

AGITAÇÃO E MISTURA

Prof. Gerônimo

AGITAÇÃO E MISTURA

Objetivos

❖ Mistura

Homogeneização da massa de fluidos.

Adição de componentes.

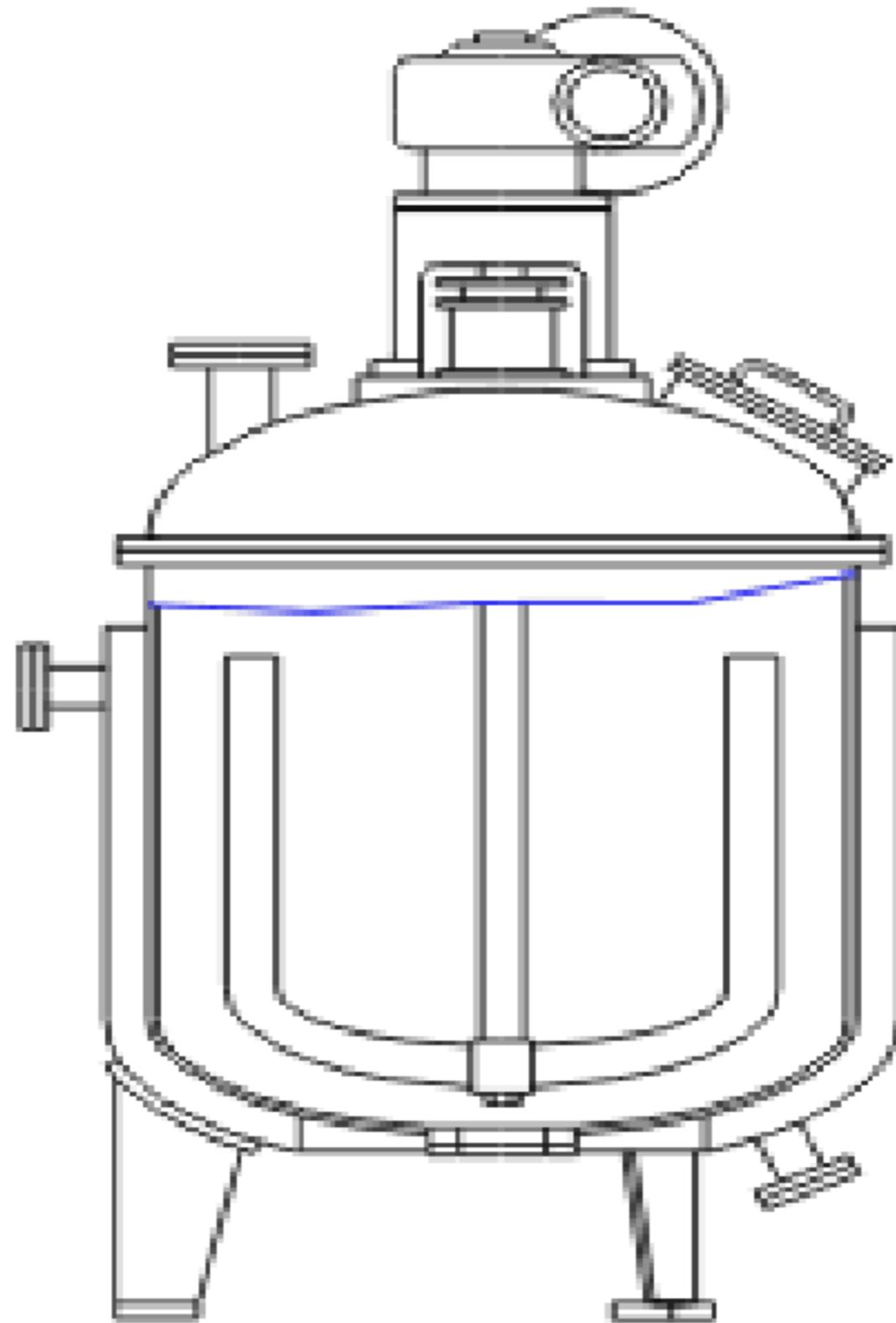
A suspensão de partículas num meio líquido.

❖ Transferência de calor

❖ Transferência de massa

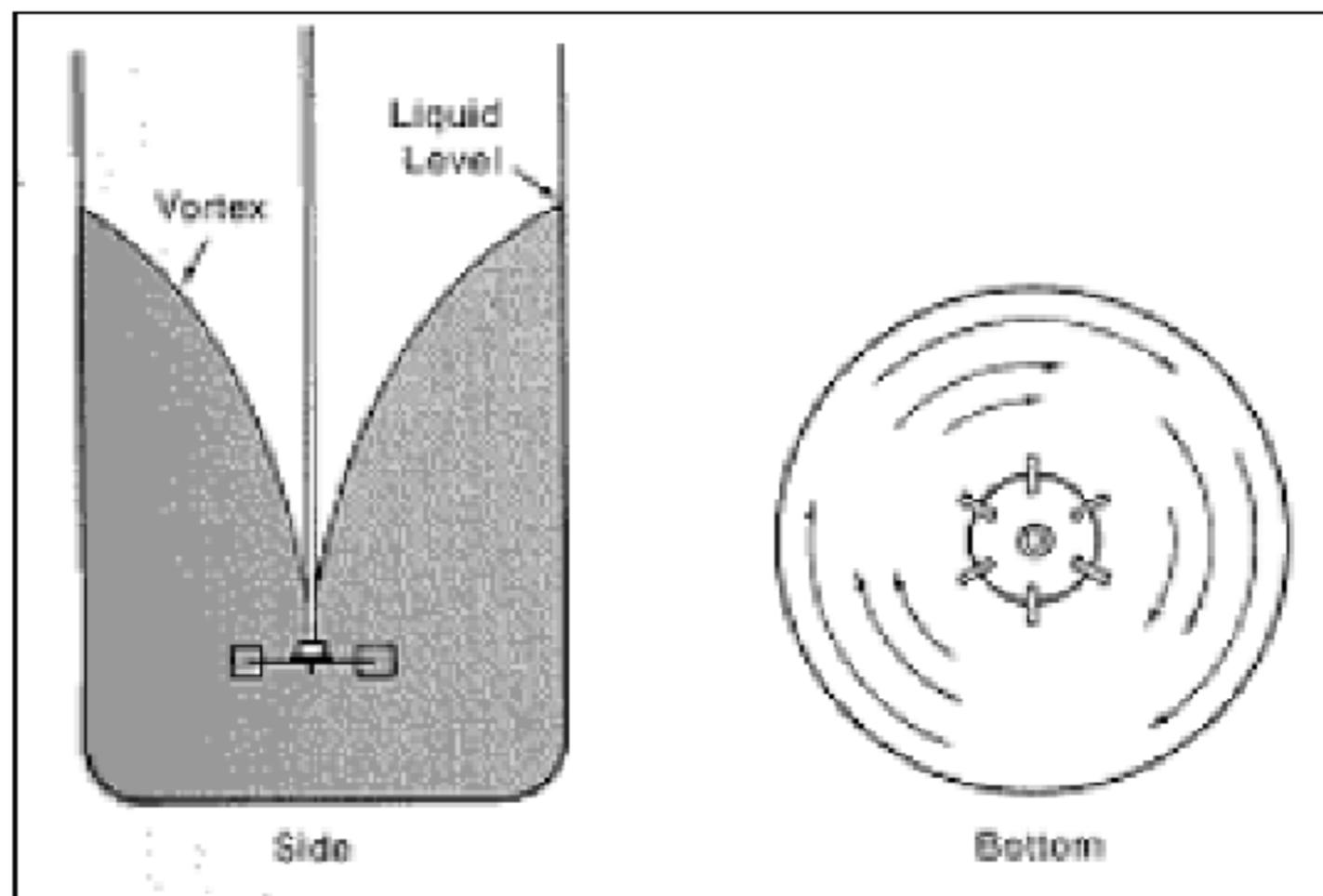
Aeração

❖ Reação Química



Operações em batelada (batch)

