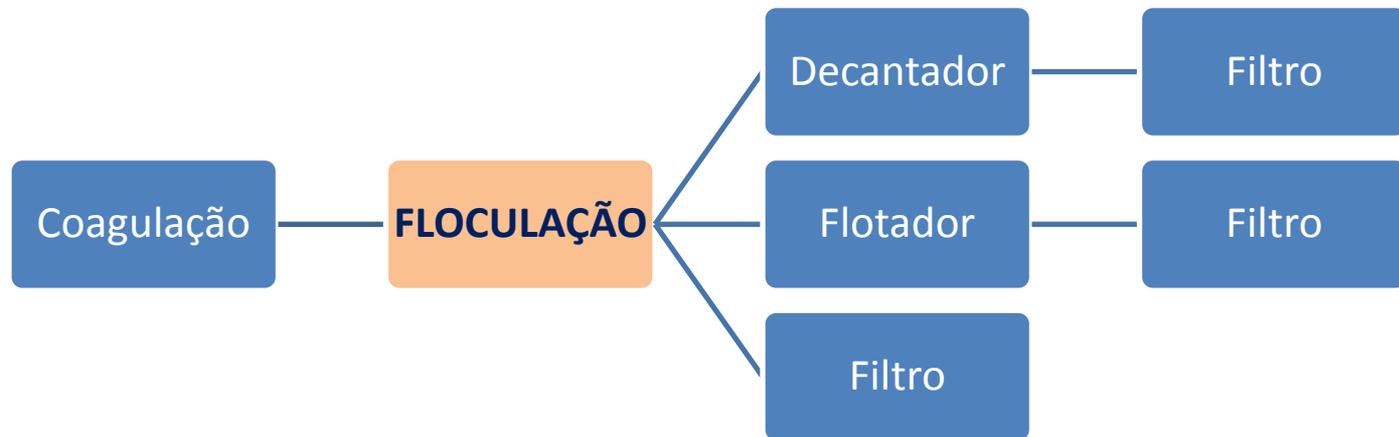


10.4 – Floculação - Mistura Lenta

Promover agregação das partículas para aumentar tamanho e encaminhar para unidade seguinte para remoção dos flocos



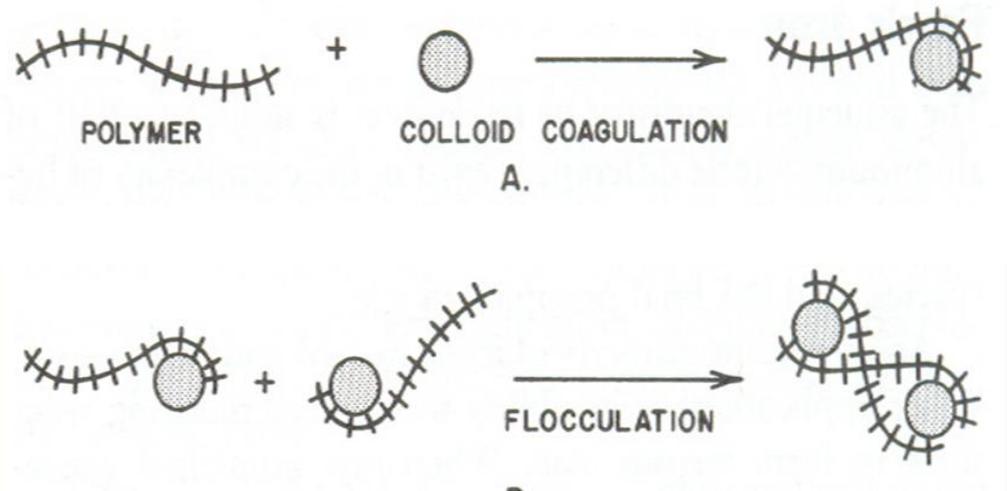
Floculação

Processo que segue a coagulação, com agitação relativamente lenta para

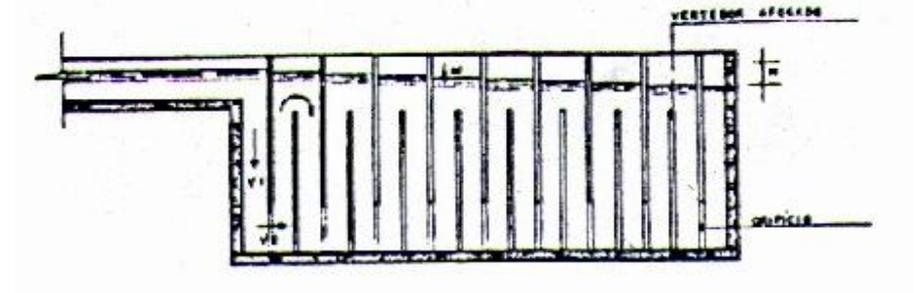
- ocorrer choques entre as impurezas
- provocar aglomerações
- formar partículas maiores (flocos)

Formação de flocos ocorre através:

- das Forças de Van der Waals e
- Movimento Browniano.



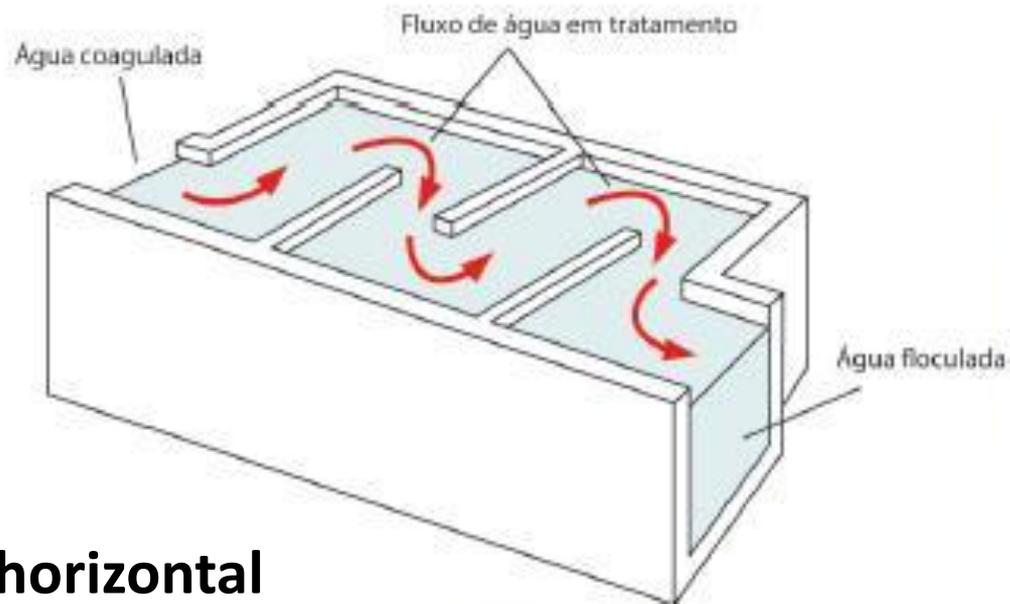
- Tipos de mistura:
 - **hidráulica** (chicanas, alabama)



