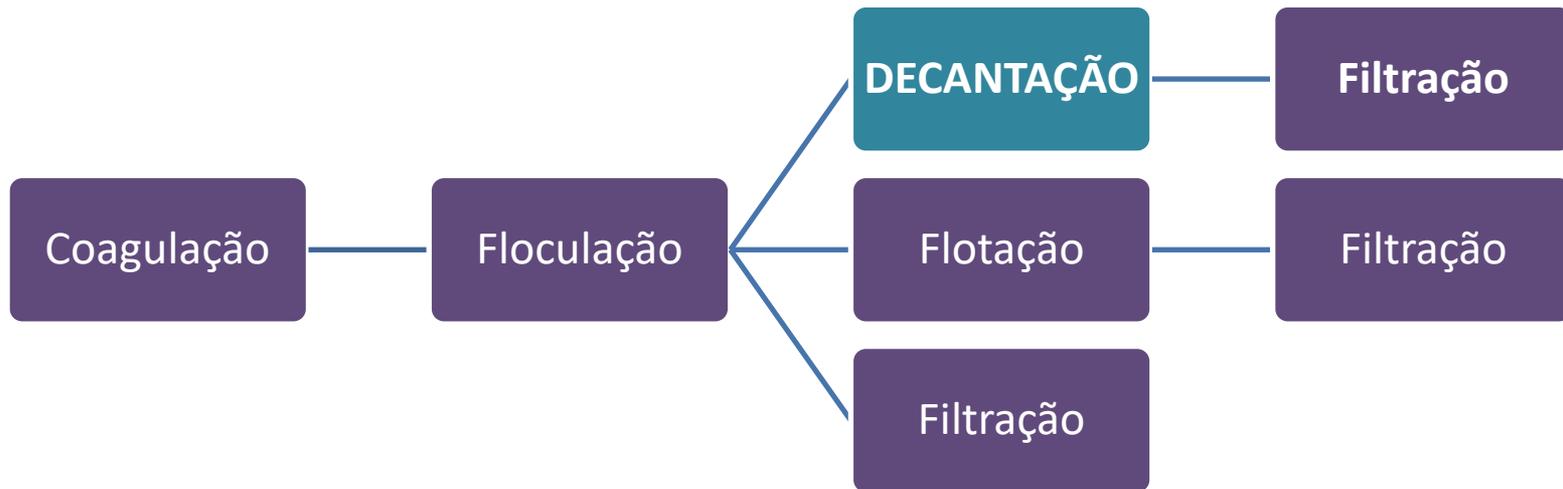


10.5 - Decantação

Processo de separação sólido-líquido que tem como força propulsora a ação da gravidade



Sedimentação dos flocos formados na mistura lenta

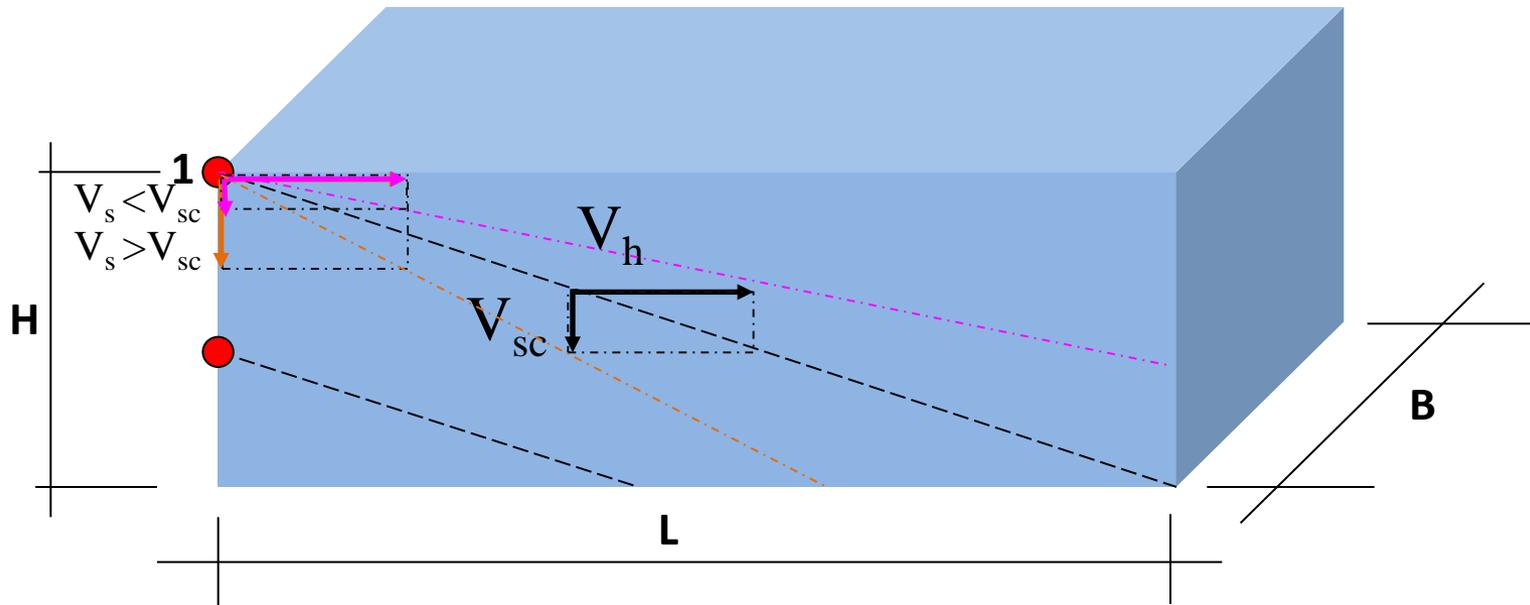


CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SEDIMENTAÇÃO

- **Sedimentação discreta (Tipo 1)**
 - As partículas permanecem com dimensão e velocidades constantes ao longo do processo de sedimentação.
- **Sedimentação flocculenta (Tipo 2)**
 - As partículas se aglomeram e aumenta sua dimensão e velocidade ao longo do processo de sedimentação.
- **Sedimentação em zona (Tipo 3)**
 - As partículas sedimentam em massa (i.e., adição de cal). As partículas ficam próximas e interagem.
- **Sedimentação por compressão (Tipo 4)**
 - As partículas se compactam como lodo.

Sedimentação Discreta (Tipo I)

Propriedade da Sedimentação Discreta



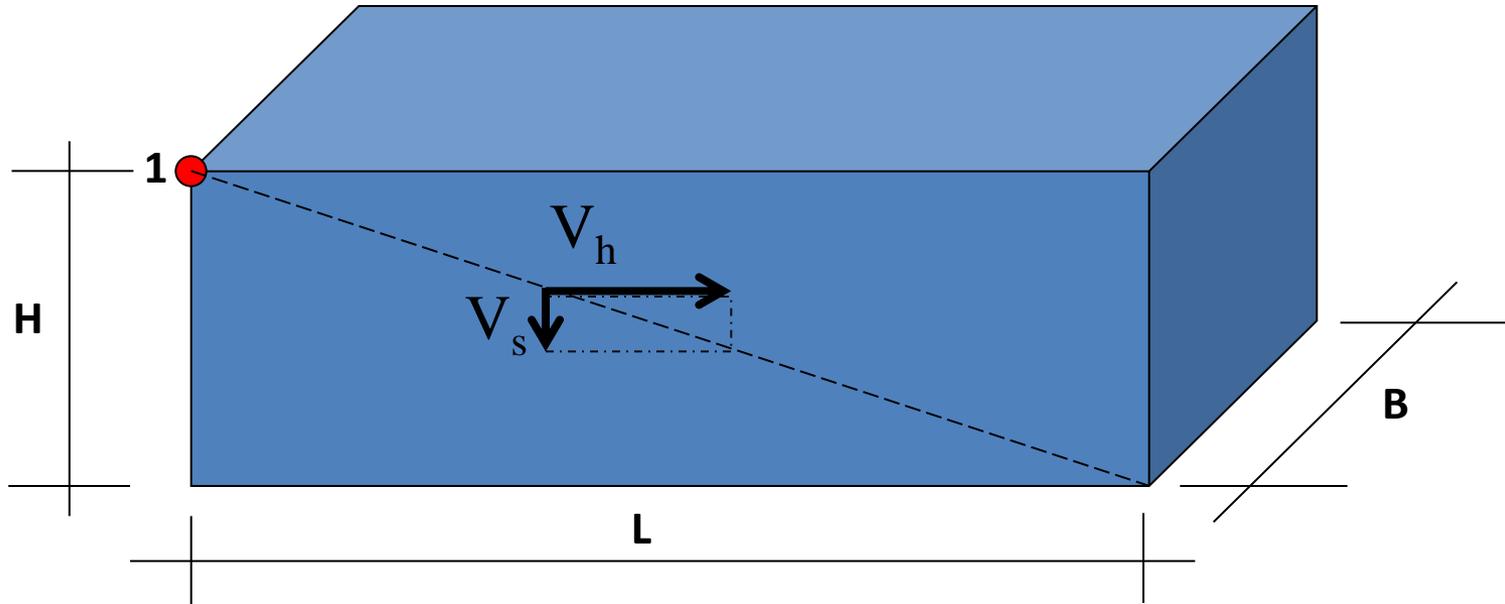
A **dimensão física** da partícula permanece **inalterada** durante o seu processo de sedimentação gravitacional



velocidade de sedimentação
→ **constante**

Sedimentação Discreta (Tipo I)

As partículas permanecem com dimensões e velocidades constantes ao longo do processo de sedimentação, não ocorrendo interação entre as mesmas



$$\begin{aligned}
 V_h &= L/t \\
 V_s &= H/t \\
 V_s &= \frac{V_h \cdot H}{L} \\
 V_h &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H} \\
 V_s &= \frac{Q \cdot H}{B \cdot H \cdot L} \\
 V_s &= \frac{Q}{B \cdot L} = \frac{Q}{A_s}
 \end{aligned}$$

Taxa de aplicação superficial (TAS)

$$q = \frac{Q}{A_s}$$

Análise do Equacionamento Matemático

$$\begin{array}{l} V_s \\ q = \frac{Q}{A_s} \end{array} \rightarrow V_s \geq q$$

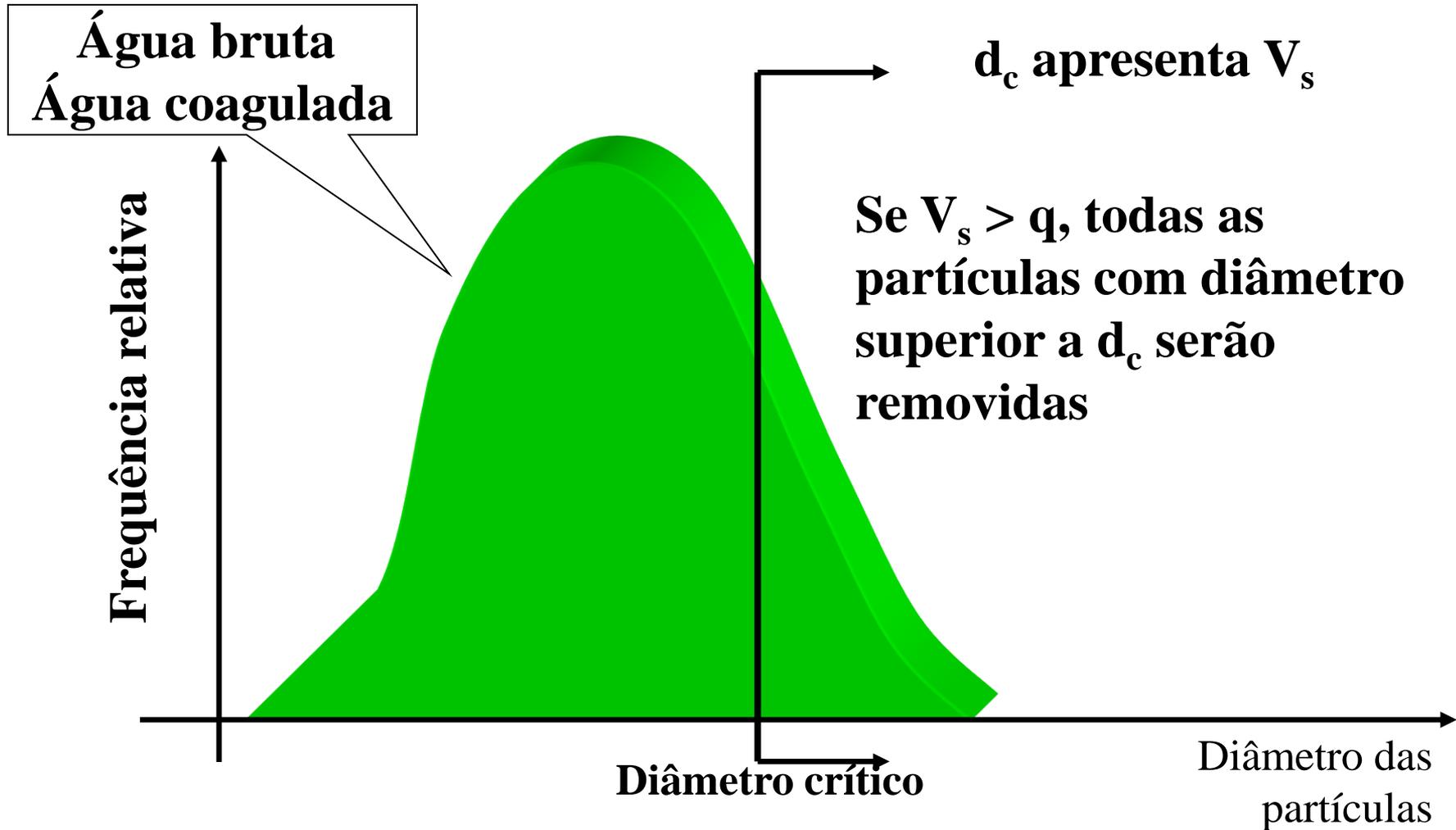
Partículas com V_s superiores a q serão removidas durante o processo de sedimentação gravitacional