O problema de formação de vórtice



Se resolve colocando chicanas (defletores)

TANQUE AGITADO

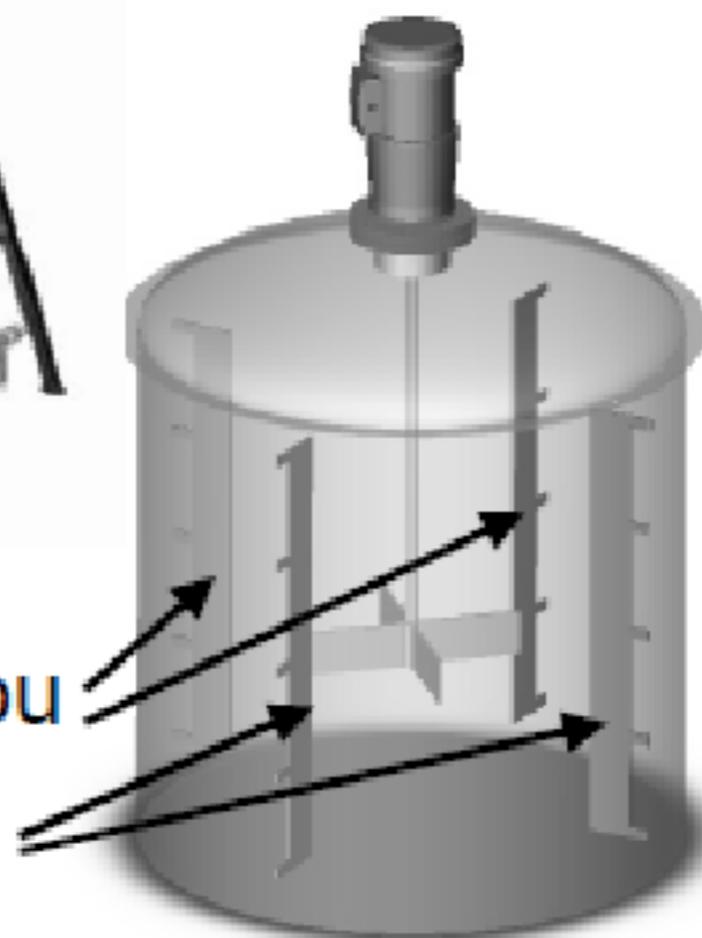
Impulsor ou rotor instalado em um eixo e acionado por um sistema de motor e redutor de velocidade.