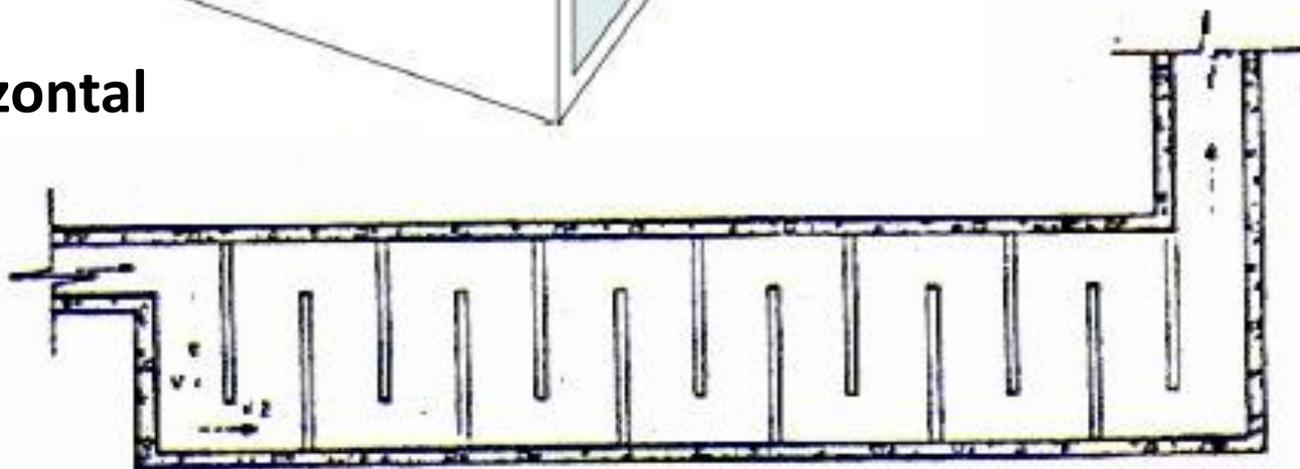
- **mecânica**
(misturadores em turbina e pás rotativas)



Câmara com chicanas



De Fluxo **horizontal**
Planta



Floculador de fluxo horizontal

ETA SANTA ISABEL



De Fluxo **vertical**
Corte transversal

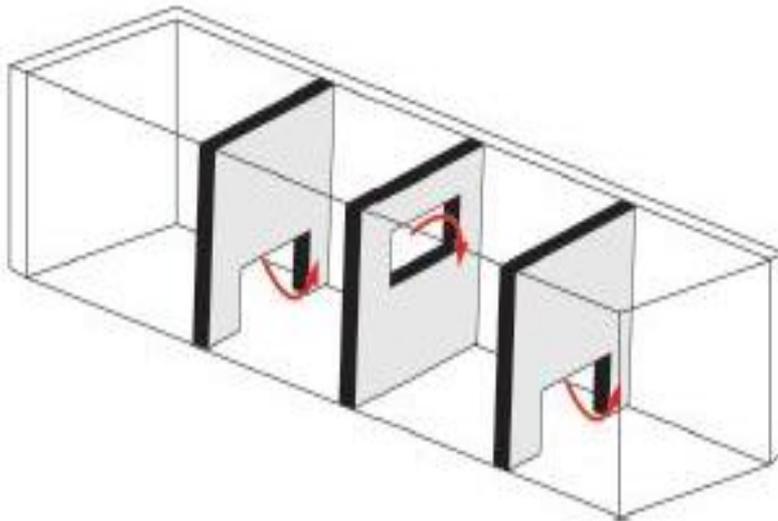
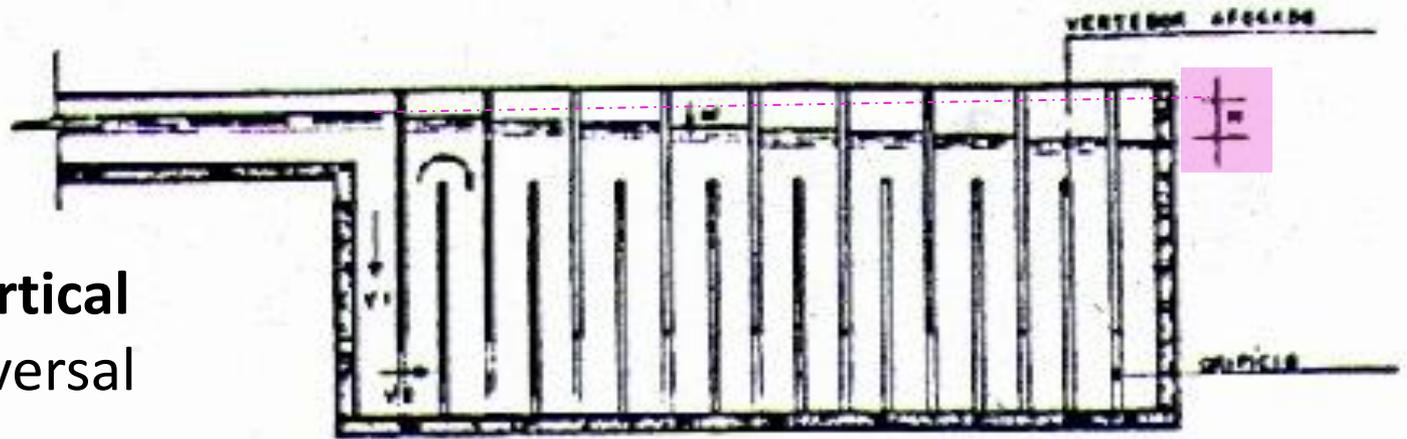