V_s = Velocidade de sedimentação (m/s)

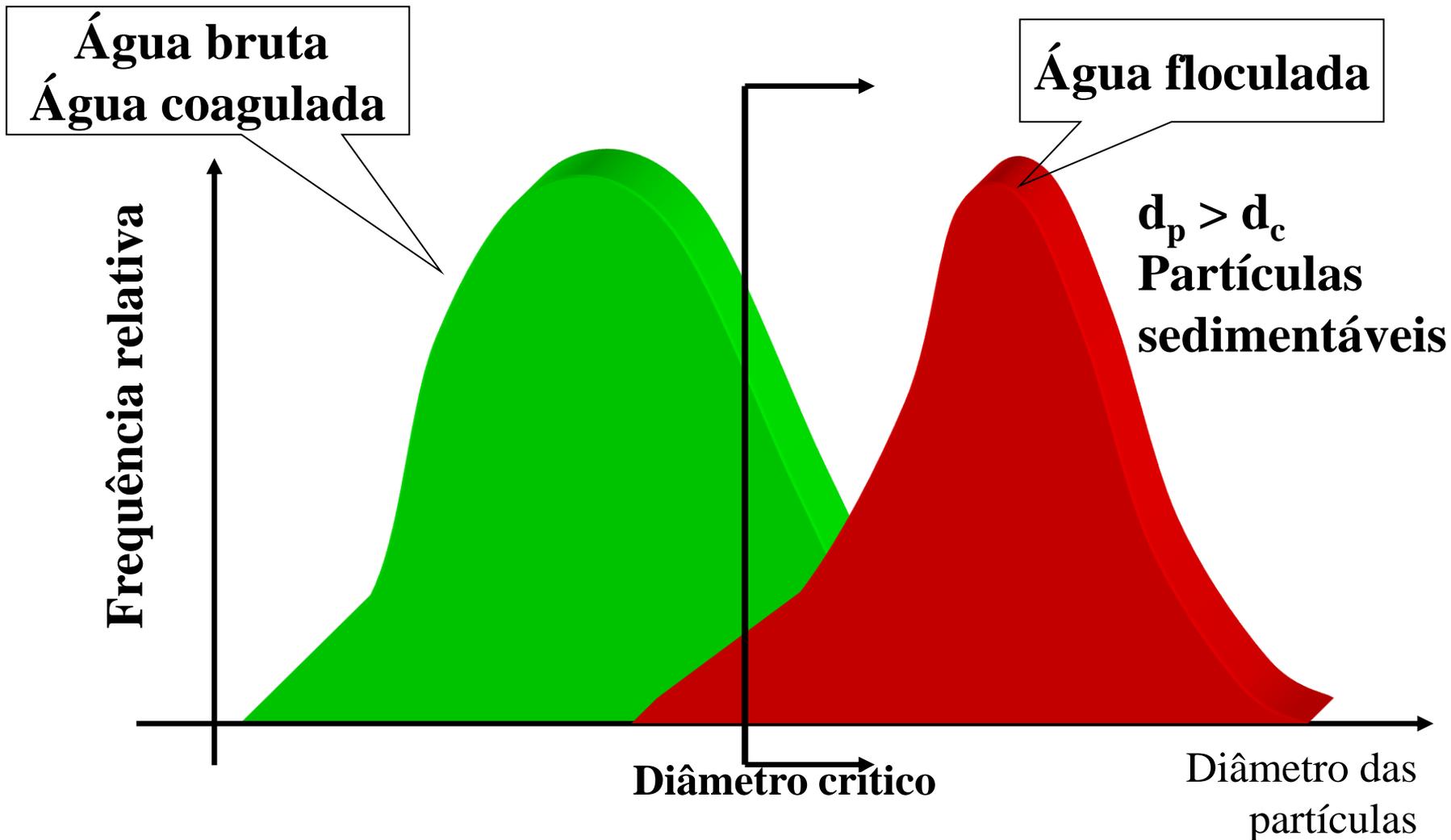
q = TAS = Taxa de aplicação superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$)

- ▶ **TAS** é função somente da geometria do decantador, portanto, é um parâmetro de projeto
- ▶ V_s é uma propriedade da partícula, podendo esta ser manipulada mediante a operação dos processos de coagulação-floculação

Floculação e Sedimentação



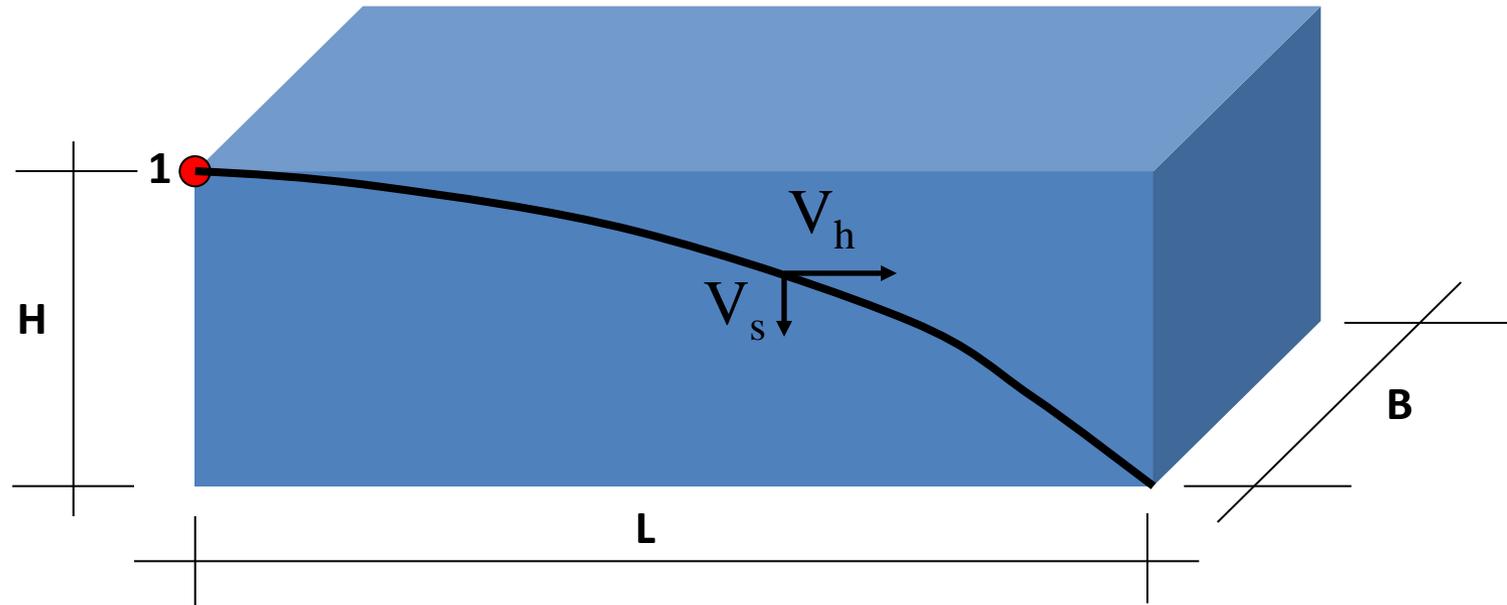
Floculação e Sedimentação



SEDIMENTAÇÃO FLOCULENTA (TIPO II)

- Partículas se agregam ao longo do processo de sedimentação
 - velocidade de sedimentação das partículas não é mais constante
- Com o aumento do diâmetro das partículas
 - aumento de sua velocidade de sedimentação ao longo da altura

Propriedade da Sedimentação Floculenta



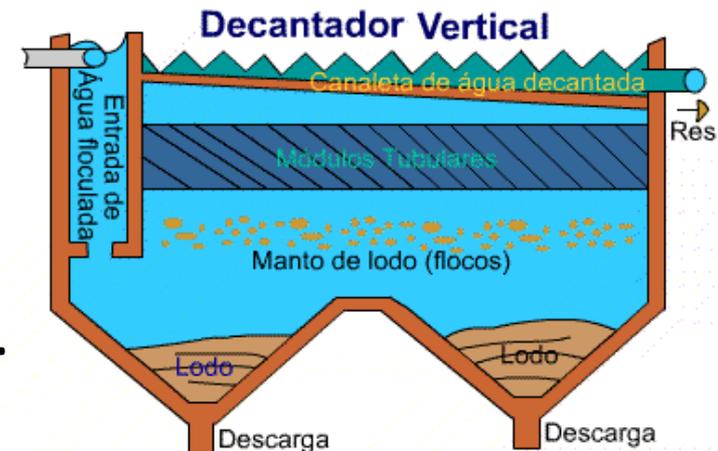
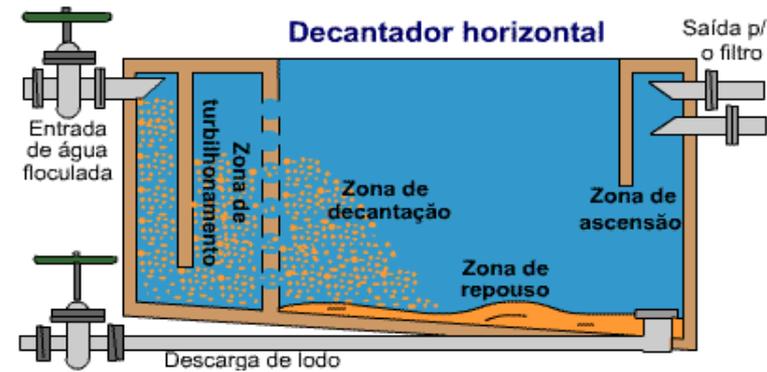
A **dimensão física** da partícula é **alterada** durante o seu processo de sedimentação gravitacional (**floculação por sedimentação diferencial**)



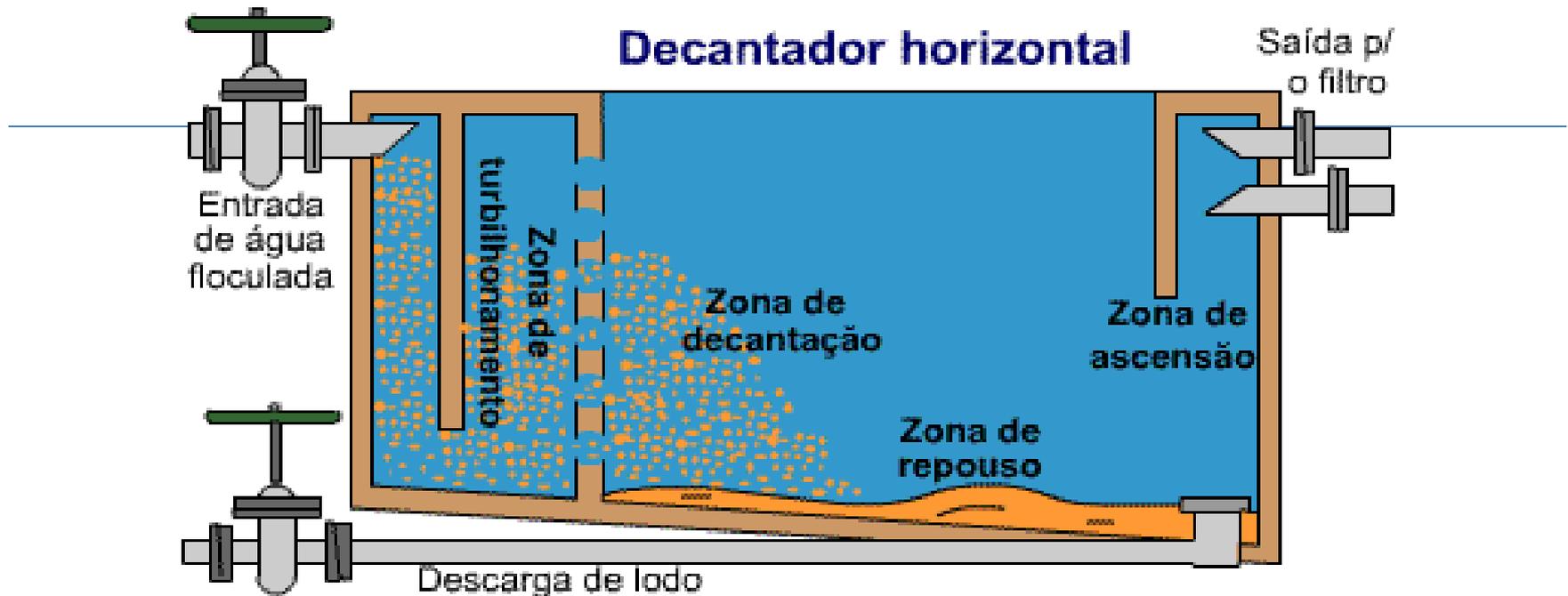
velocidade de sedimentação
→ **variável**

Tipos de decantadores em ETA

- Em função da direção do escoamento:
 - horizontal
 - vertical
- Em função do princípio de funcionamento:
 - convencional ou clássico (esc. Turbulento)
 - Simples
 - Mecanizados
 - Alta taxa, tubular, de placas (esc. Laminar)



Sedimentação Floculenta (Tipo II)



Zona de turbilhonamento

É a zona situada na entrada da água, observa-se nesta zona uma certa agitação onde a localização das partículas é variável.