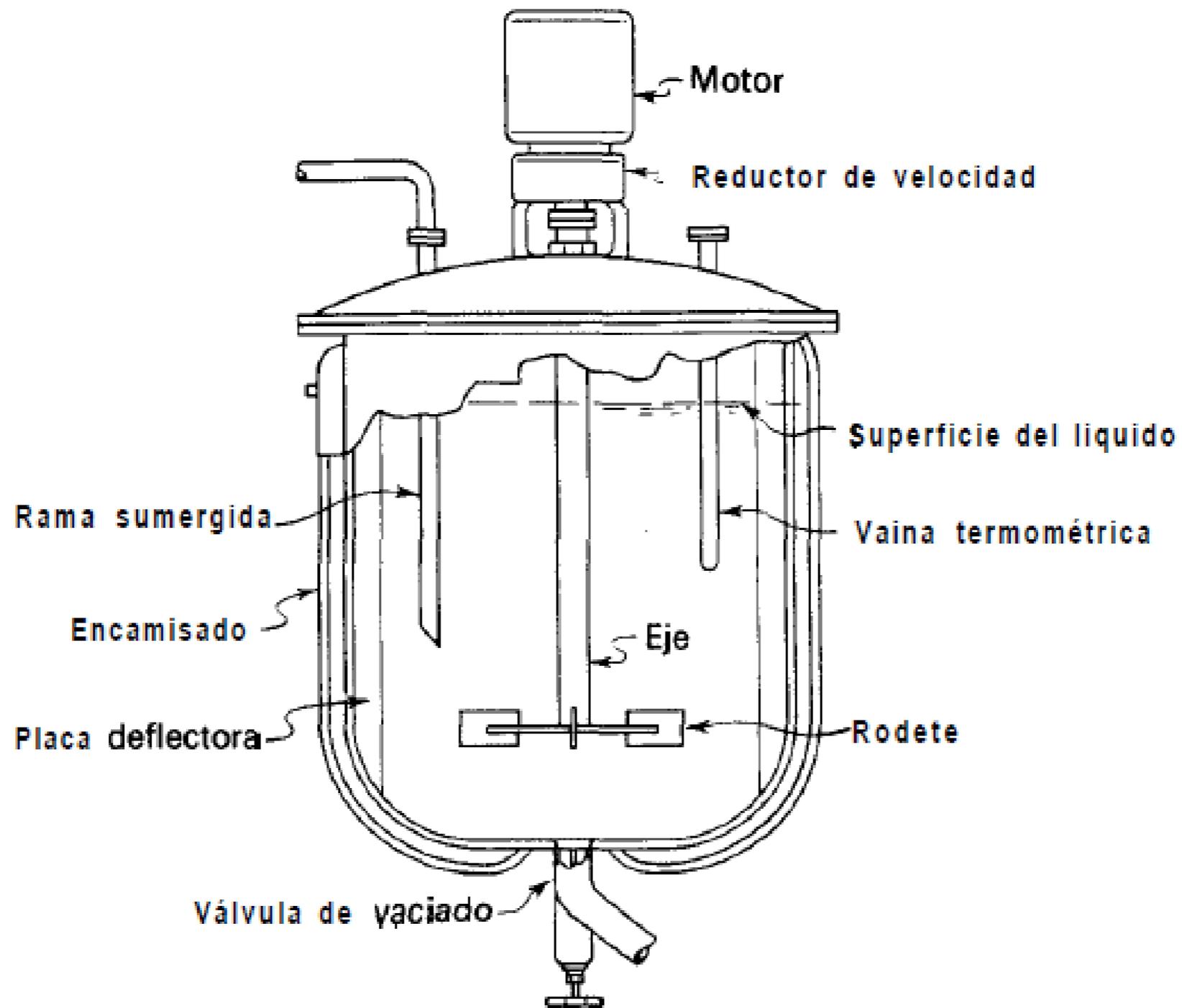
Tanque



Chicanas ou defletores



IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

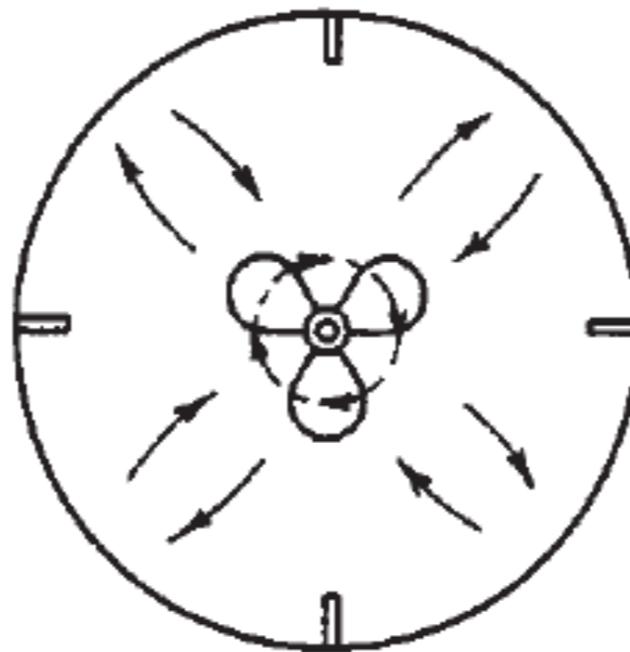


IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **O tipo de fluxo criado pelo impulsor depende:**
 - do tipo de impulsor
 - das características do fluido
 - do tamanho e das proporções do tanque
 - da existência de placas defletoras

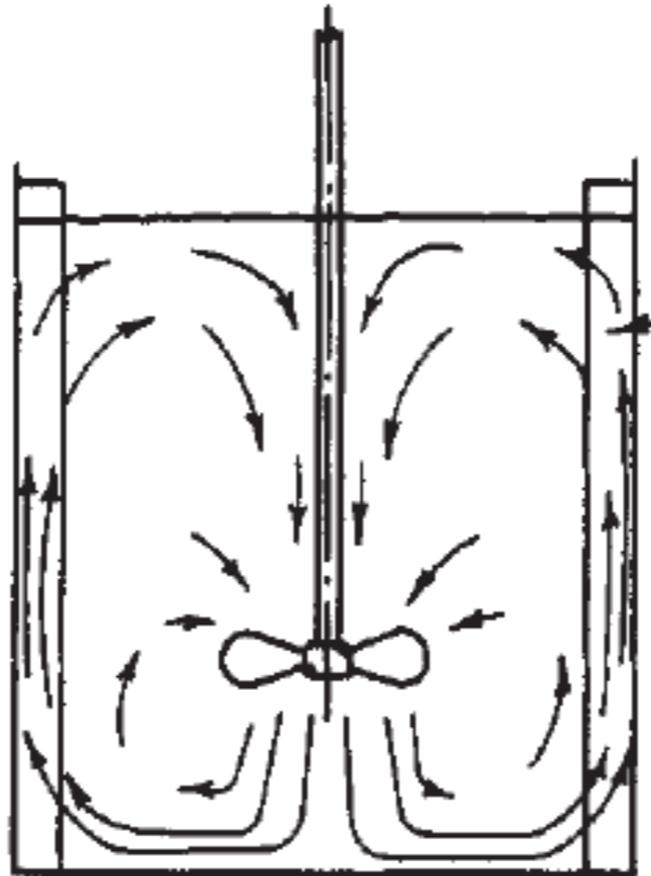
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Componentes da velocidade do líquido:**
 - **RADIAL:** perpendicular ao eixo do impulsor



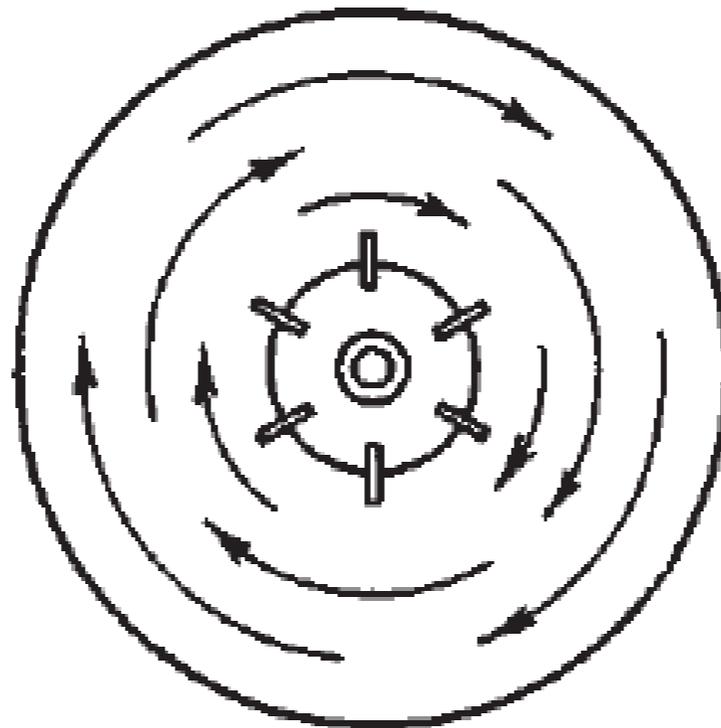
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Componentes da velocidade do líquido:**
 - **LONGITUDINAL:** paralela ao eixo do impulsor



IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Componentes da velocidade do líquido:**
 - **TANGENCIAL ou ROTACIONAL:** tangencial ao caminho circular, ao redor do eixo