Foto: Divulgação Degremont

20. Mistura e Floculação

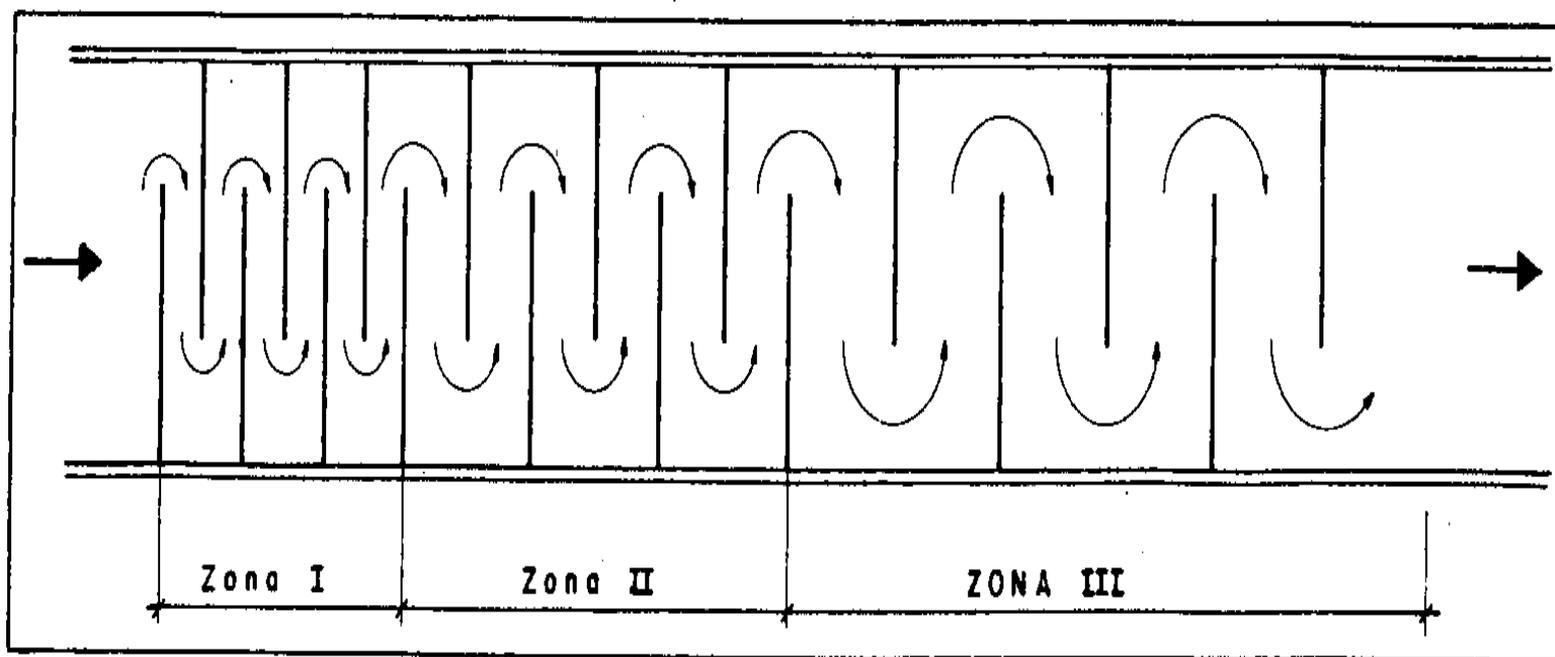


Figura 20.13 – Floculador de chicanas com gradiente variável.

Floculador de fluxo vertical

ETA RIBEIRÃO DA
ESTIVA





Floculador Mecânico



Prof. Daniel Costa
dos Santos (UFPR)