Zona de decantação

Nesta zona não há agitação e as partículas avançam e descem lentamente.

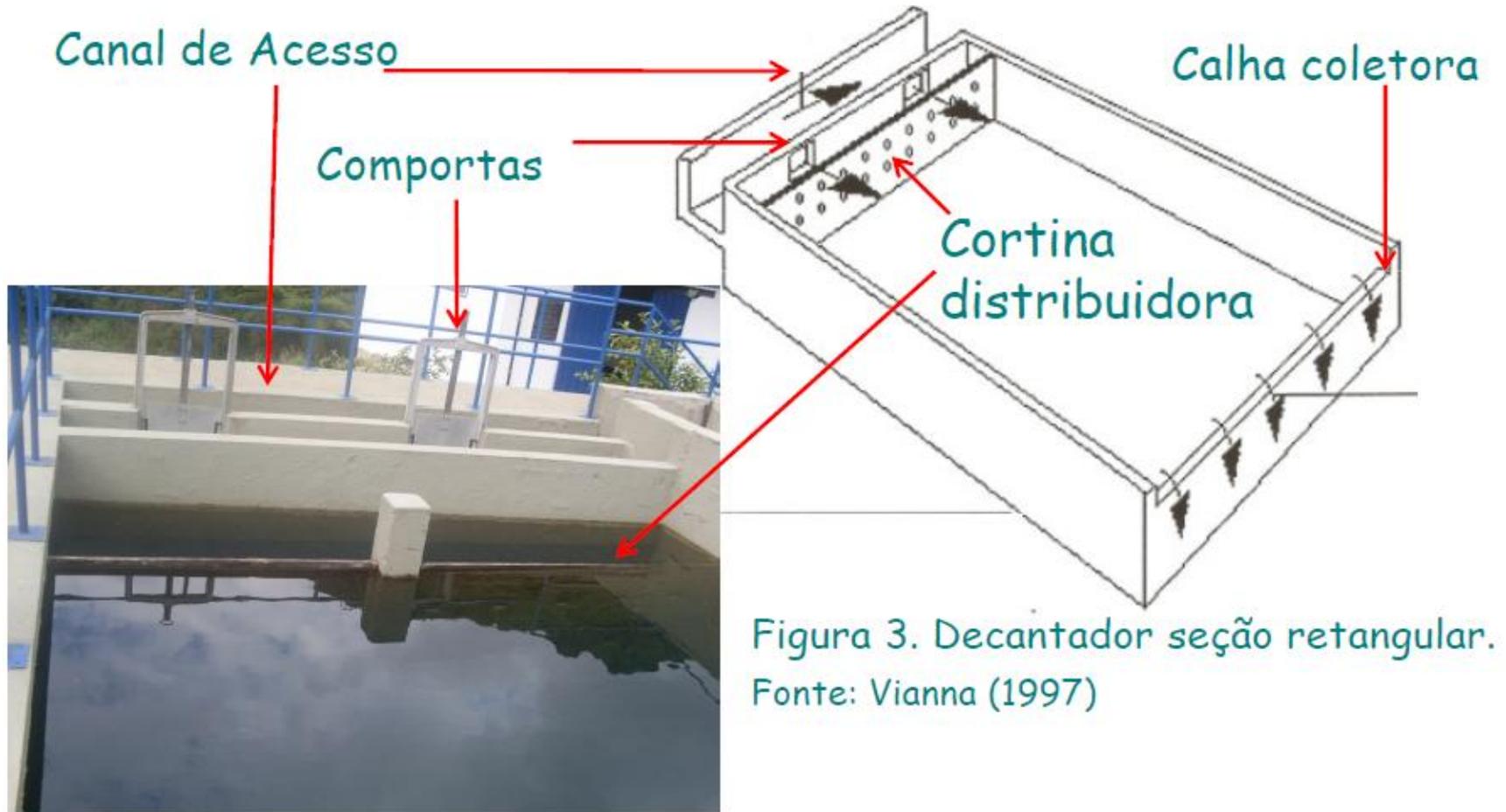
Zona de repouso

É onde se acumula o lodo. Esta zona não sofre influência da corrente de água do decantador em condições normais de operação.

Zona de ascensão

Os flocos que não alcançam a zona de repouso seguem o movimento da água e aumentam a velocidade.

Decantador – Seção retangular



Fonte: CARLOS EDUARDO F MELLO (UFOP)

Decantador - Seção circular

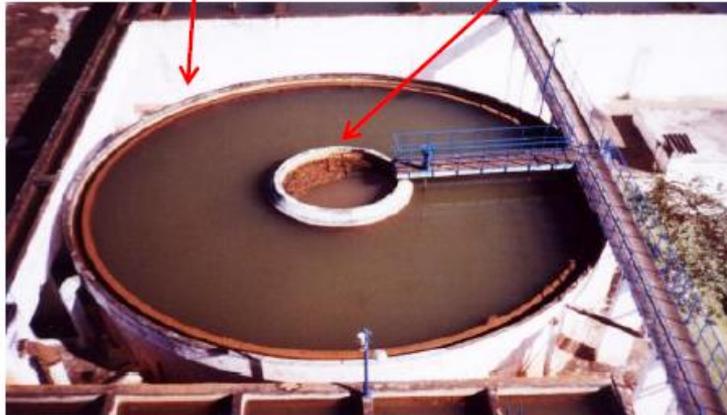
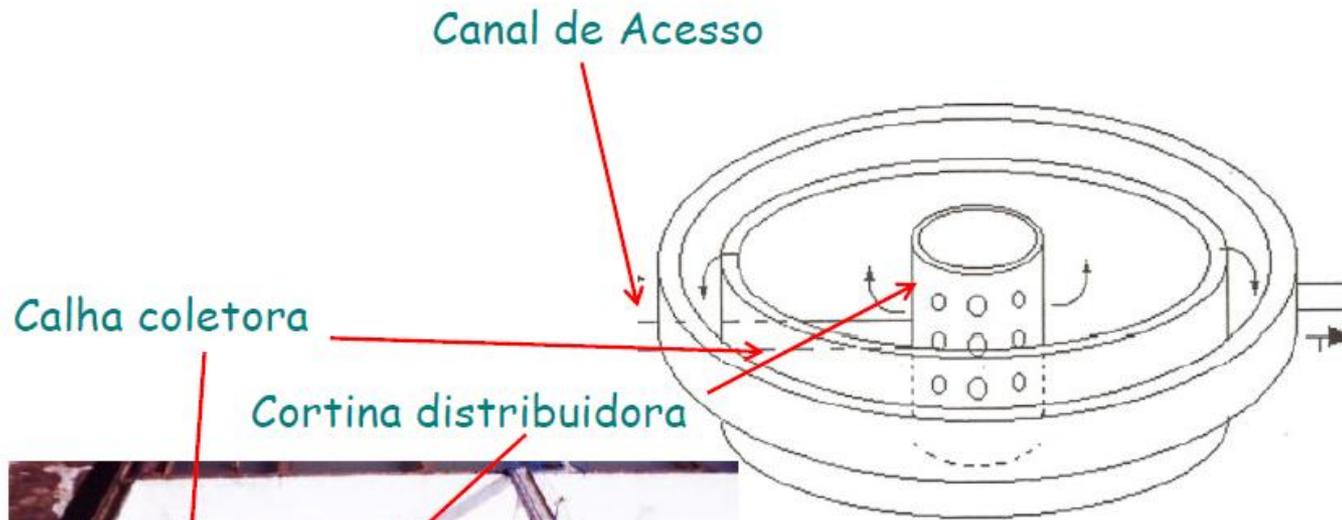


Figura 4. Decantador seção circular.
Fonte: Vianna (1997)

Foto 2. Decantador circular da
ETA de Nepomuceno - SAAE

Fonte: CARLOS EDUARDO F MELLO (UFOP)

DECANTADORES CONVENCIONAIS ETA GUARAÚ (SABESP)



SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL











Fonte: EPUSP



Fonte: EPUSP

Decantador Convencional – ETA Iguaçu



Prof. Daniel Costa
dos Santos (UFPR)

Decantador Convencional – ETA Iguaçu



Prof. Daniel Costa
dos Santos (UFPR)

DECANTADORES CONVENCIONAIS

PARÂMETROS DE PROJETO

- ▶ Taxa de aplicação superficial:
20 a 60 m³/m²/dia
(Em função das características de sedimentabilidade do floco, definidas pelas etapas de coagulação-floculação → ensaio)
- ▶ Altura do decantador: 3 a 5 metros.
- ▶ Relação Comprimento/Largura
2,5 < L/B < 10 (usual: L/B ≥ 4)
4 < L/h < 25
- ▶ Re ≤ 20.000 (Verificação)
- ▶ Fr ≥ 10⁻⁵
- ▶ Tempo de detenção: 1,5 a 3 h (usual: 2 a 2,5 h)
Valor prático: t = 2 horas

TAS em função da vazão tratada na ETA (ABNT, 1992):

Vazão tratada na ETA (m ³ /d)	TAS (m ³ m ⁻² d ⁻¹)
Até 1.000	Até 25
1.000 a 10.000	Até 35 (bom nível operacional) Até 25 (outros casos)
> 10.000	Até 40

Projeto	Operação	TAS (m ³ /m ² .d)	t (h)
Instalações pequenas	Precária	20 - 30	3 - 4
Nova tecnologia (Floculação)	Boa	35 - 45	1,5 - 2,5
Nova tecnologia (Floculação)	Excelente	40 - 60	1,5 - 2,5

- Número de unidades

Q < 10.000 m³/d → mínimo 2 unidades (limpeza)

Q > 10.000 m³/d → critérios econômicos (terreno, forma, tamanho)

Dimensionamento das calhas de coleta de água decantada

$$q_l \leq 0,018.H.q$$

q_l =vazão linear nas calhas de coleta de água decantada (l/s/m)

H=altura útil do decantador (m)

q=taxa de aplicação superficial no decantador ($m^3/m^2/dia$)

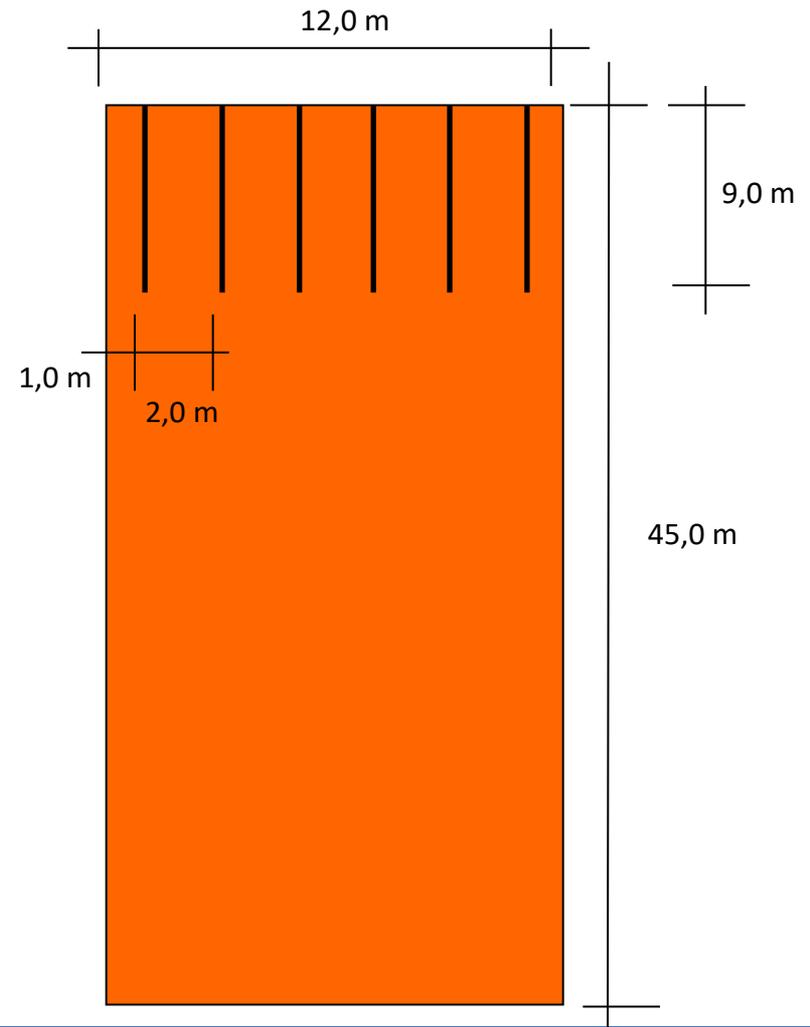
Em casos de impossibilidade de ensaio em laboratório da velocidade de sedimentação:
Taxa de escoamento linear (vertedor) $\leq 1,8$ l/s/m



Exercício: Dimensionamento de unidades de sedimentação

- Dados:
 - Vazão: $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$
- Adota-se:
 - Número de unidades de sedimentação: 04
 - Profundidade da lâmina líquida=4,5 m