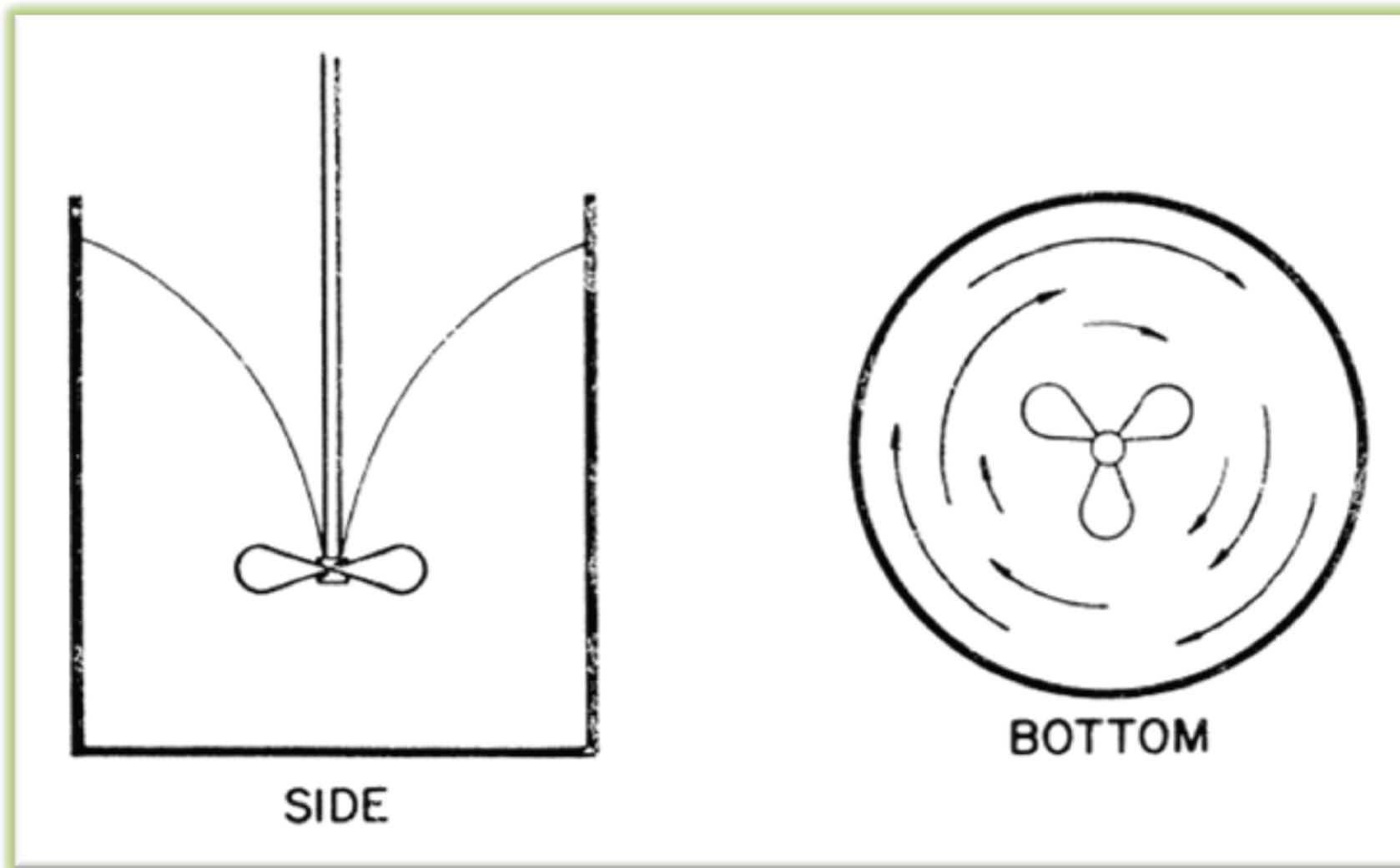


IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Componentes da velocidade do líquido:**
 - Os fluxos Longitudinal e Radial são os que mais contribuem com a mistura. São os fluxos que fazem com que correntes oriundas de localizações diferentes se encontrem.
 - O fluxo tangencial pouco contribui para a mistura.
 - O fluxo tangencial provoca a formação de vórtices ou redemoinhos.

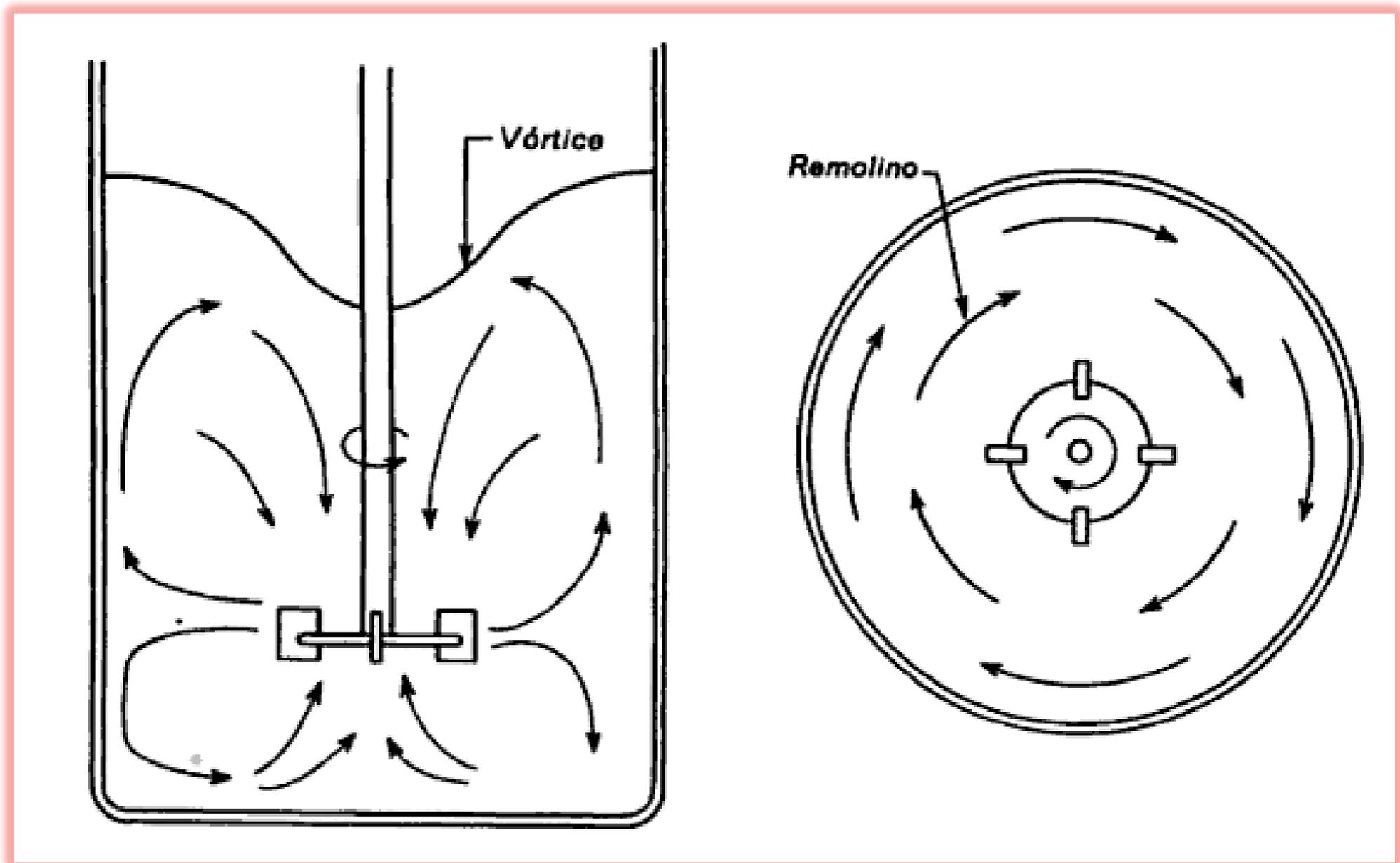
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Vórtices:**



IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Vórtices:**



IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Vórtices:**



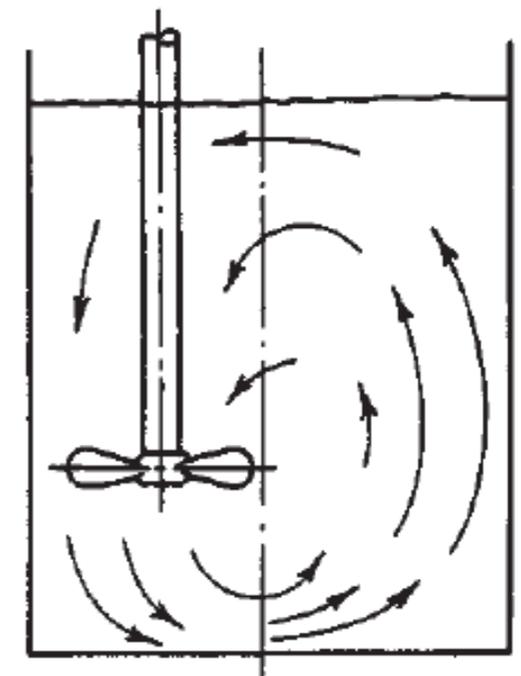
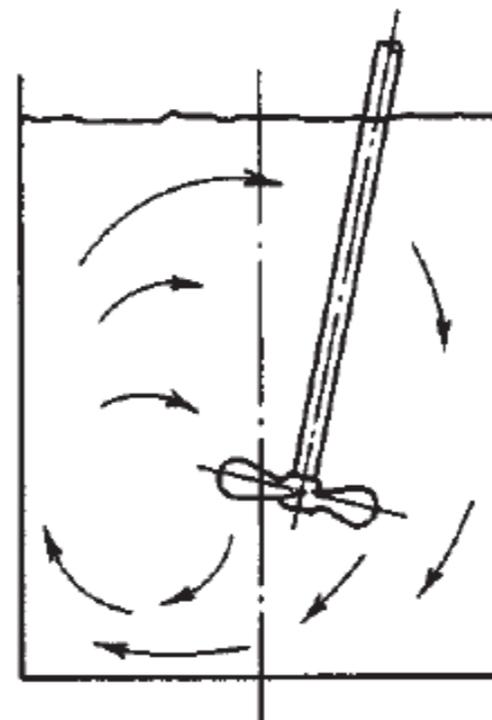
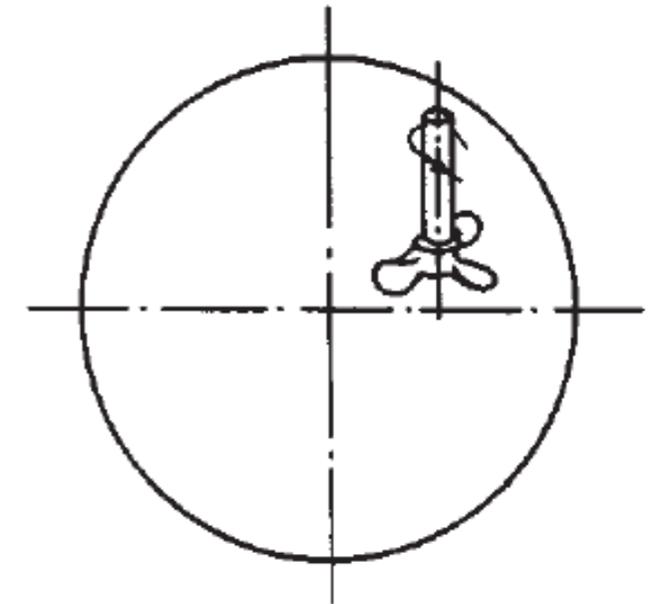
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Vórtices:**



IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Métodos para evitar vórtice:**
 - Em tanques pequenos:
eixo fora do centro



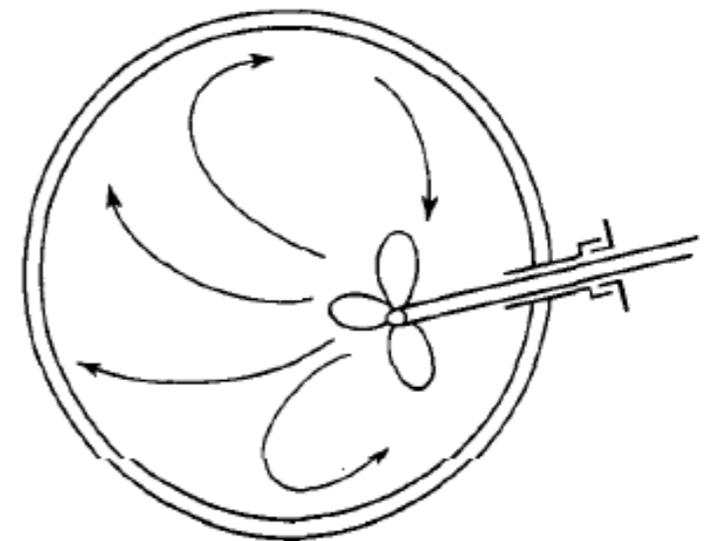
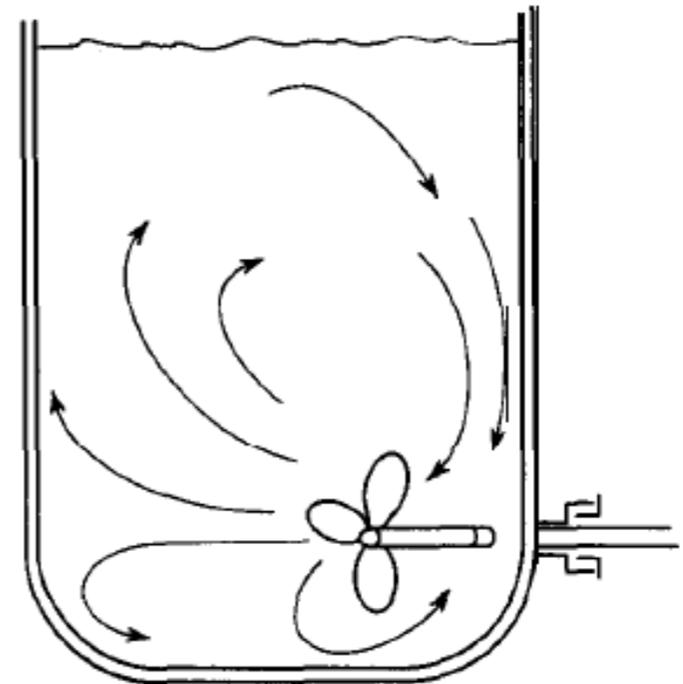
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Métodos para evitar vórtice:**
 - Em tanques pequenos:
eixo fora do centro