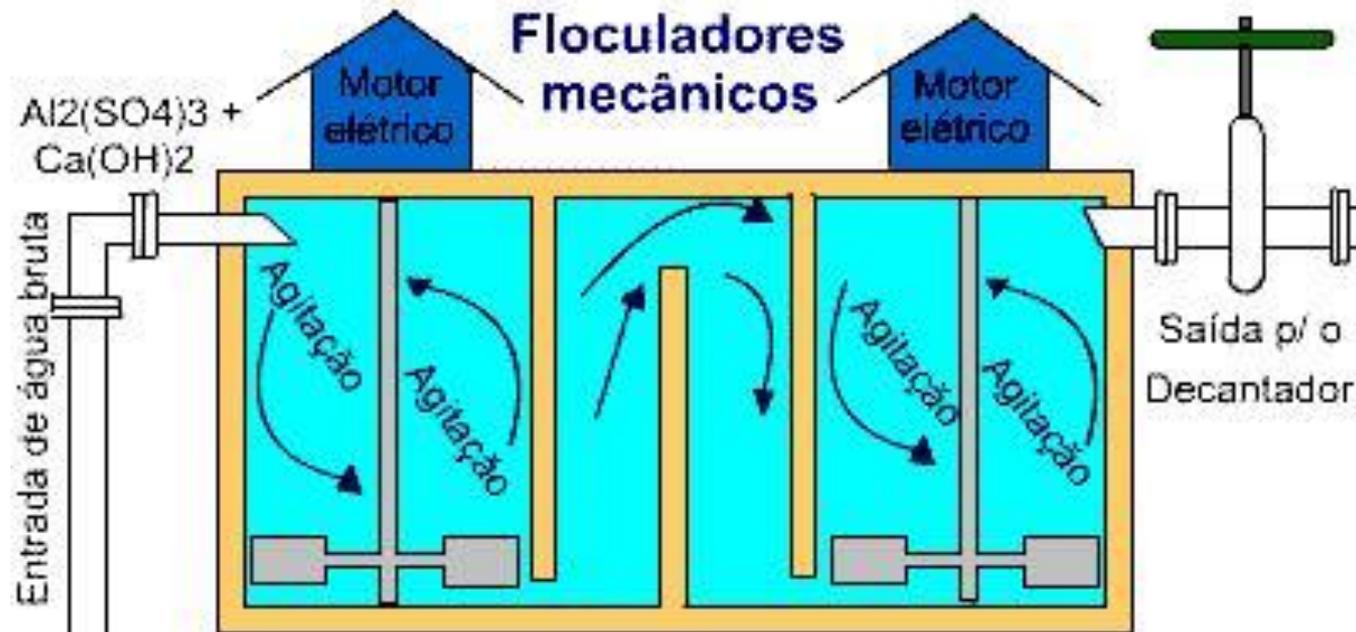
ETA ALTO DA BOA VISTA

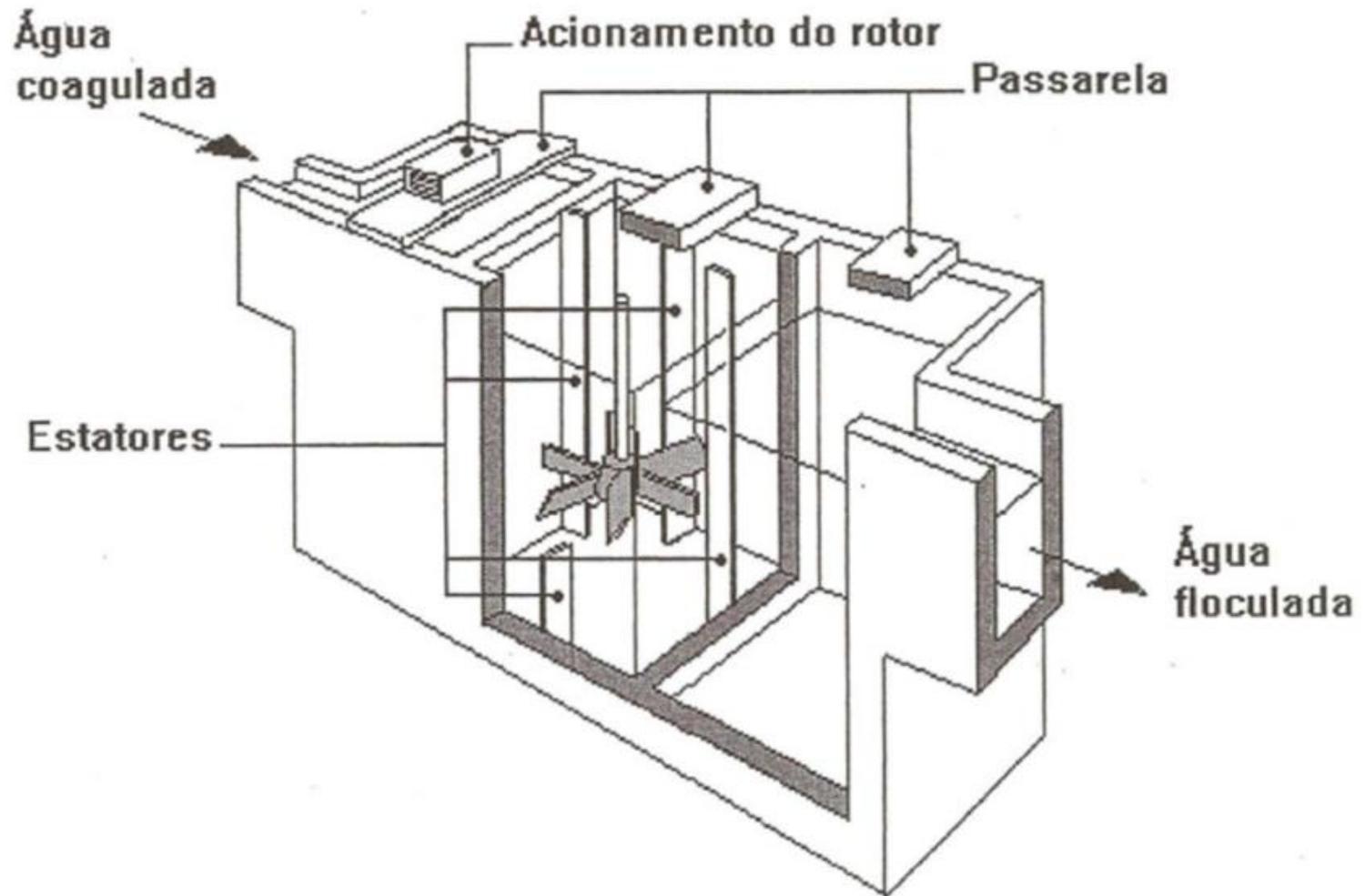


ETA ALTO TIÊTE (SABESP)

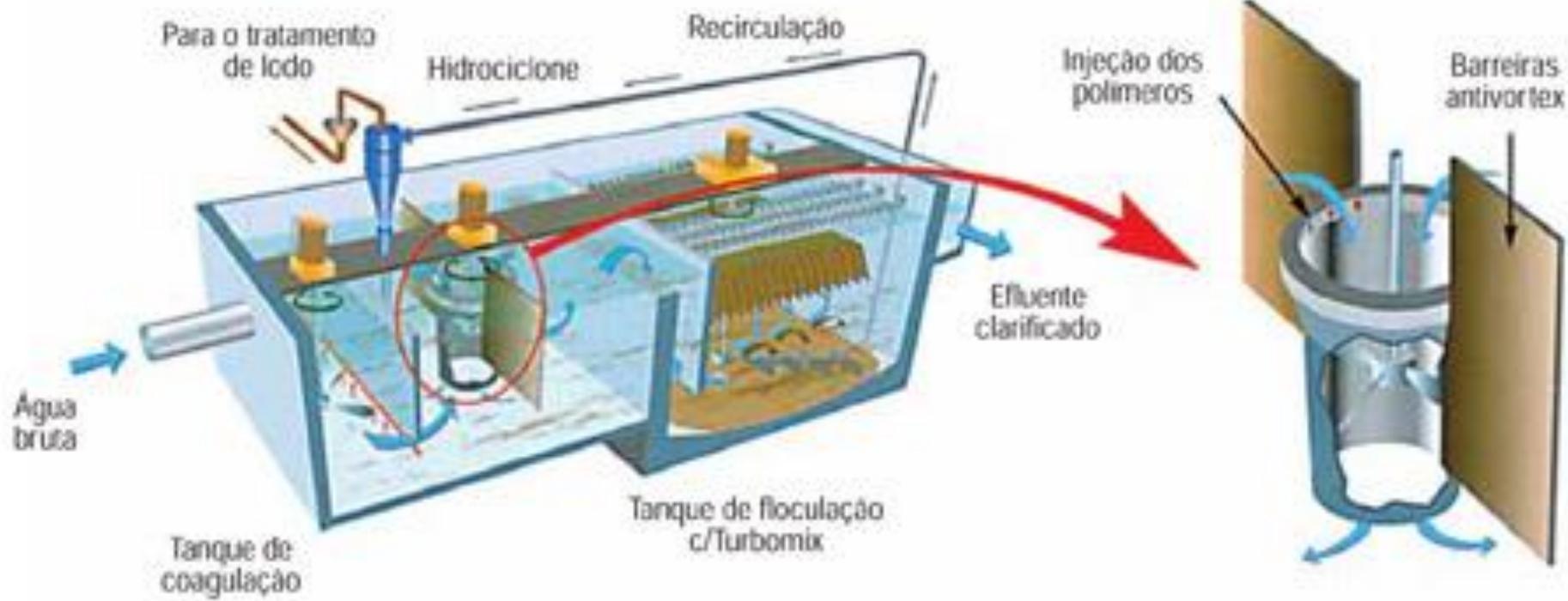


Floculadores mecanizados





Actiflo turbo



ETA Guaraú



ETA Guaraú





Floculação - Parâmetros de projeto

NBR 12216/92

- Determinados por ensaio
- Período de detenção no tanque
 - Floculadores hidráulicos: 20-30 min
 - Floculadores mecanizados: 30-40 min
- Gradiente de velocidade (G)
 - Em função do tempo de floculação (inversamente)
 - 3 a 5 câmaras de floculação em série com gradiente escalonado e decrescente de montante para jusante
 - Grad máximo no 1°.compartmento: **70 s⁻¹ – 80 s⁻¹**
 - Grad mínimo no último compart.: **10 s⁻¹ – 20 s⁻¹**
- Parâmetro GxT
 - GT entre $3 \cdot 10^4$ e $2 \cdot 10^5$

Floculadores Hidráulicos

- Pré-dimensionamento:**

Volume (Vol)

$$Vol = Q \cdot \theta_h$$

Área superficial (As)

$$A_s = \frac{Vol}{h}$$

Largura (B)

$$B = \frac{A_s}{L}$$

θ_h : Tempo de detenção hidráulico (min)

- Número de espaçamentos entre chicanas em cada câmara de floculação (N_e)**

Fluxo vertical:

$$N_e = 0,045 \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{B \cdot L \cdot G}{Q} \right)^2} \cdot \theta_h$$

B, L em m

Q em m³/s

G em s⁻¹

θ_h em min

Fluxo horizontal:

$$N_e = 0,045 \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{h \cdot L \cdot G}{Q} \right)^2} \cdot \theta_h$$

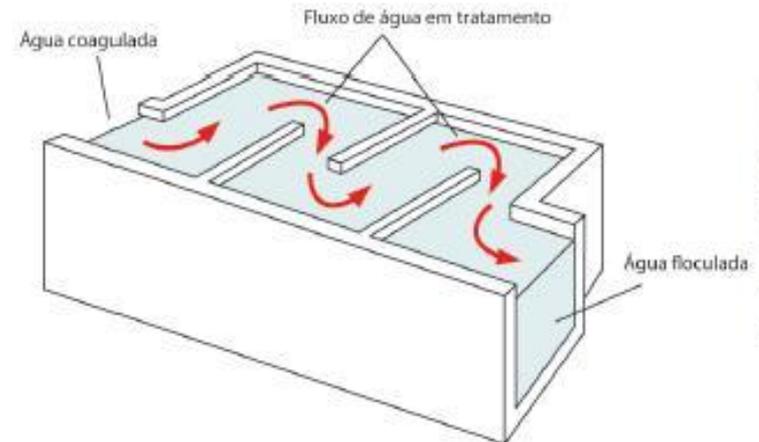
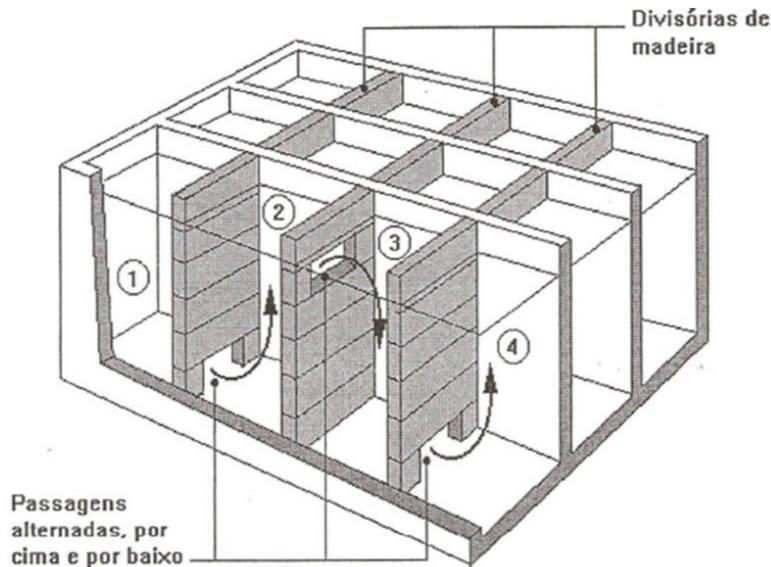