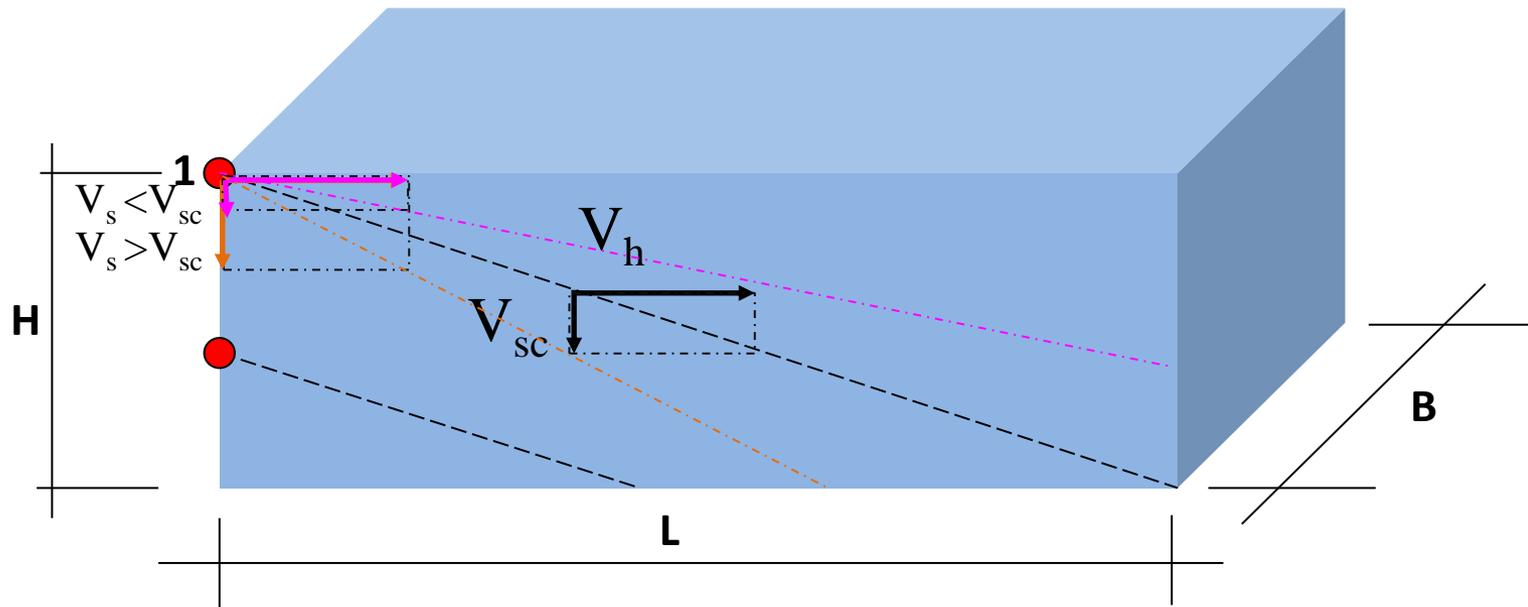
Resposta:



**Decantadores laminares,
tubulares ou
de altas taxas de escoamento
superficial**

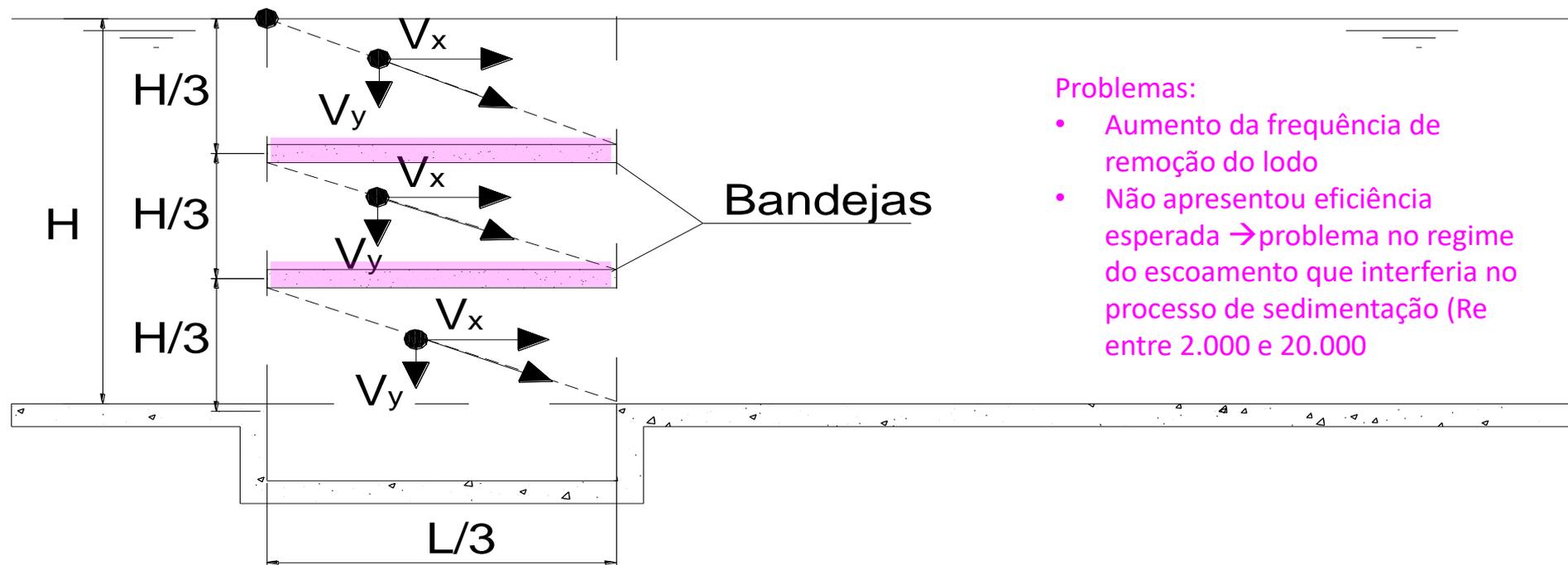
Decantador convencional de fluxo horizontal

Todas as partículas dotadas de $v_s > v_{sc}$ serão removidas, ao longo do comprimento L durante um determinado tempo T .



Decantadores de andares e de fundo múltiplo

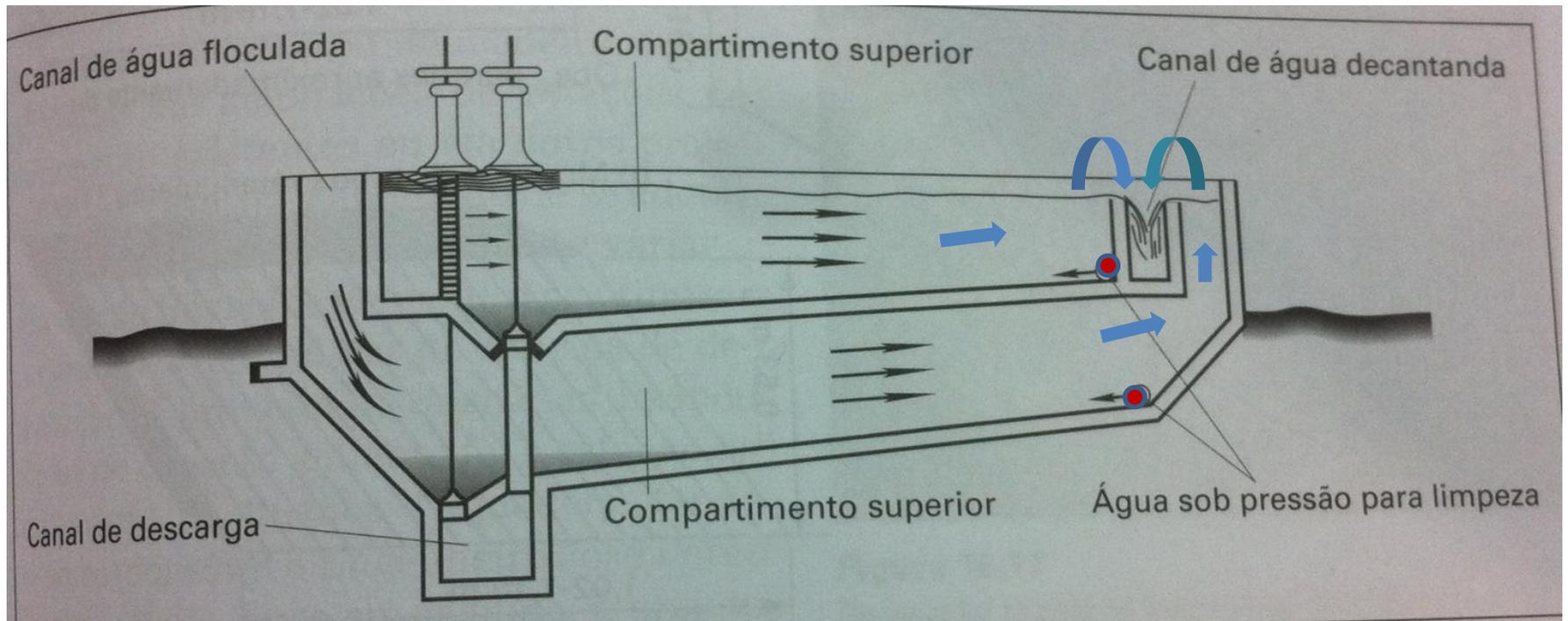
Se for colocada uma bandeja a uma altura H menor que H_0 , as mesmas partículas poderiam ser removidas num comprimento menor, reduzindo também o tempo necessário para a remoção.



Problemas:

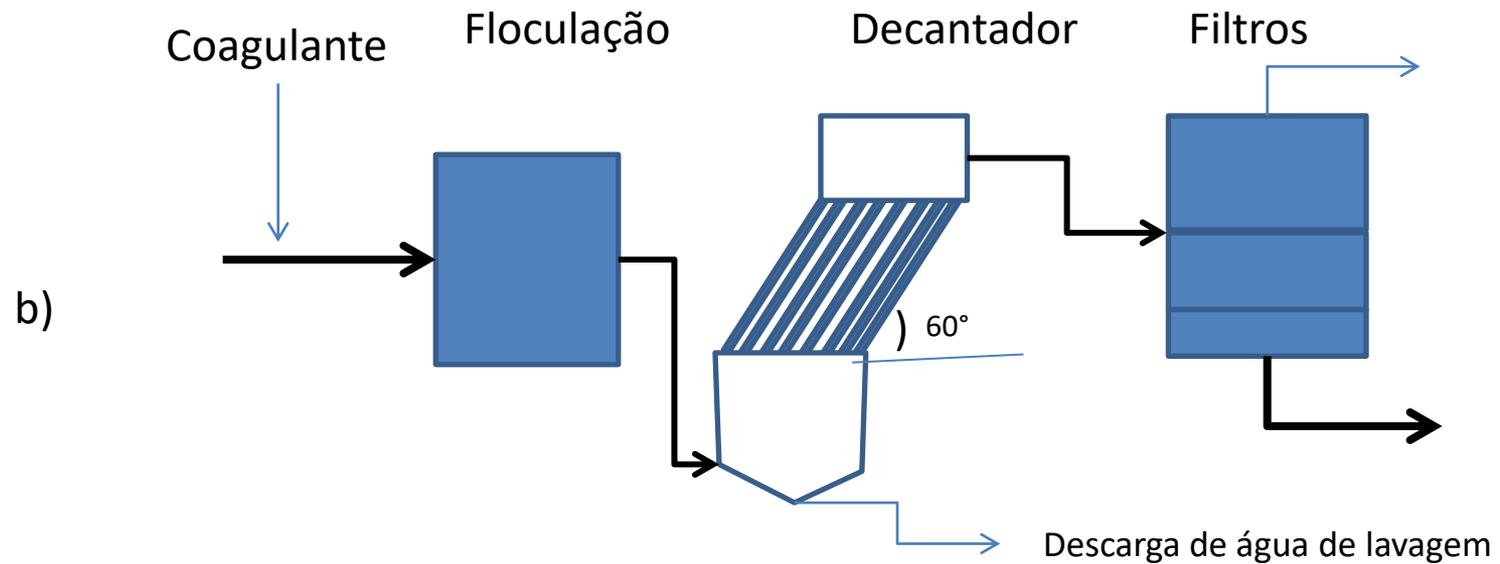
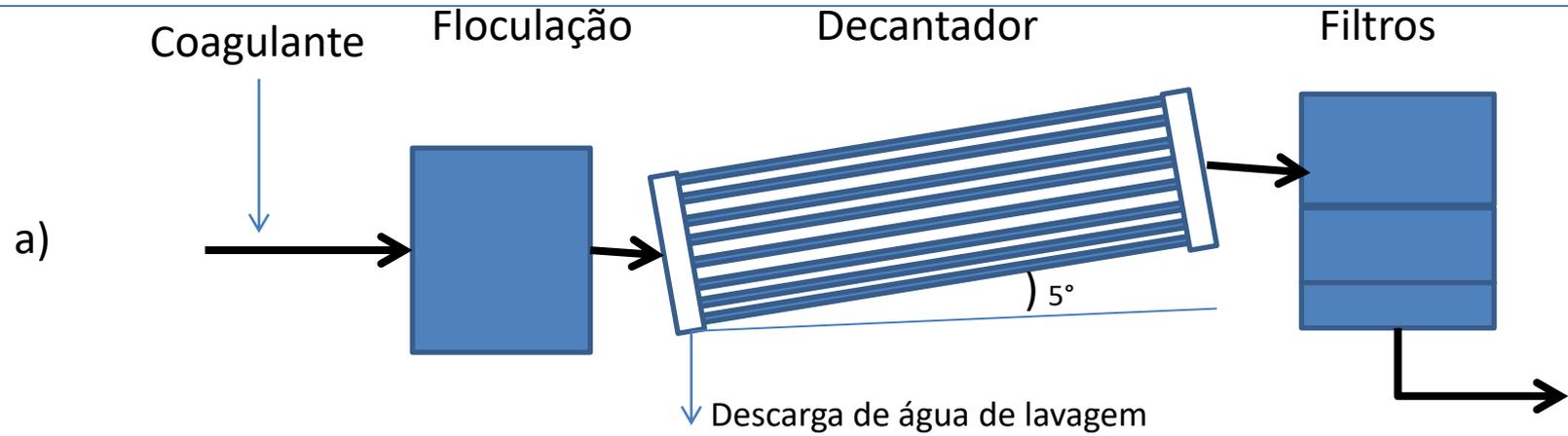
- Aumento da frequência de remoção do lodo
- Não apresentou eficiência esperada → problema no regime do escoamento que interferia no processo de sedimentação (Re entre 2.000 e 20.000)