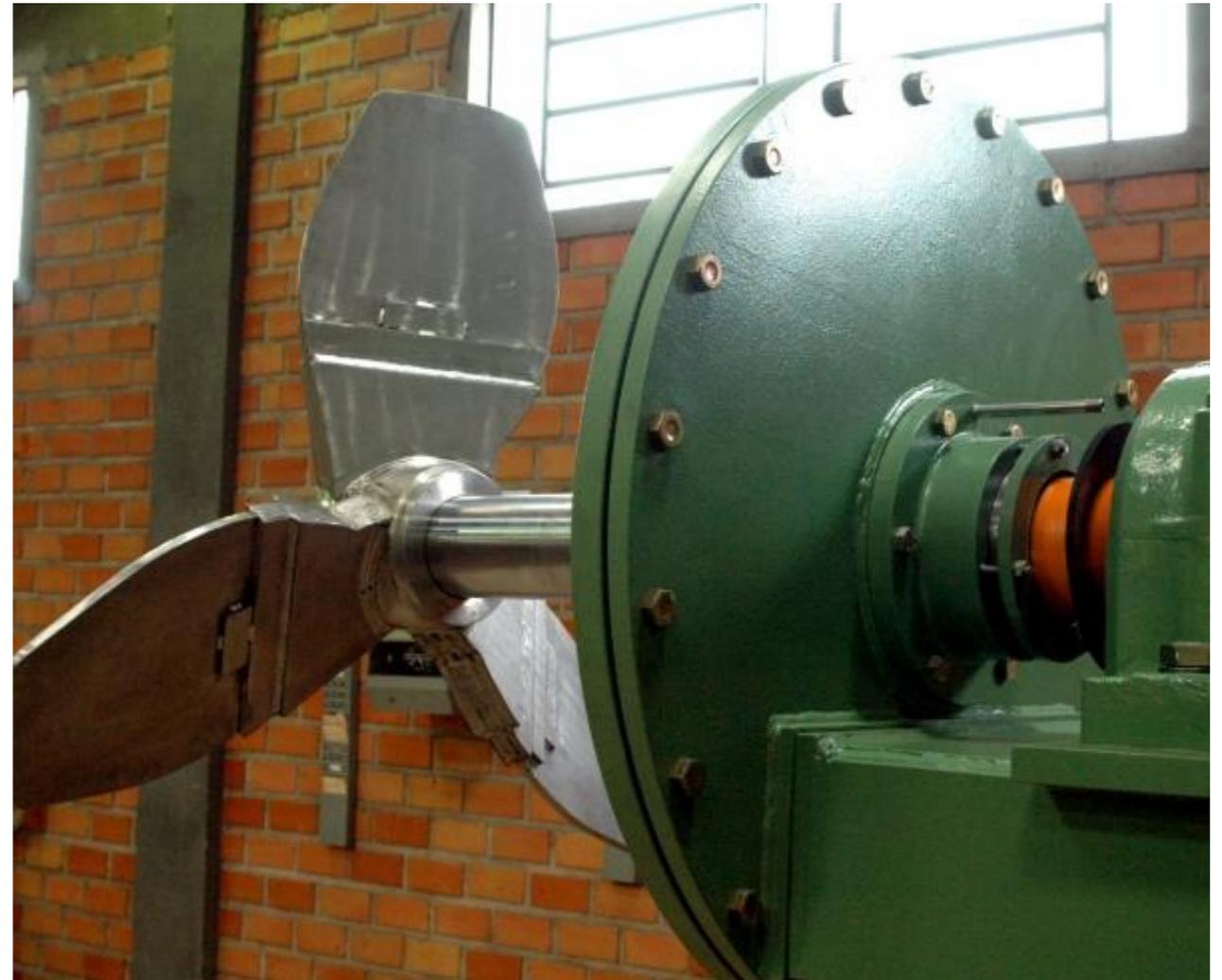
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Métodos para evitar vórtice:**
 - Em tanques grandes:
entrada lateral do
agitador



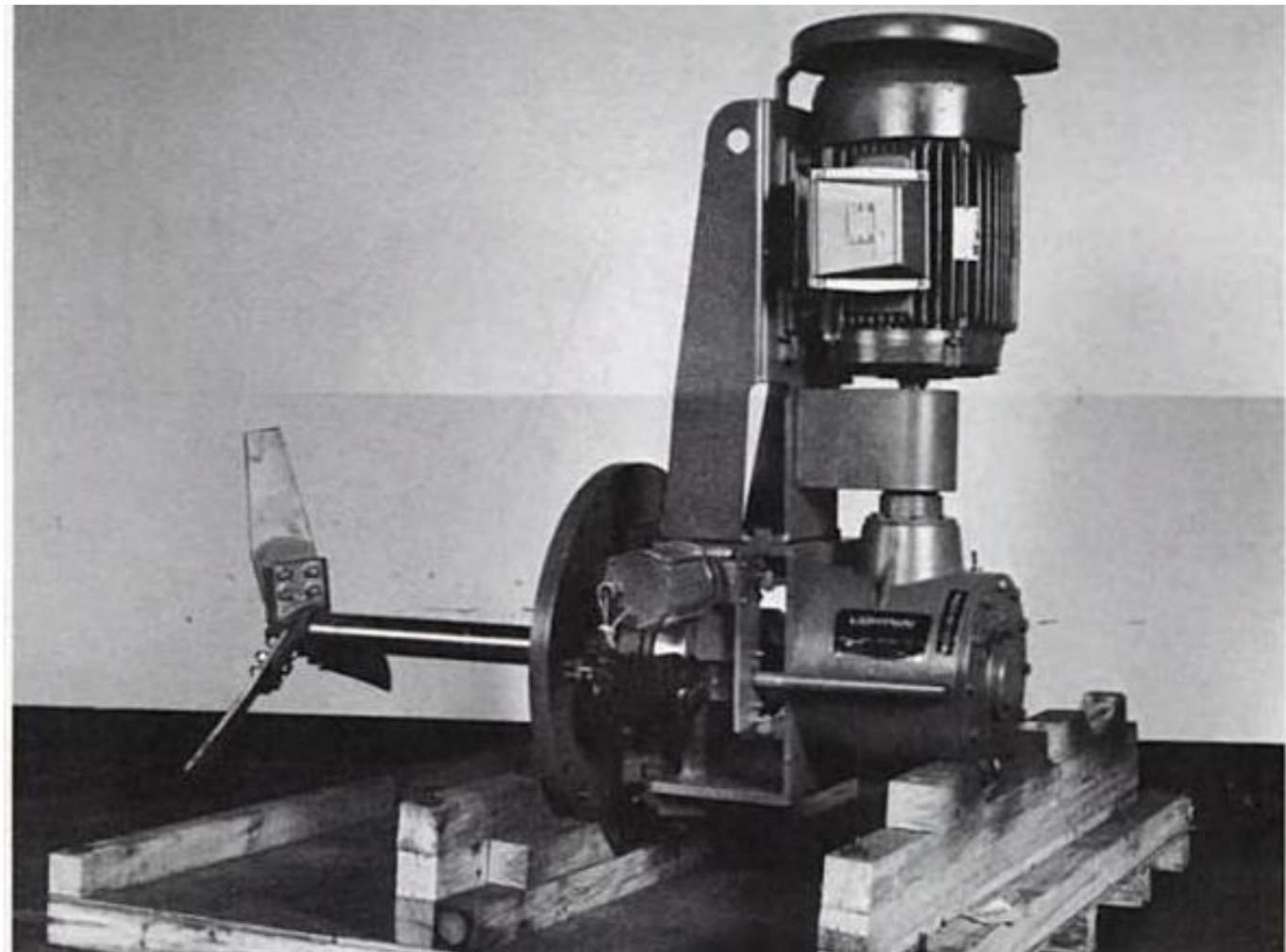
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Métodos para evitar vórtice:**
 - Em tanques grandes:
entrada lateral do
agitador



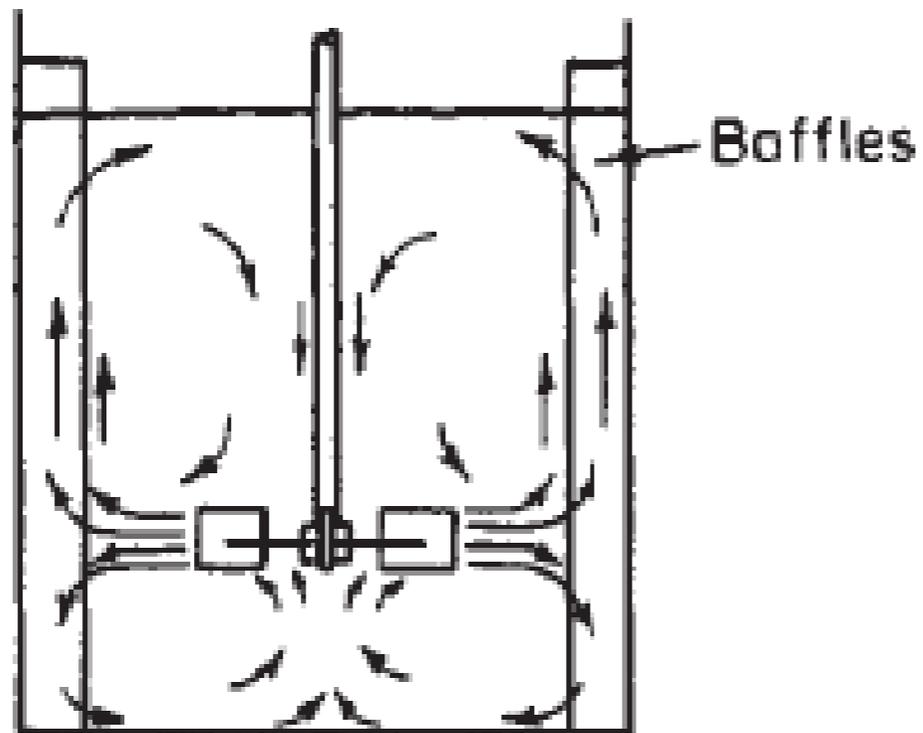
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Métodos para evitar vórtice:**
 - Em tanques grandes:
entrada lateral do
agitador