Foto: Divulgação Degremont

cont. Floculadores Hidráulicos

- **Espaçamento entre chicanas**

$$e = \frac{L}{N_e}$$

- **Velocidades:**

– nos trechos retos (V_1)

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

-- nas curvas 180° (V_2)

$$V_2 = \frac{2}{3} \cdot V_1$$

- **Extensão dos canais**

Fluxo vertical: $L_t = h \cdot N_e$

Fluxo horizontal: $L_t = B \cdot N_e$

Verificação: $\theta_h = \frac{L_t}{V_1}$

- **Raio Hidráulico (R_H)**

Fluxo vertical: $R_H = \frac{B \cdot e}{2 \cdot (B + e)}$

Fluxo horizontal: $R_H = \frac{h \cdot e}{2h + e}$

$$R_H = \frac{A_m}{P_m}$$

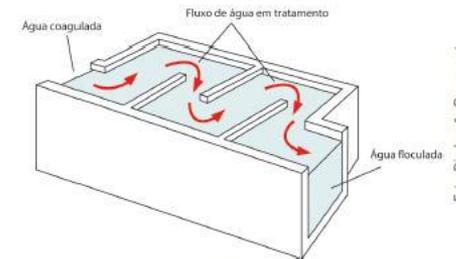
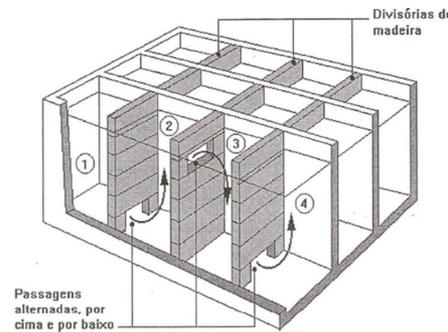


Foto: Divulgação Degremont

- **Perdas de carga (ΔH)**

– Perdas de carga distribuídas

$$j = \left(\frac{Q \cdot n}{A \cdot R_H^{2/3}} \right)^2 \quad \Delta H_d = j \cdot L_t$$

- Perdas de carga localizadas

$$\Delta H_l = \frac{N_e \cdot V_1^2 + (N_e - 1) \cdot V_2^2}{2 \cdot g}$$

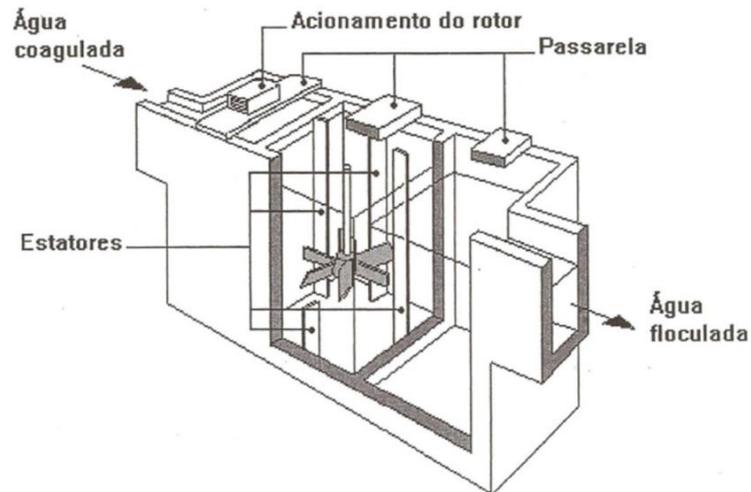
n : Manning (Madeira: 0,011; Concreto: 0,013)

- **Gradiente de Velocidade:**

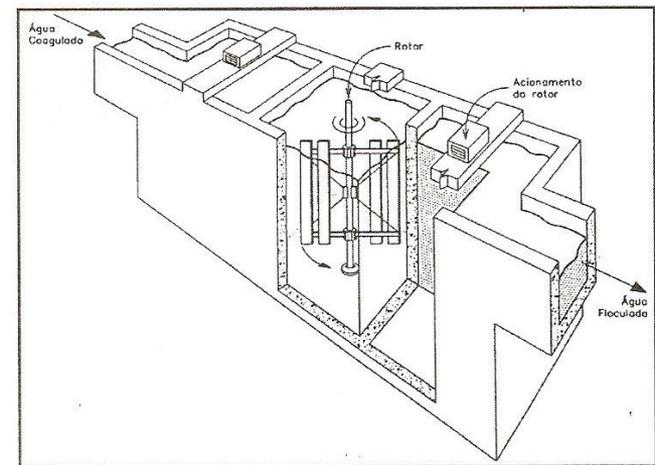
$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \Delta H}{\mu \cdot \theta_h}}$$

Floculadores mecânicos

Giratórios de turbina

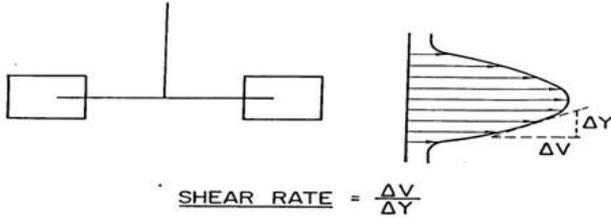


Giratórios de paletas

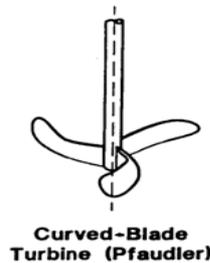
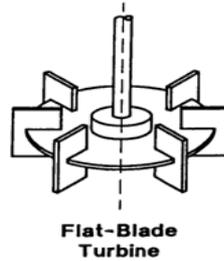
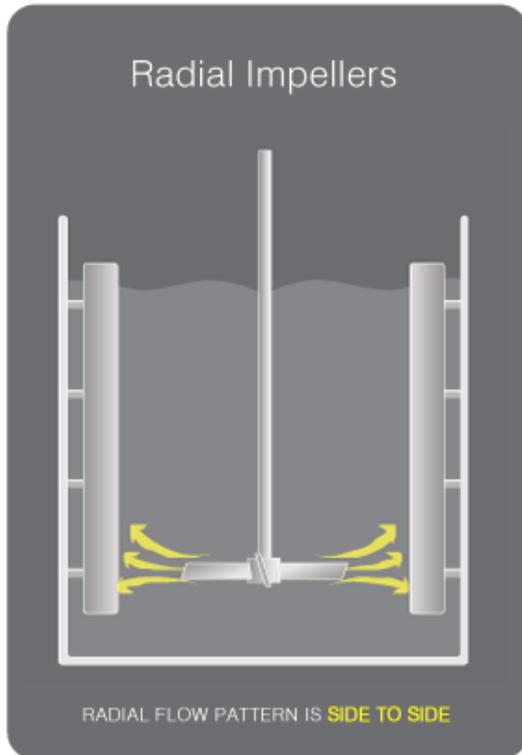