Decantador de fundo múltiplo

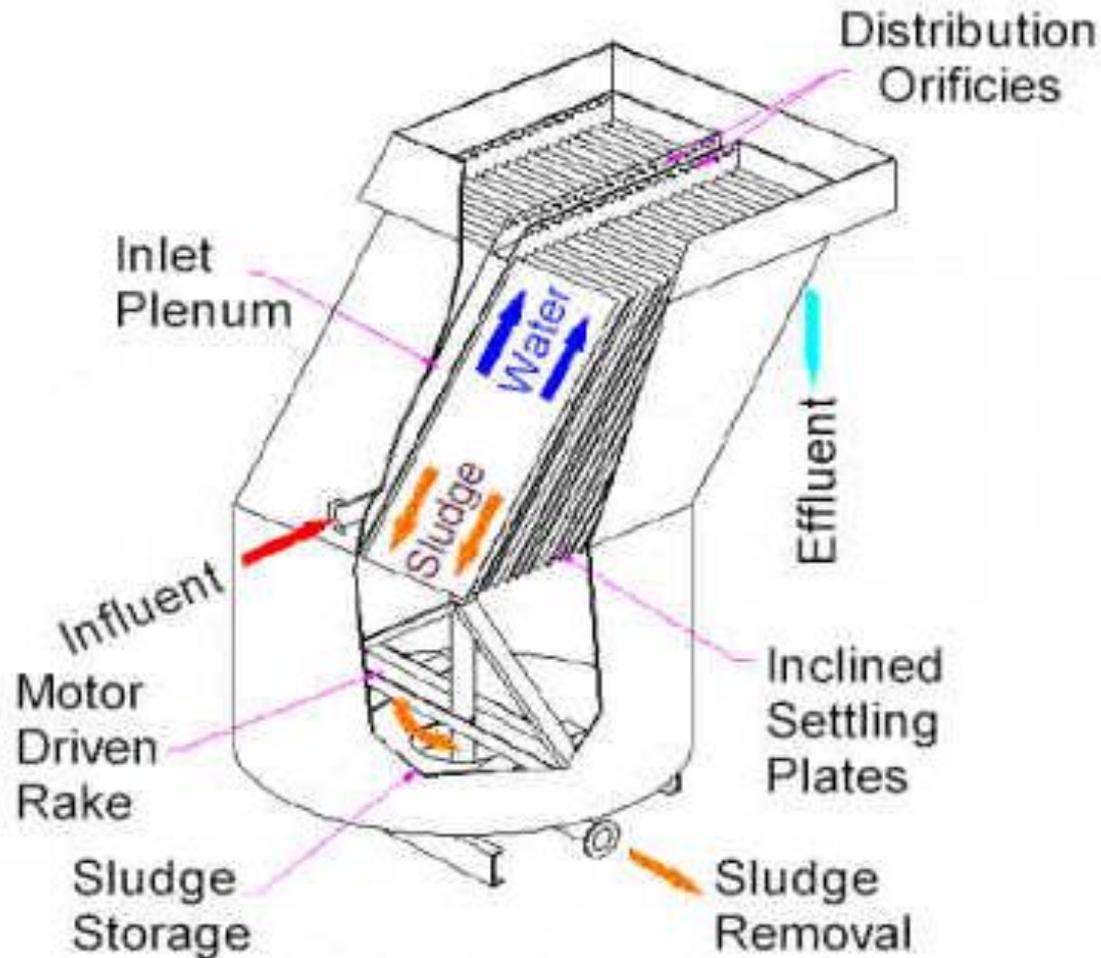


Decantador de fundo múltiplo

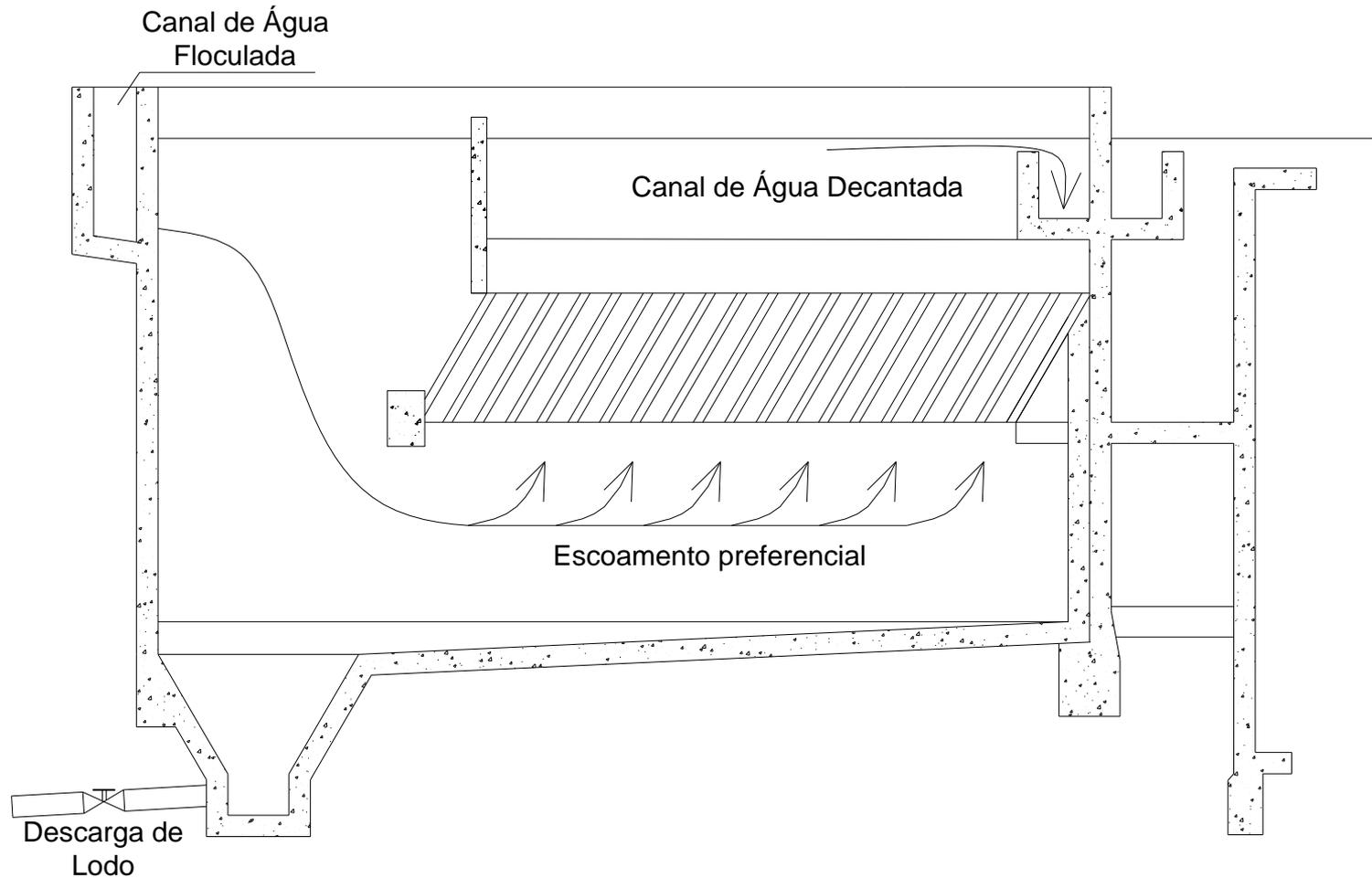
Fonte: Richter



Decantador laminar ou de alta taxa

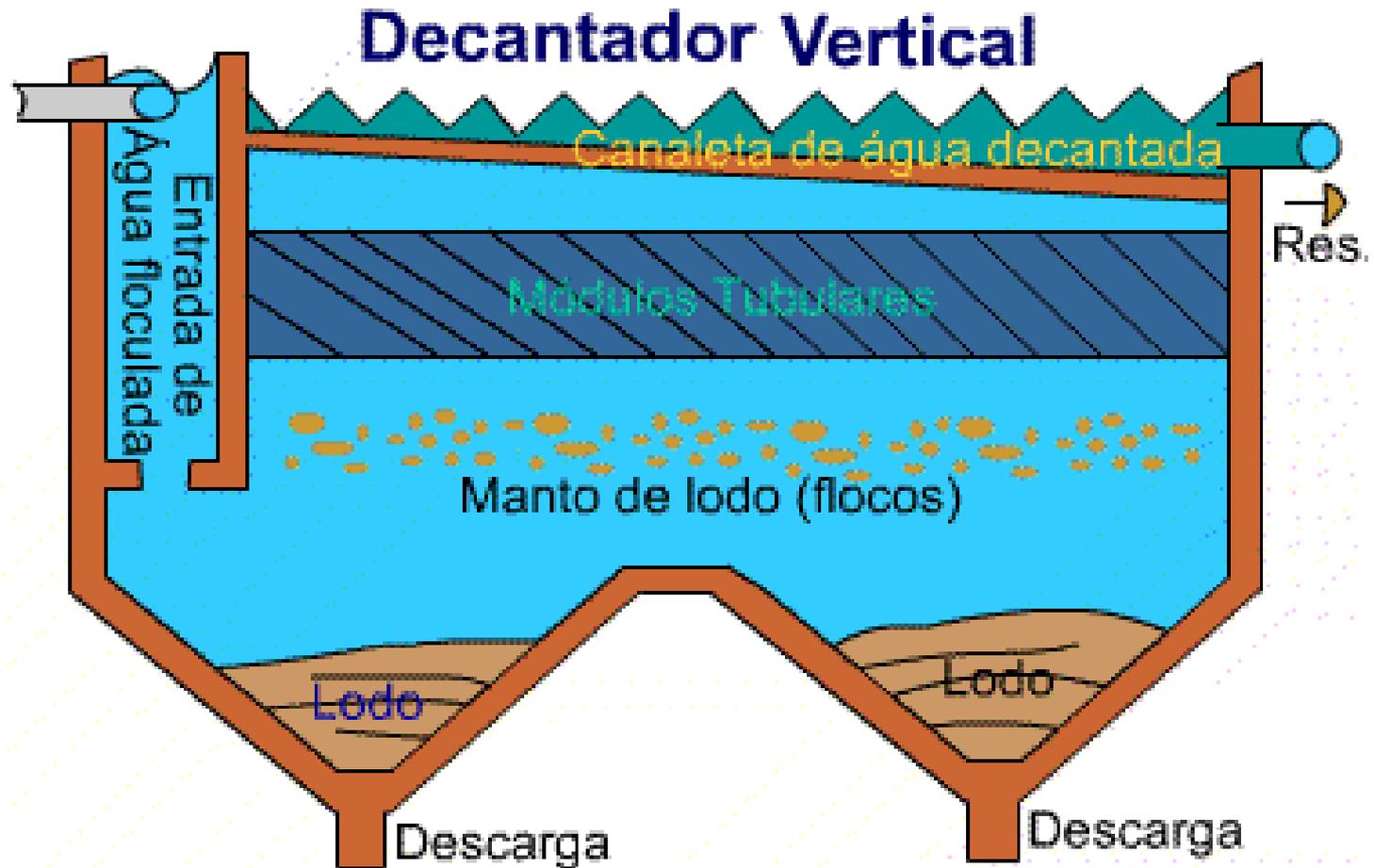


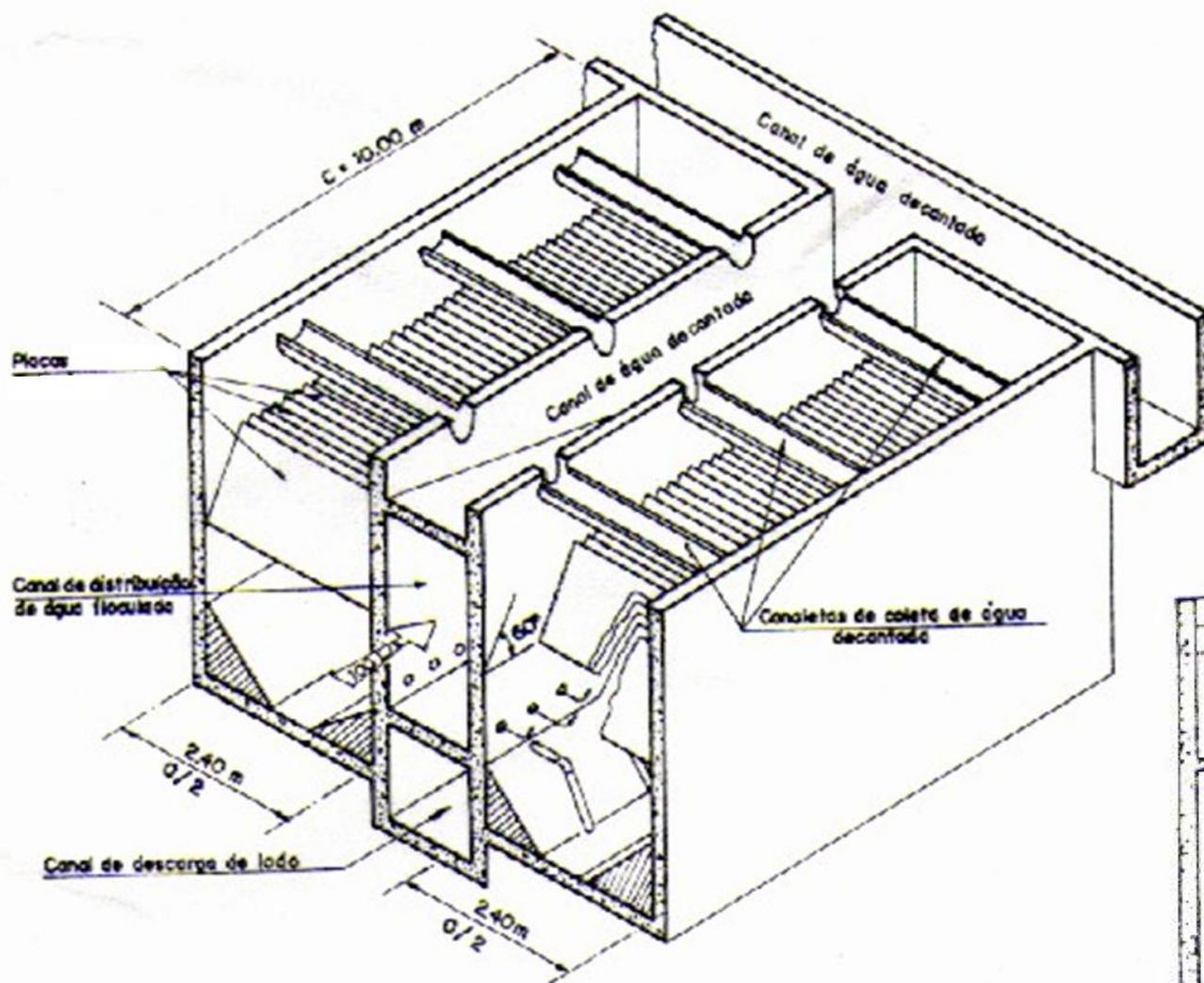
Decantadores laminares



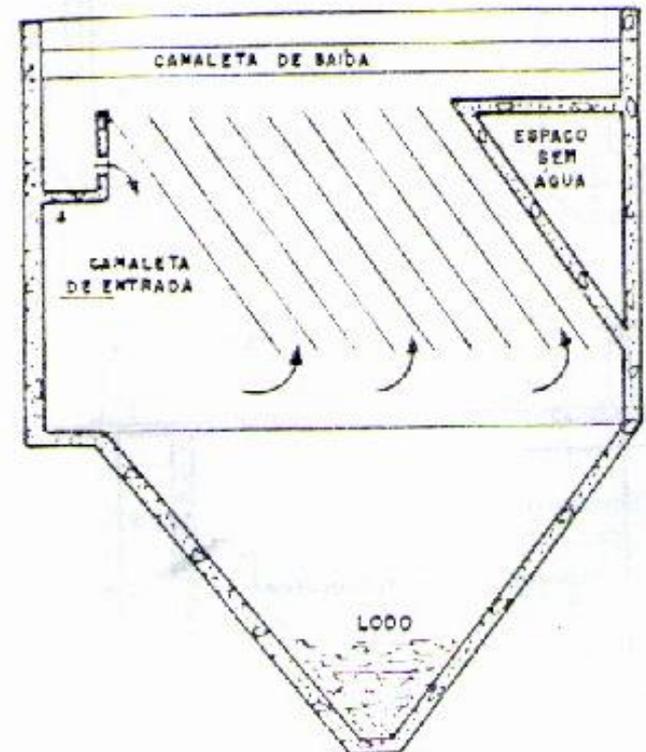
Prof. Selma Cubas

DECANTADORES DE FLUXO LAMINAR





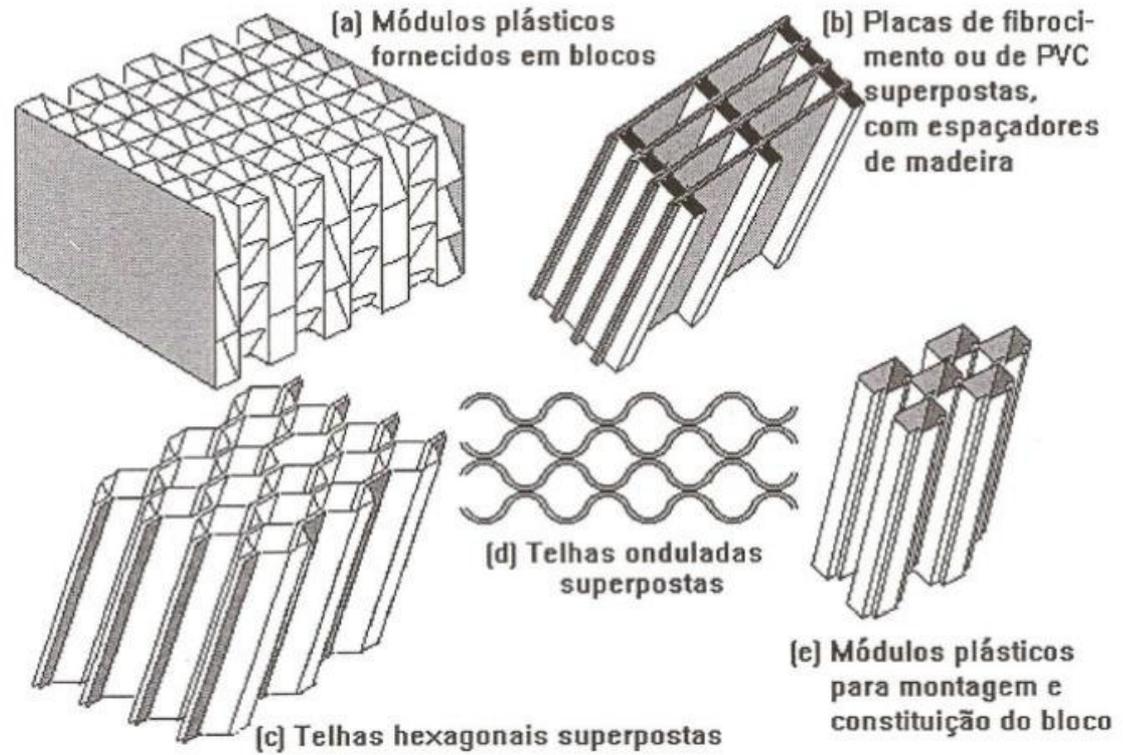
Decantadores laminares ou de altas taxas