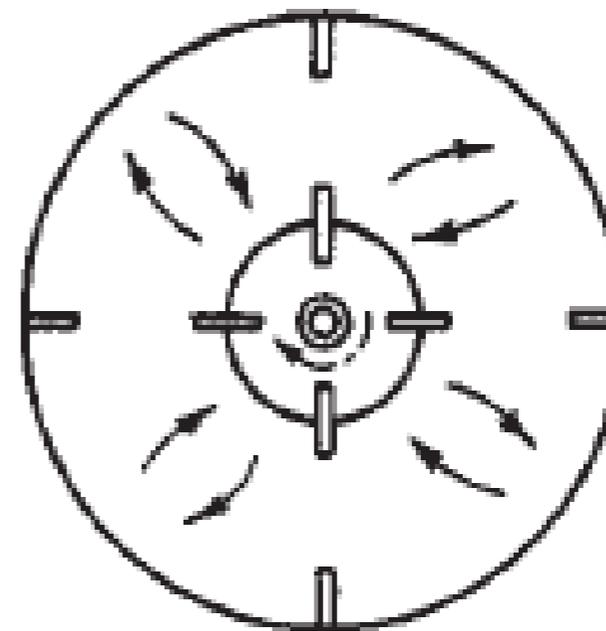


IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- **Métodos para evitar vórtice:**
 - **Agitadores verticais: placas defletoras (chicanas)**