Agitadores mecânicos de turbina

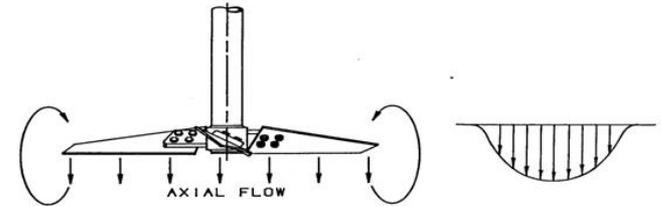
Agitadores de fluxo radial



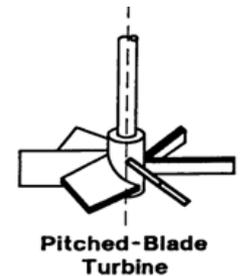
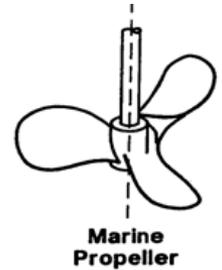
A. Radial flow



Agitadores de fluxo axial



B. Fluidfoil



SISTEMAS DE AGITAÇÃO

Potência dissipada em regime turbulento (Uhl & Gray, 1966):

$$P_{ot} = K_T \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$$

P=Potência dissipada (W)

K_T = f(tipo de rotor)

n=rotação (rps)

D=diâmetro do rotor (m)

ρ =densidade da água

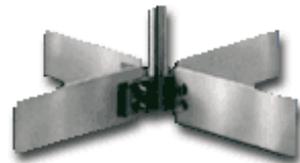
(998,207kg/m³ a 20°C)

Número de potência=f(Re, impulsor, defletores, adimensionais geométricos)

• Na região laminar (Re<10): $N_p = K_L / Re$

• Na região a de turbulência: $N_p = K_T$

FLUXO RADIAL



$$K_T \cong 1,5 \text{ a } 2,0$$



$$K_T \cong 5 \text{ a } 5,5$$

FLUXO AXIAL



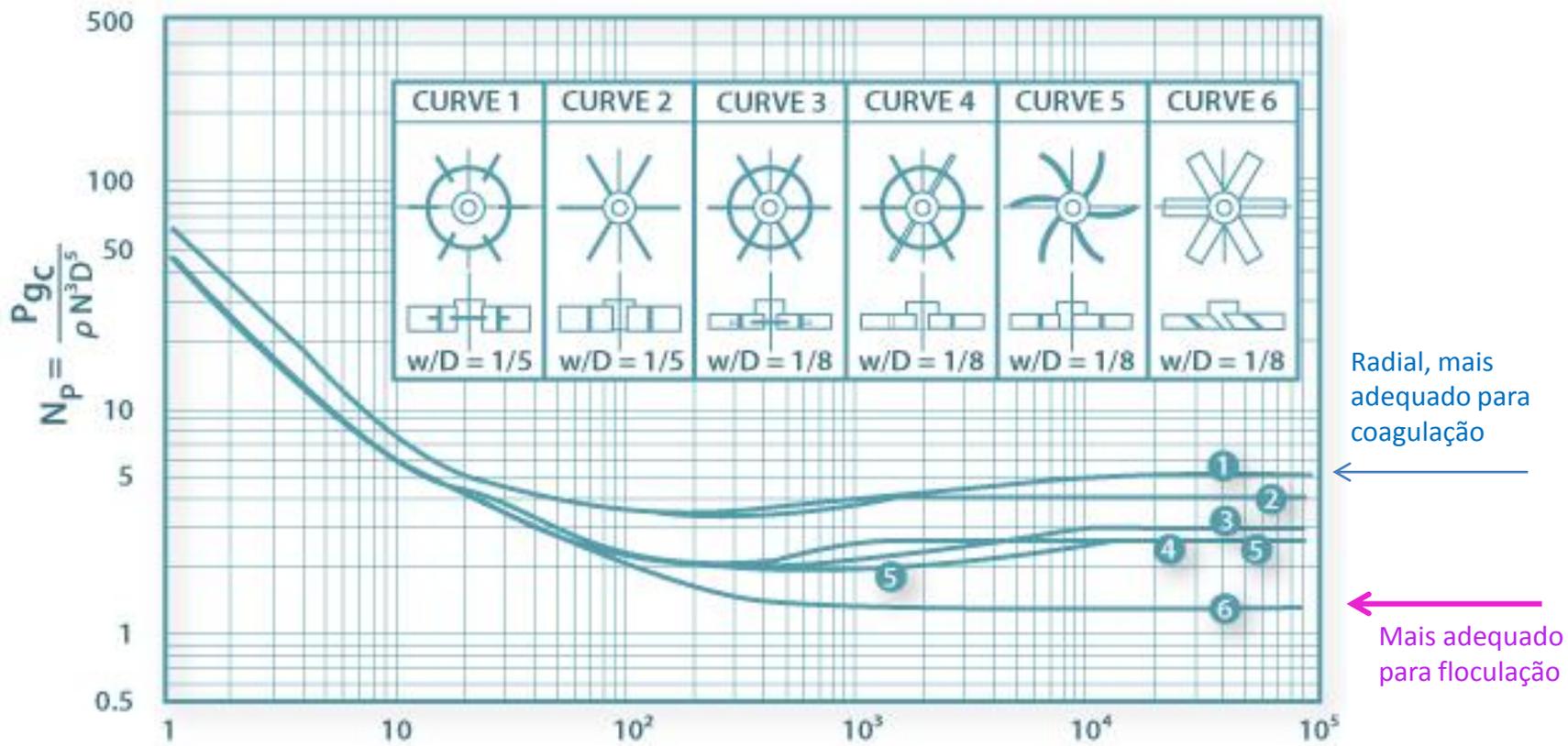
$$K_T \cong 0,3 \text{ a } 0,4$$



$$K_T \cong 0,5 \text{ a } 0,8$$



$$K_T \cong 1,2 \text{ a } 1,3$$



$$N_{Re} = \frac{\rho N D^2}{\mu}$$

Fluxo axial, Turbina com 6 lâminas ligadas ao eixo e inclinadas a 45° → com uma distribuição uniforme de gradiente de velocidade sobre todo o tanque → Mais indicado para a **mistura lenta**

$$P_{ot} = K_T \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$$

Tipo de rotor	Valor de K_T
Hélice propulsora marítima (3 hélices)	0,87
Turbina (seis palhetas retas)	5,75
Turbina (seis palhetas curvas)	4,80
Turbina com quatro palhetas inclinadas a 45°	1,27
Turbina com quatro palhetas inclinadas a 32°	1,0 a 1,2
Turbina com seis palhetas inclinadas a 45°	1,63