Lâminas
planas
paralelas

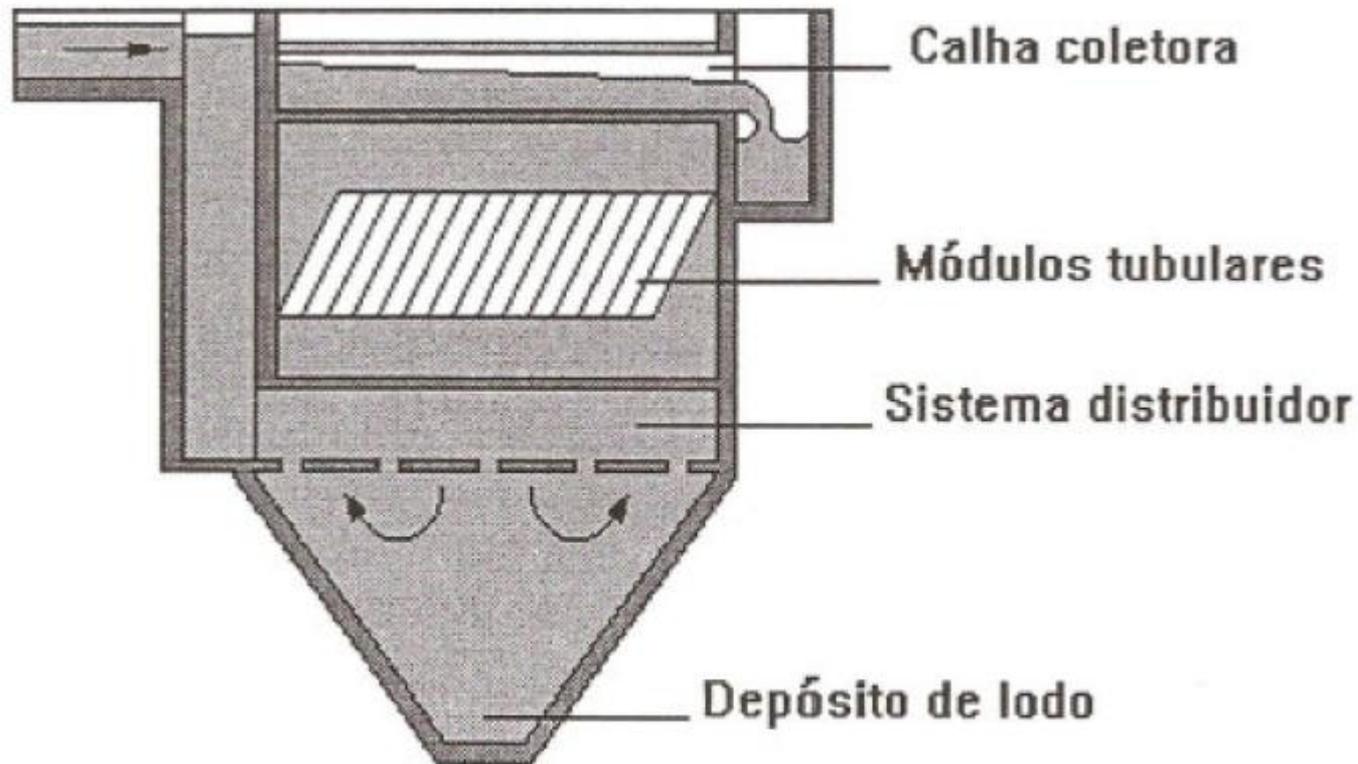
Série de tubos:
circulares, quadrados
ou hexagonais

Ângulo θ de
inclinação
(usualmente
entre 50 a 60°)



Decantador tubular

Configuração típica



Montagem

1



1 - Montagem

Fonte: cidadesaopaulo.olx.com.br/tubos-retangulares



Fonte: cidadesaopaulo.olx.com.br/tubos-retangulares



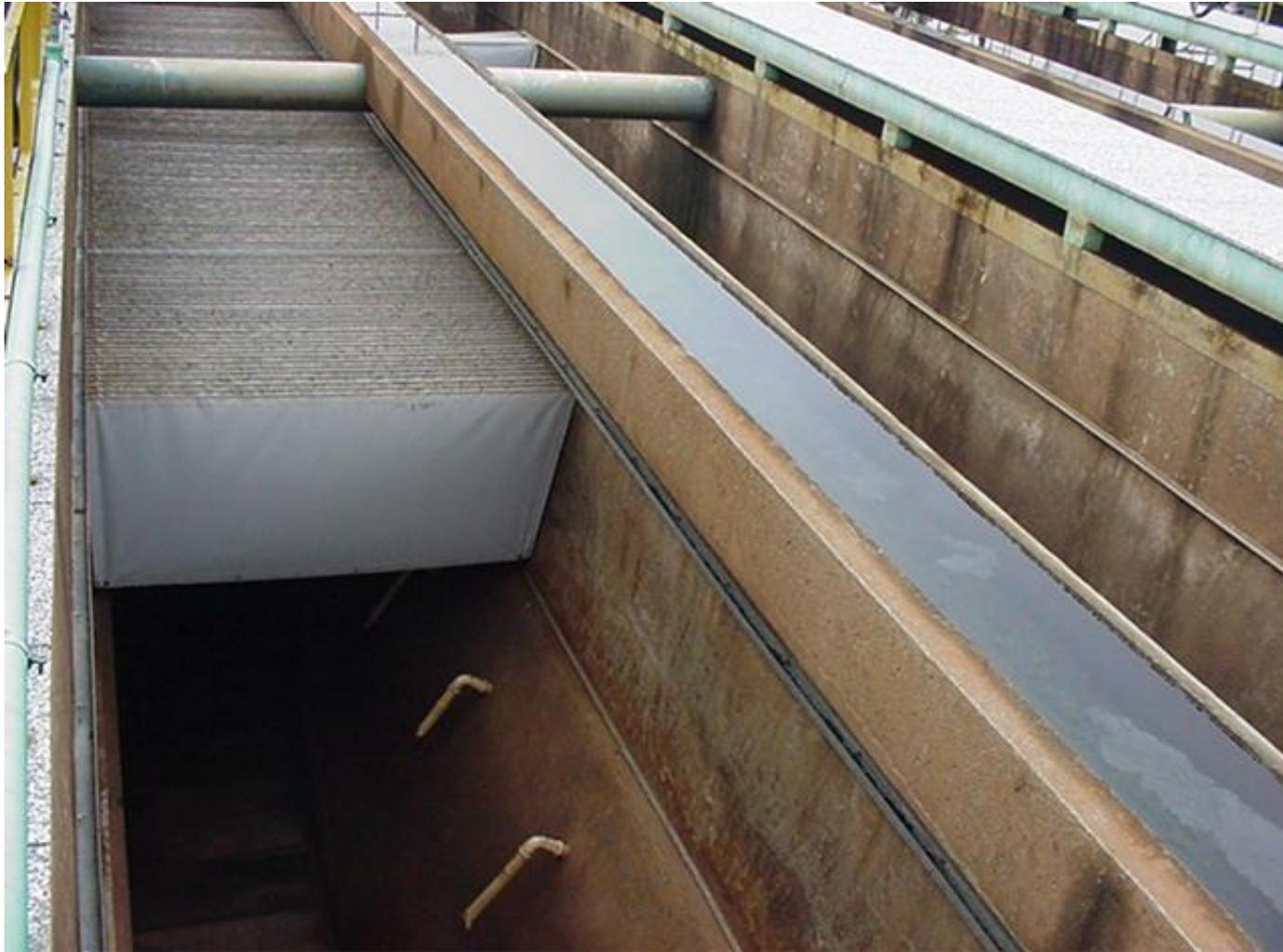
Fonte: cidadesaopaulo.olx.com.br/tubos-retangulares