Variação das Dimensões do Sistema Tanque-Turbina

$$2,0 \leq \frac{L}{D} \leq 6,6$$

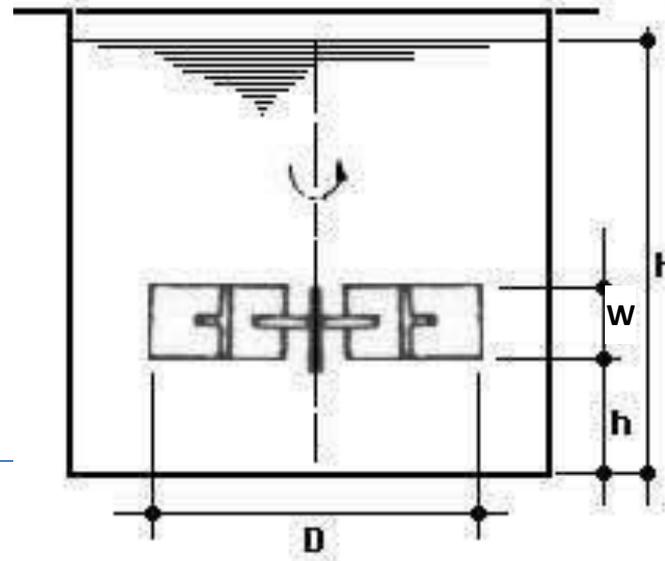
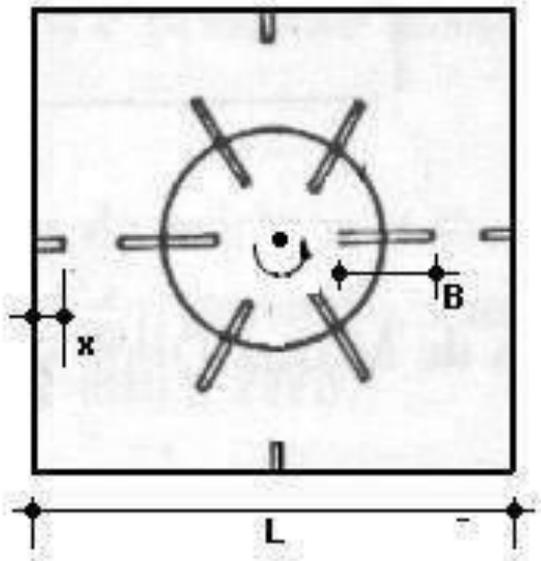
L = largura do tanque (seção) e D = diâmetro da turbina

$$2,7 \leq \frac{H}{D} \leq 3,9$$

H = profundidade útil do tanque

$$0,9 \leq \frac{h}{D} \leq 1,1$$

h = distância do disco da turbina até o fundo do tanque



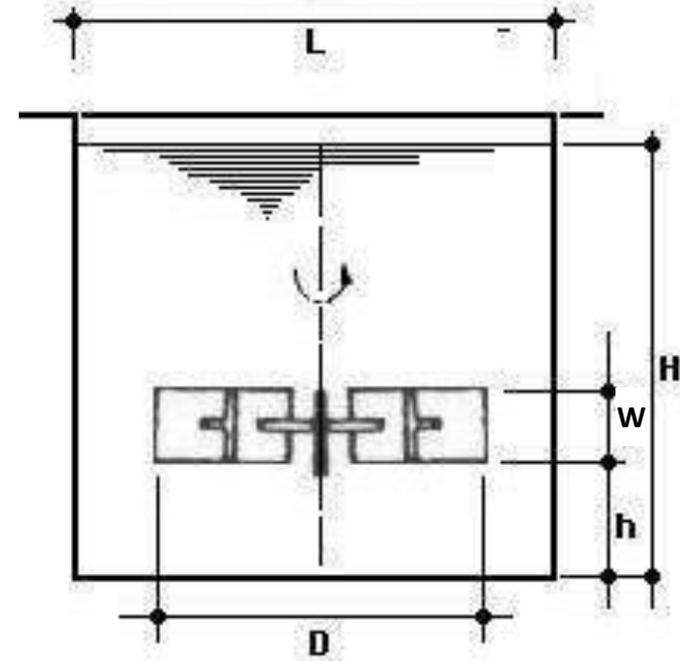
Variação das Dimensões do Sistema Tanque Turbina

$$w = \frac{D}{8}$$

w = altura da paleta

$$x = \frac{D}{12}$$

x = largura da cortina



Floculadores giratórios de palhetas

$$P_{ot} = F_a \cdot v$$

$$F_a = \frac{C_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2}{2}$$

$$P_{ot} = \frac{C_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^3}{2}$$

F_a =força de arraste (N)

v =velocidade da palheta em relação ao fluido (m/s)

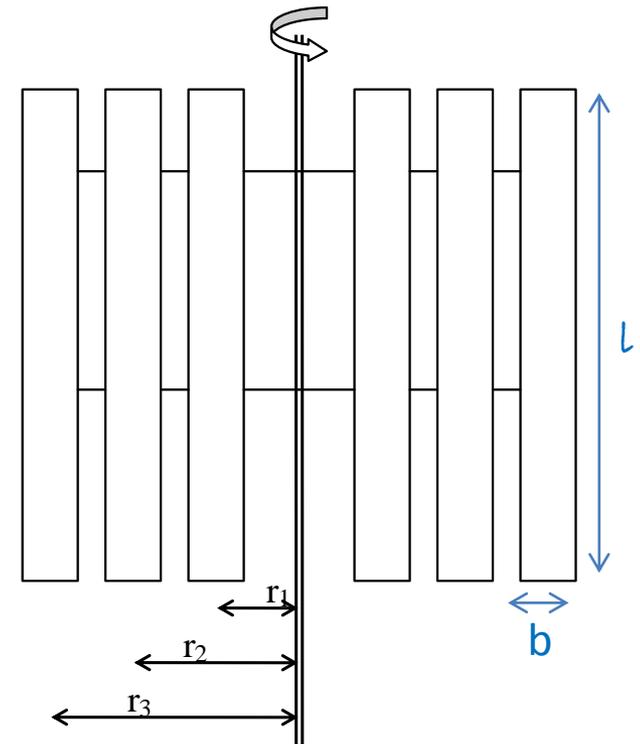
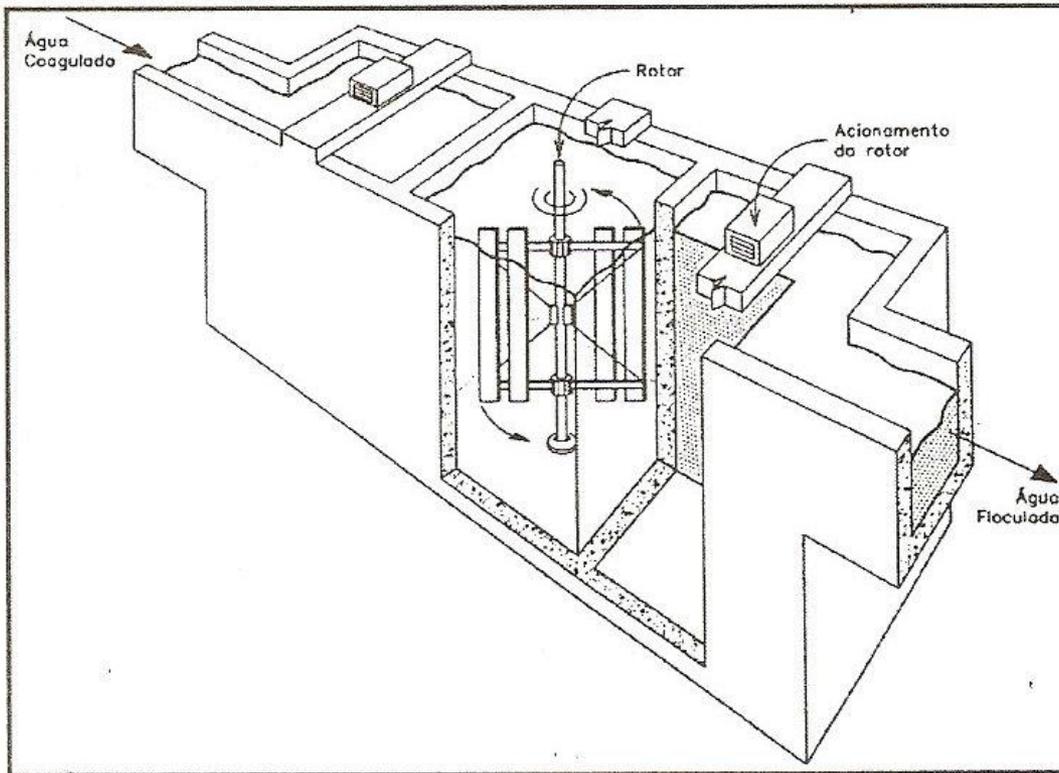
C_d =coeficiente de arraste na palheta, para fluxo turbulento (adimensional)

A_p =área projetada da palheta (m²)

Palhetas paralelas ao eixo:

$$G = \sqrt{\frac{P_{ot}}{\mu \cdot V_{ol}}}$$

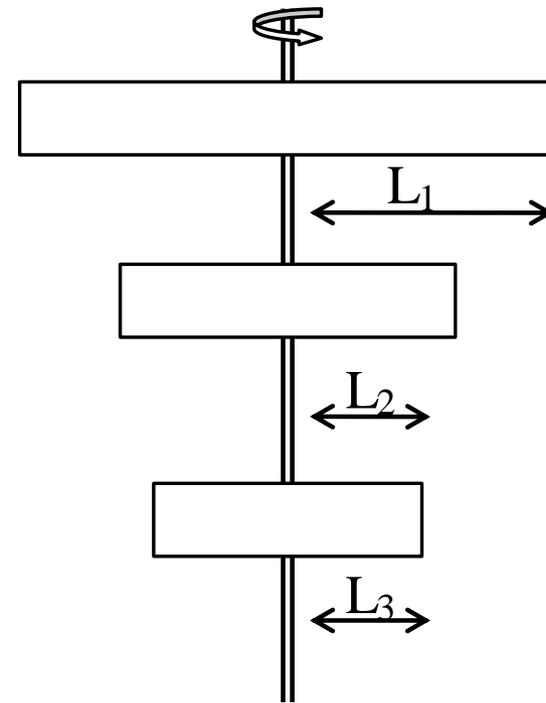
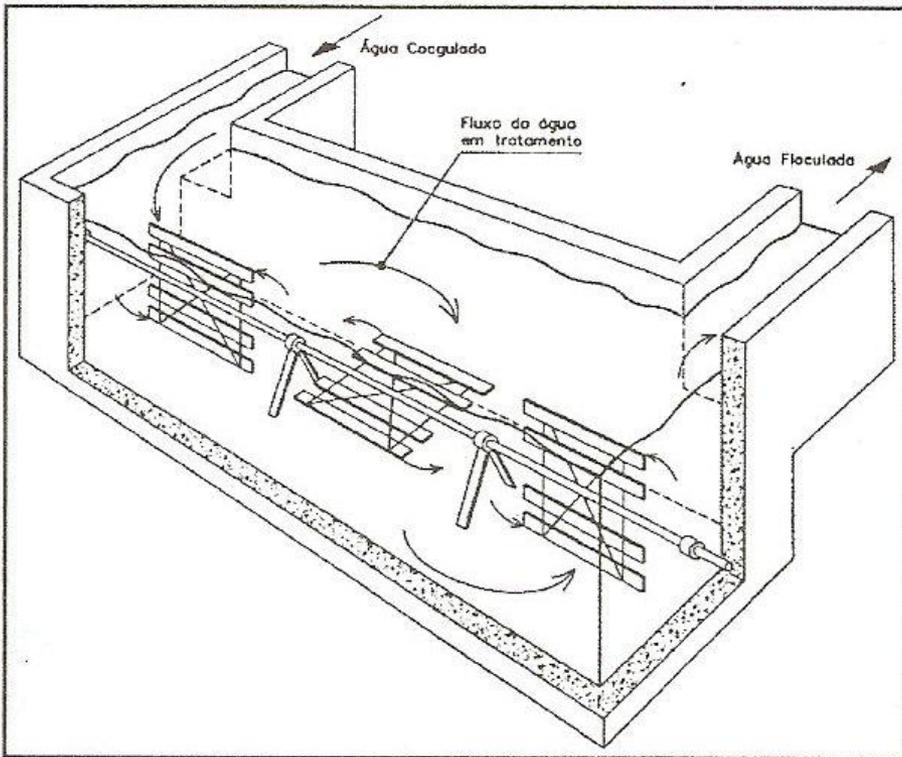
$$G = 112 \sqrt{\frac{C_D (1-k)^3 n^3 b l (N_1 r_1^3 + N_2 r_2^3 + \dots)}{\mu \times V_{ol}}}$$



Palhetas perpendiculares ao eixo

$$G = \sqrt{\frac{P_{ot}}{\mu \cdot V_{ol}}}$$

$$G = 56 \sqrt{\frac{C_D (1-k)^3 n^3 b (N_1 L_1^4 + N_2 L_2^4 + \dots)}{\mu \times V_{ol}}}$$



$(1-k) \rightarrow$ é a relação entre a velocidade da água e das palhetas (em geral $k=0,25$)

$n \rightarrow$ é a rotação das palhetas em rps.

$N_1 ; N_2 \rightarrow$ número de palhetas na posição 1, na posição 2, etc. Em geral se adotam 4 palhetas na mesma posição.

$\mu =$ viscosidade

$V =$ volume da câmara (m^3)

C_D – coeficiente de arraste ou de resistência de um corpo

$1/b$	C_D
1	1,16
5	1,20
20	1,50
>20	1,90

Exercício

Dimensione as câmaras de mistura lenta para vazão de projeto de $1\text{m}^3/\text{s}$

- a) Floculadores hidráulicos de fluxo vertical
- b) Floculadores mecânicos, turbinas com 4 palhetas, inclinadas a 45°



Observação:

Número de decantadores=04

Largura do decantador=12,0 m

Profundidade da lâmina líquida=4,5 m

Admitir que uma das dimensões do floculador é conhecido, sendo esta em função da largura do decantador