Decantador de Placas

Prof. Daniel Costa dos Santos (UFPR)



Decantador de Placas



Decantador de Placas

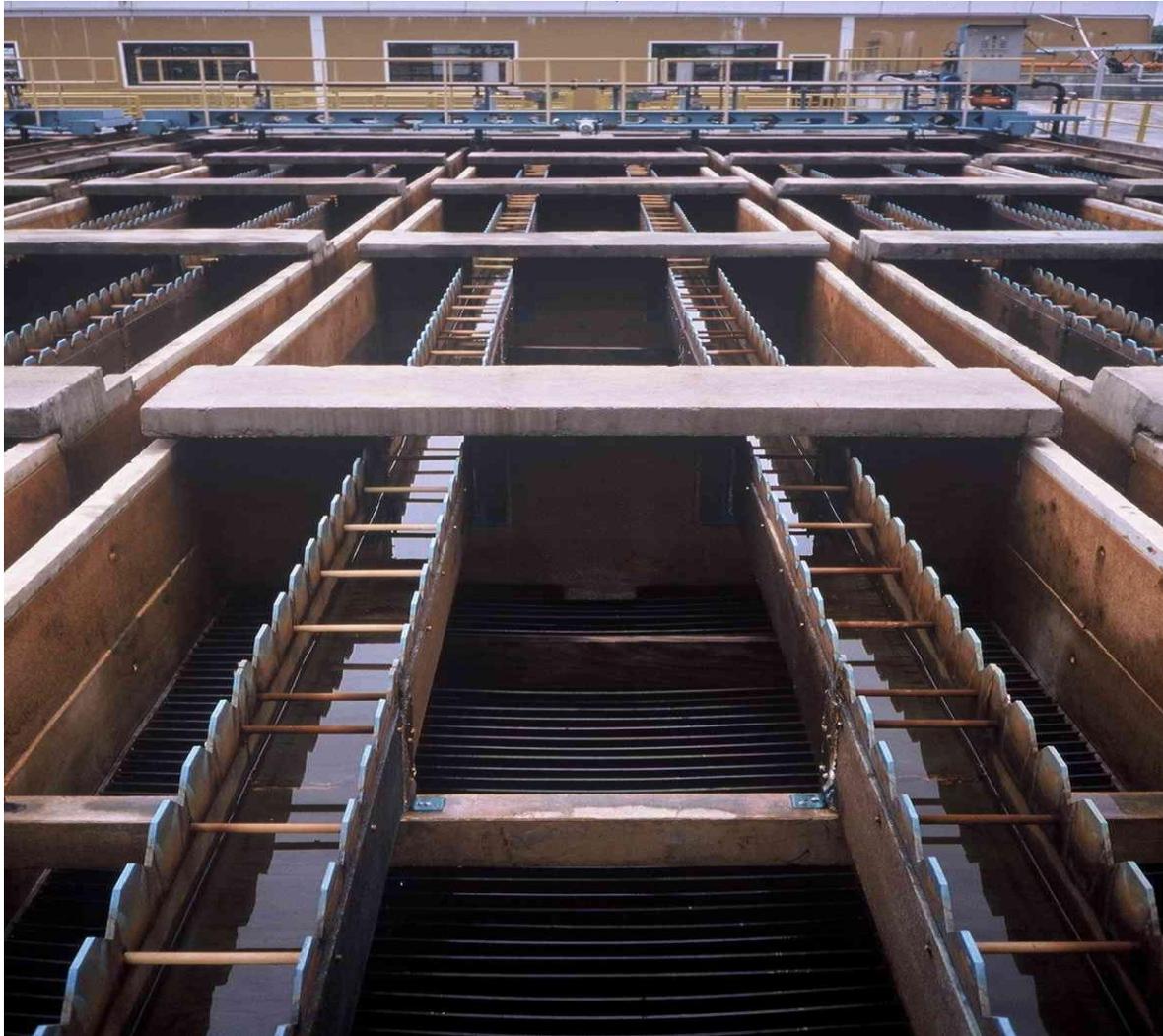


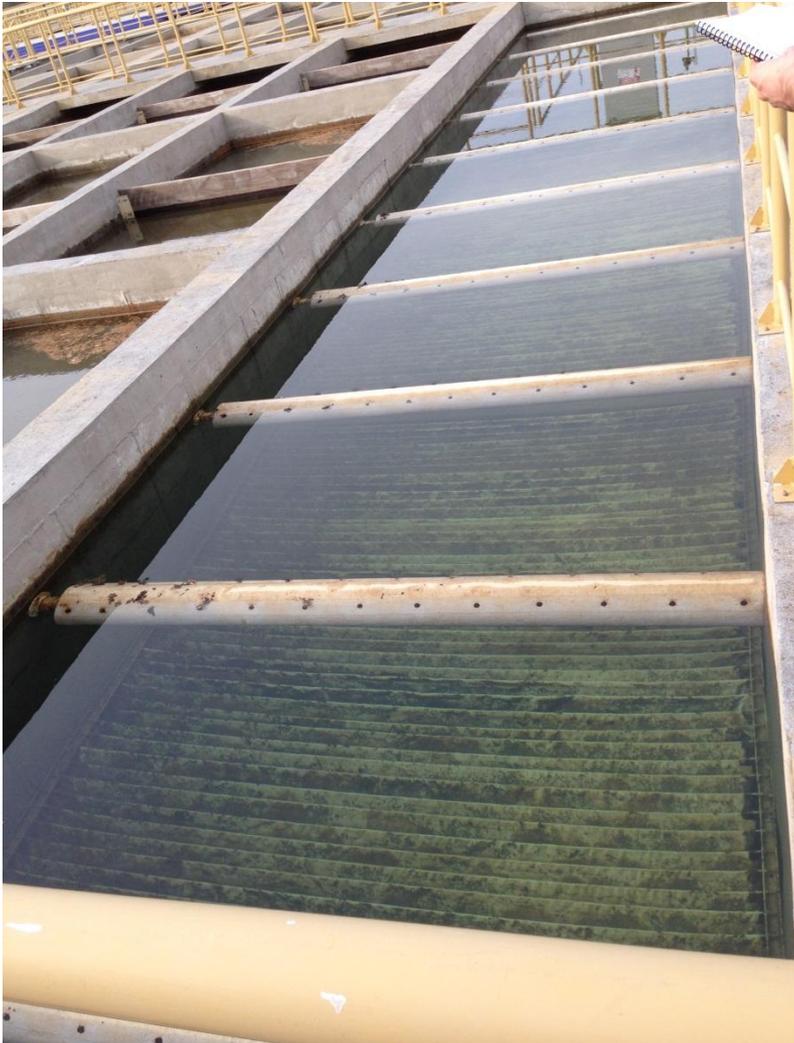


Decantadores laminares

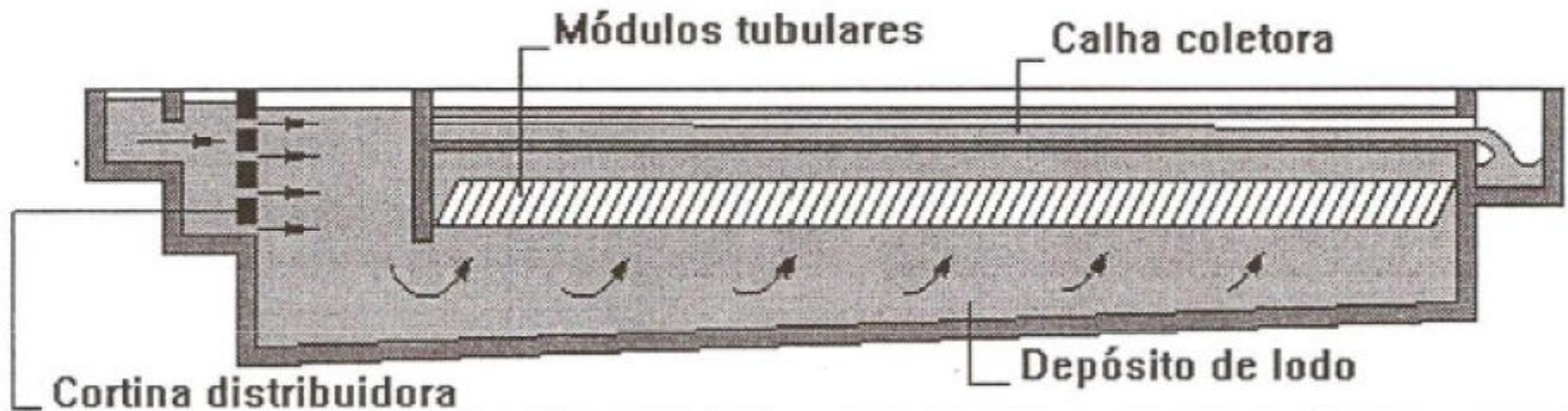


Decantadores laminares



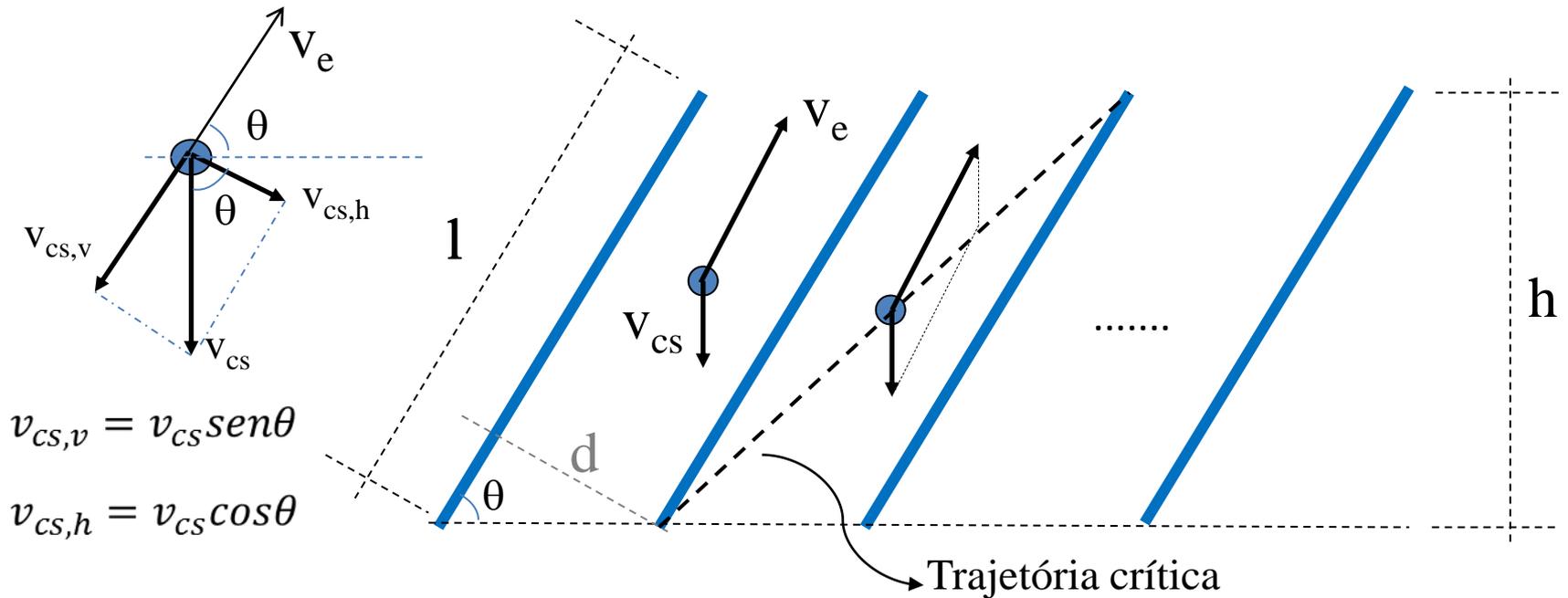


Decantador tubular adaptado a partir de decantador clássico retangular



Fonte: CARLOS EDUARDO F MELLO (UFOP)

Bases teóricas para dimensionamento dos decantadores de altas taxas



$$\begin{aligned}
 v_e - v_{csv} &= \frac{l}{t} \\
 v_{csh} &= \frac{d}{t}
 \end{aligned}
 \rightarrow t = \frac{l}{v_e - v_{csv}} = \frac{d}{v_{csh}} \rightarrow \frac{l}{d} = \frac{v_e - v_{cs} \text{sen} \theta}{v_{cs} \text{cos} \theta}$$

v_{cs} = velocidade crítica de sedimentação

v_e = velocidade no sentido do escoamento

l = comprimento das placas

d = distância entre unidades sucessivas de placas paralelas ou diâmetro interno do elemento tubular

Bases teóricas para dimensionamento dos decantadores de altas taxas

Eficiência de um sistema de decantação tubular varia com sua configuração segundo um fator S:

- S_c = constante crítica = fator de eficiência
 - Placas planas – $S = 1$
 - Placas onduladas – $S = 1,3$
 - Tubos circulares – $S = 4/3$
 - Conduitos quadrados – $S = 11/8$

$$V_{cs} = \frac{S_c v_e}{\text{sen}\theta + r \cos\theta}$$

Sendo $r = l/d$

- θ = ângulo de inclinação das placas ou tubos
A eficiência dos decantadores decresce à medida que se aumenta a inclinação além de 60°
- Obs. Manter $Re < 500$ (preferencialmente manter $Re < 250$)

Canal de água floculada (Canal de acesso ao decantador)

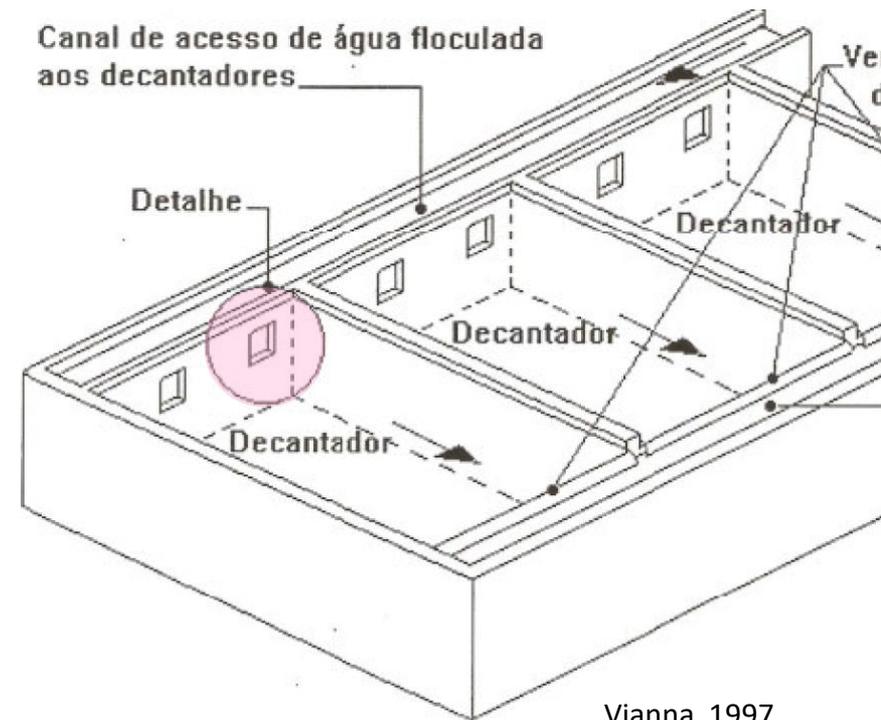
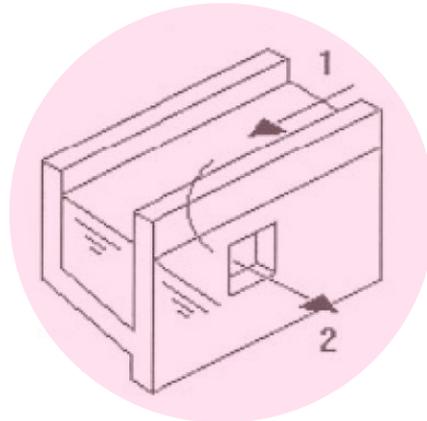
Velocidade ao longo do canal:

Consultar NBR 12216/92

- Maior que 0,15 m/s → para evitar sedimentação (senão devem ser previstas facilidades para limpeza (declividade, registros de descarga, etc))
- No máximo igual à metade da velocidade nas aberturas de entrada nos decantadores

Seção transversal:

- Decrescente ao longo do comprimento



Comportas:

- Objetivo: distribuir equitativamente a água no decantador
- Gradiente de velocidade (G): menor ou igual à última câmara de floculação

Cortina distribuidora

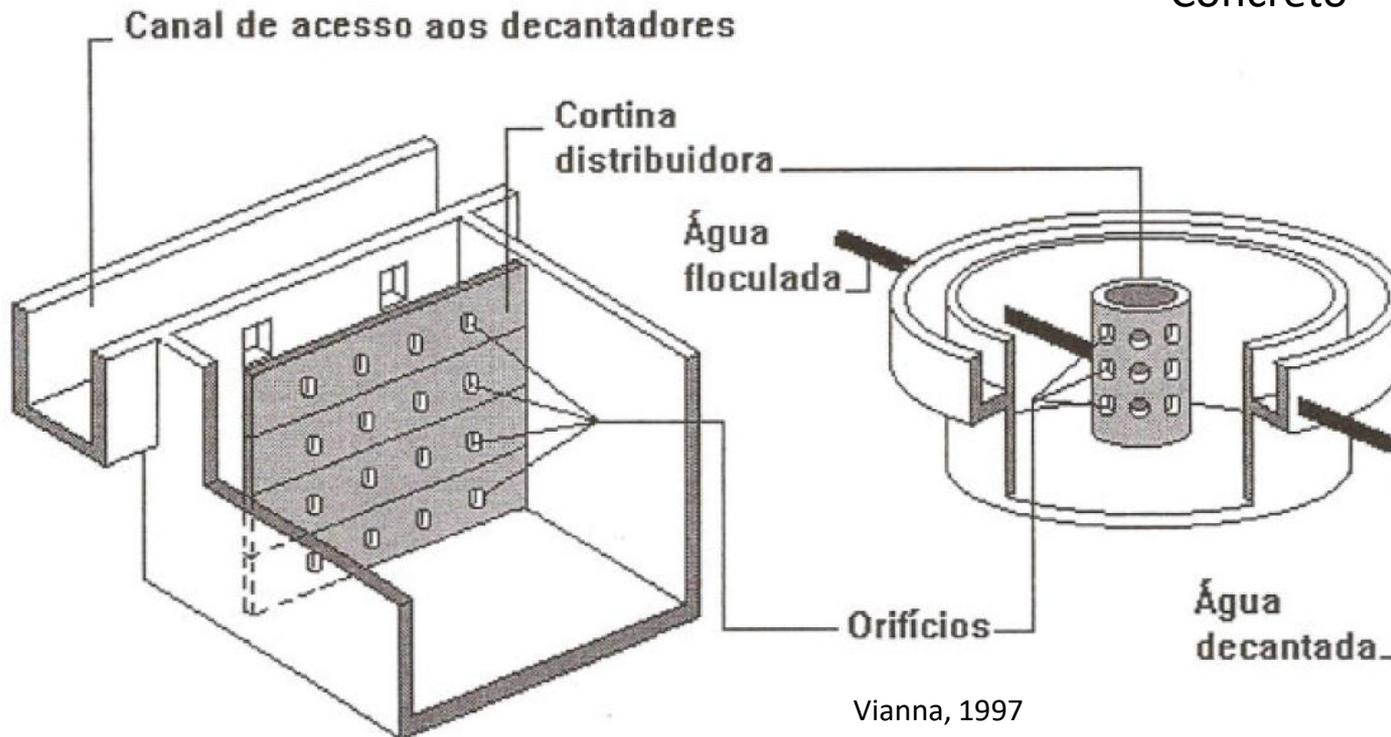
Objetivo: Uniformizar o fluxo de água floculada

Velocidade:

- Muito baixa: distribui mal
- Muito alta: Quebra o floco

Material:

- Alvenaria
- Madeira
- Concreto



Cortina distribuidora

Gradiente de velocidade:

$$G = \frac{D}{S} \sqrt{\frac{\pi U^3}{8 C_d^2 \nu x}}$$

G = gradiente de velocidade (s⁻¹)

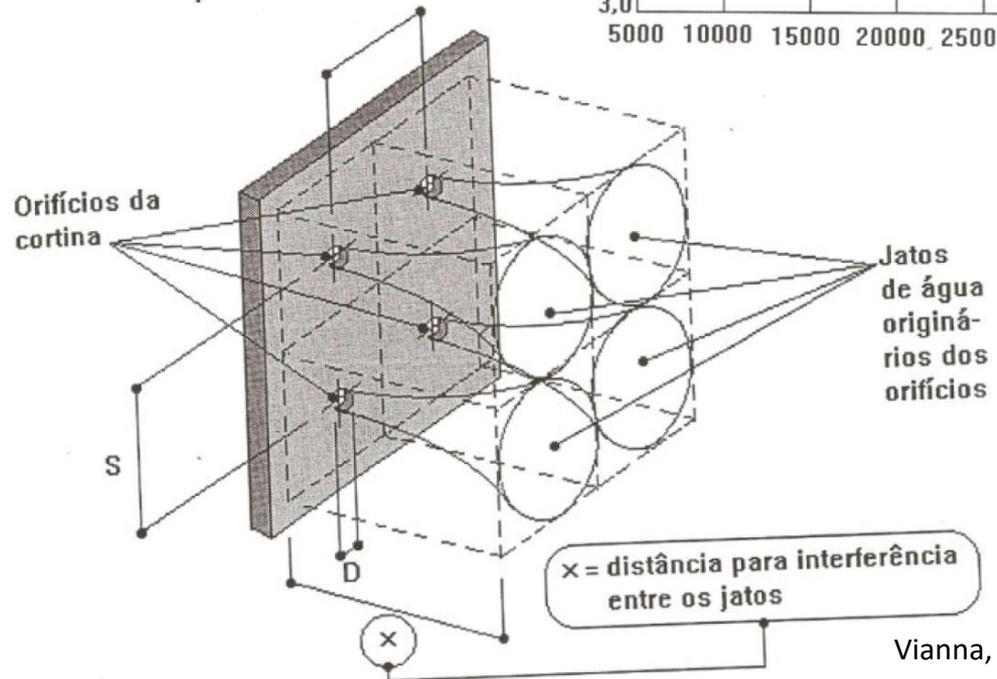
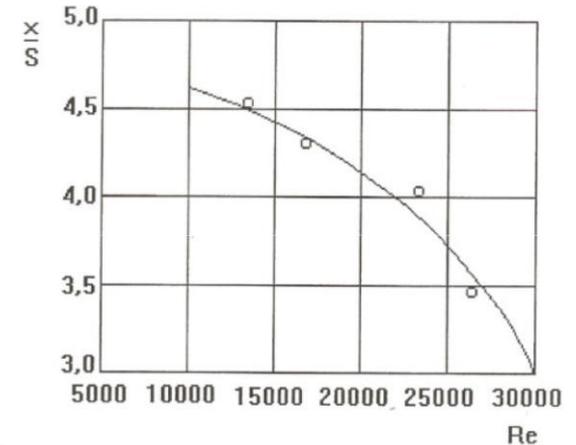
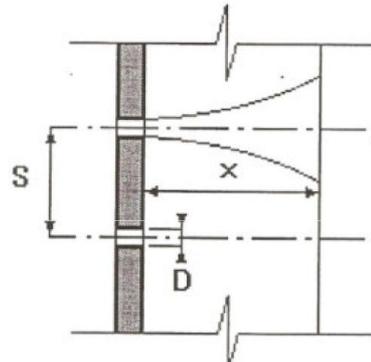
D = diâmetro do orifício (m)

S = espaçamento entre os eixos de dois orifícios adjacentes (m)

U = velocidade média de passagem de água através do orifício (m/s)

ν = viscosidade cinemática da água (m²/s)

x = distância percorrida pelos jatos até que haja interferência entre eles (m)



Vianna, 1997

Distância entre orifícios $\leq 0,5$ m

Distância da entrada = $1,5 H a/A$

Sendo:

H – Altura útil do decantador (m)

a – área total dos orifícios (m²)

A – Seção transversal do decantador (m²)

$a/A \leq 0,5$

Gradiente de velocidade nos orifícios ≤ 20 s⁻¹

Se a parede da cortina tiver espessura inferior à dimensão que caracteriza as aberturas de passagem da água, estas devem receber bocais de comprimento pelo menos igual à referida dimensão.

Decantador convencional x de alta taxa

Decantador convencional

- escoamento horizontal
- $TAS < 50 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$
- Tempo de residência (θ_H):
2-4 h

Decantador de alta taxa

- Introdução de dutos/placas
- $TAS \rightarrow 150 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$
- Tempo de residência (θ_H):
<60min \rightarrow Área menor

Remoção de lodo:

- Mecânica ou manual
- Frequência=f(conc. de sólidos), mas não pode ser longo demais para não solubilizar metais/impurezas

DECANTADORES LAMINARES

PARÂMETROS DE PROJETO

- ▶ Velocidade de sedimentação: 20 a 60 m/dia
(Em função das características do floco, definidas pelas etapas de coagulação e floculação)
- ▶ Ângulo das placas com a horizontal: 60°
- ▶ Comprimento da placa: 0,6 a 1,2 metros
- ▶ Velocidade de escoamento entre as placas: 15 a 20 cm/min
- ▶ Espaçamento entre as placas: 4 a 8 cm
- ▶ Altura do decantador: 4 a 6 metros
- ▶ Relação Comprimento/Largura ≥ 2
- ▶ Taxa de escoamento linear (vertedor) $\leq 1,8$ l/s/m

Em casos de impossibilidade de ensaio em laboratório da velocidade de sedimentação

$$q_l \leq 0,018.H.q$$

q_l =vazão linear nas calhas de coleta de água decantada (l/s/m)

H=altura útil do decantador (m)

q=taxa de aplicação superficial no decantador (m³/m²/dia)

Referências Bibliográficas

- Richter, Carlos A. 2009. Água – Métodos e Tecnologia de Tratamento. São Paulo: Ed. Blucher.