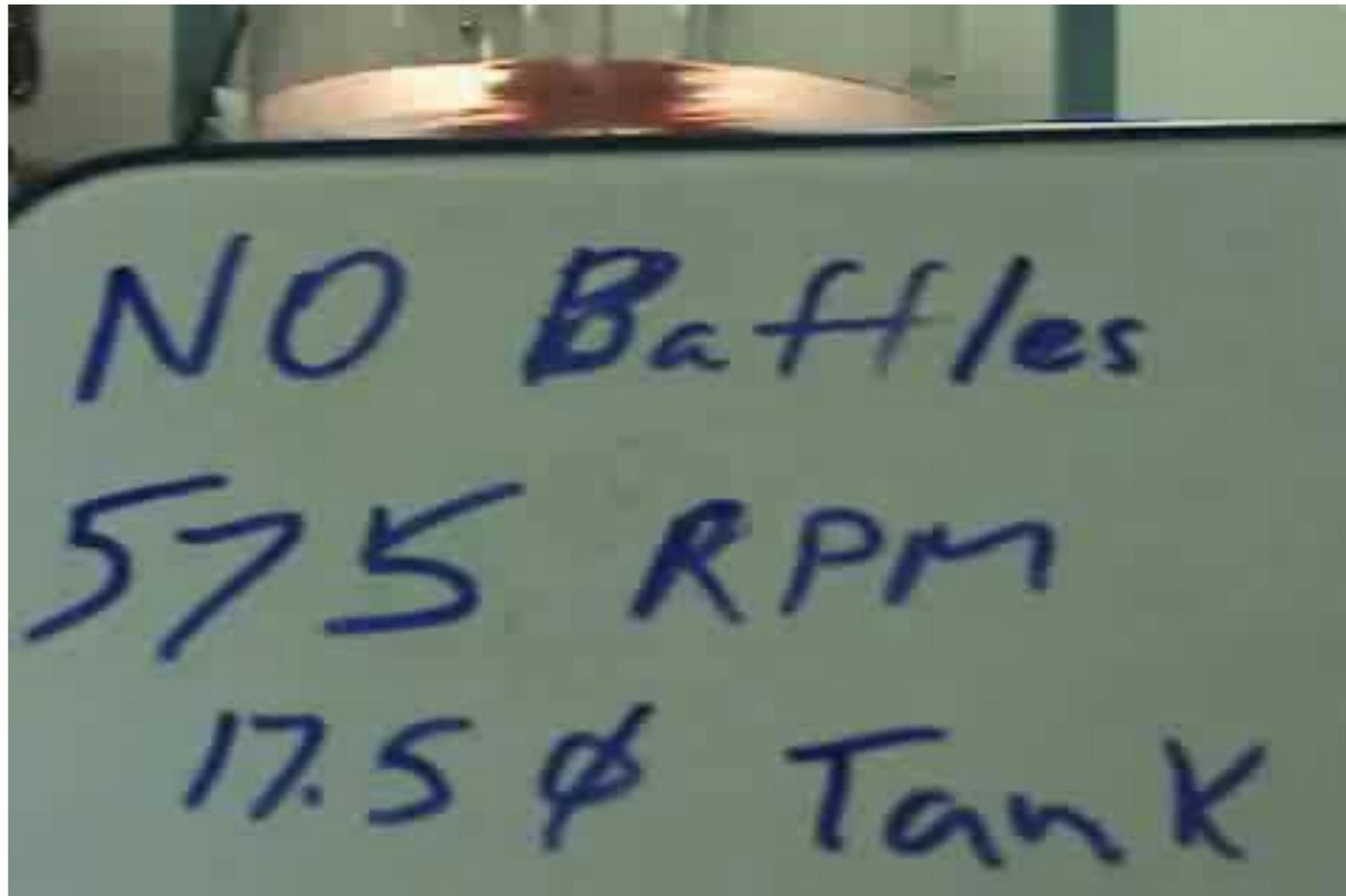
Side view



Bottom view

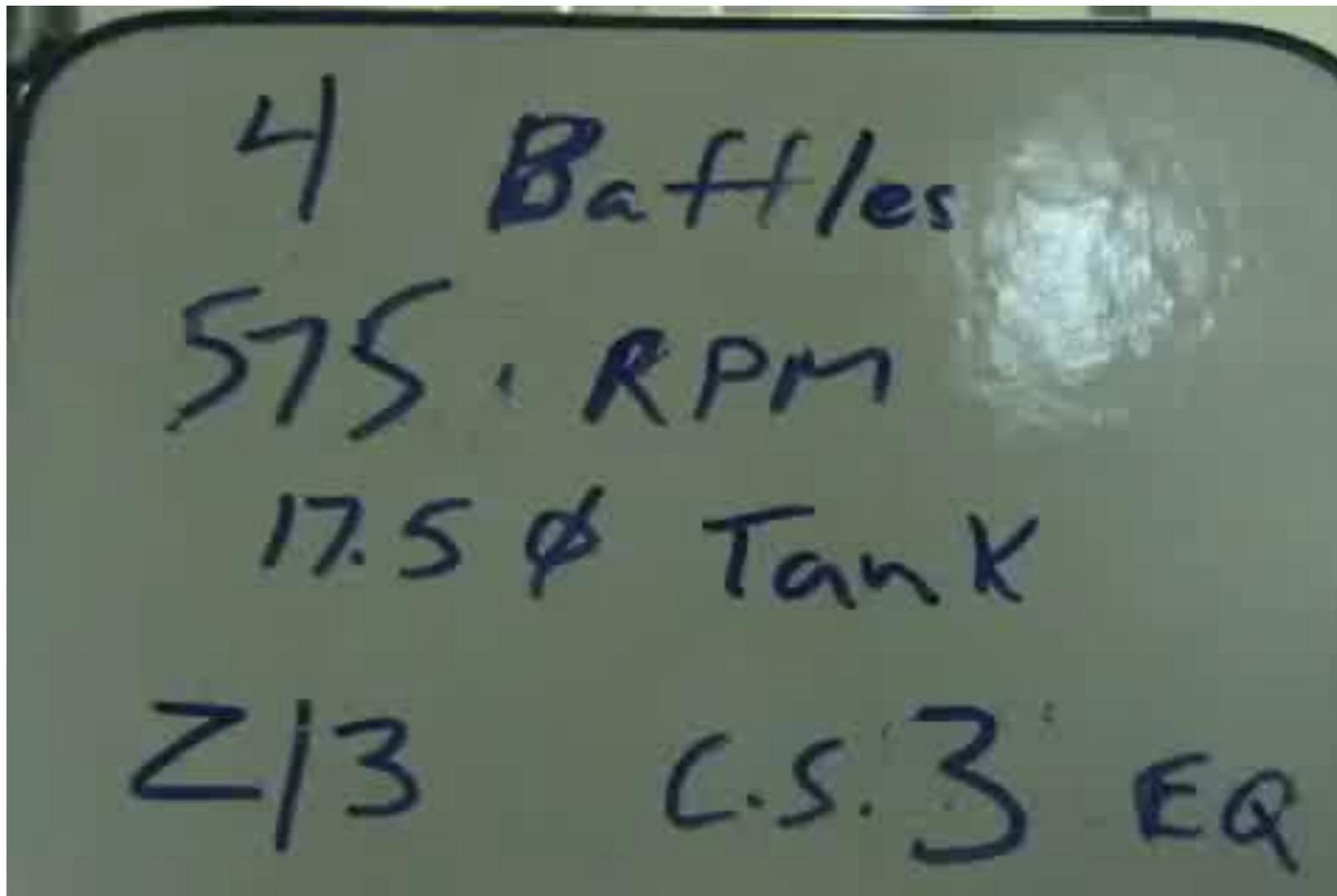
IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- Métodos para evitar vórtice:
 - Agitadores verticais: placas defletoras (chicanas)



IMPULSORES PARA LÍQUIDOS

- Métodos para evitar vórtice:
 - Agitadores verticais: placas defletoras (chicanas)



Precisamos de agitação para:

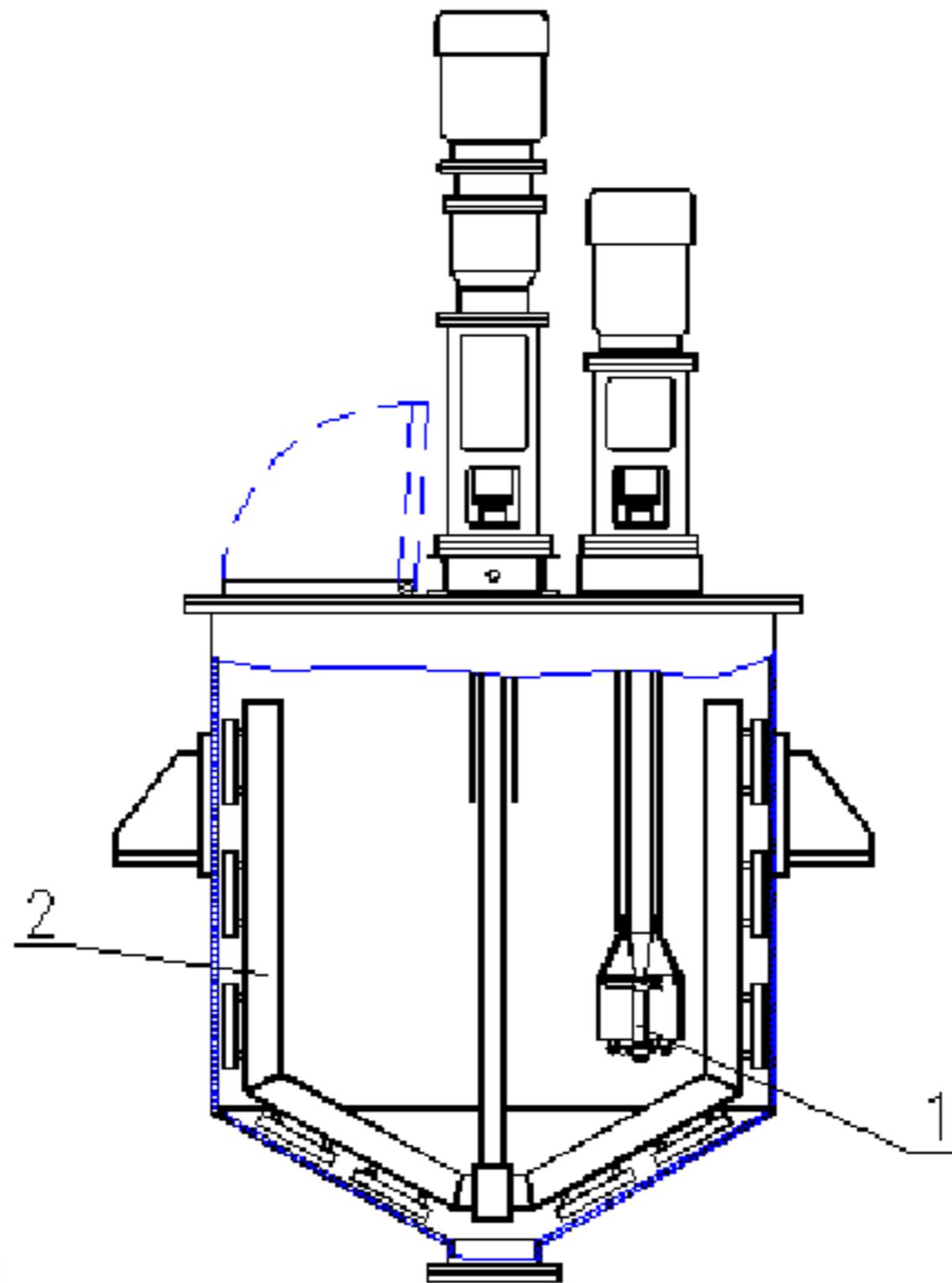
- Dissolver líquidos miscíveis
- Dissolver sólidos
- Misturar líquidos imiscíveis
- Dispersar gases em líquidos
- Misturar líquidos e sólidos

Existem vários tipos de rotores



ALGUNS EXEMPLOS AGITAÇÃO:

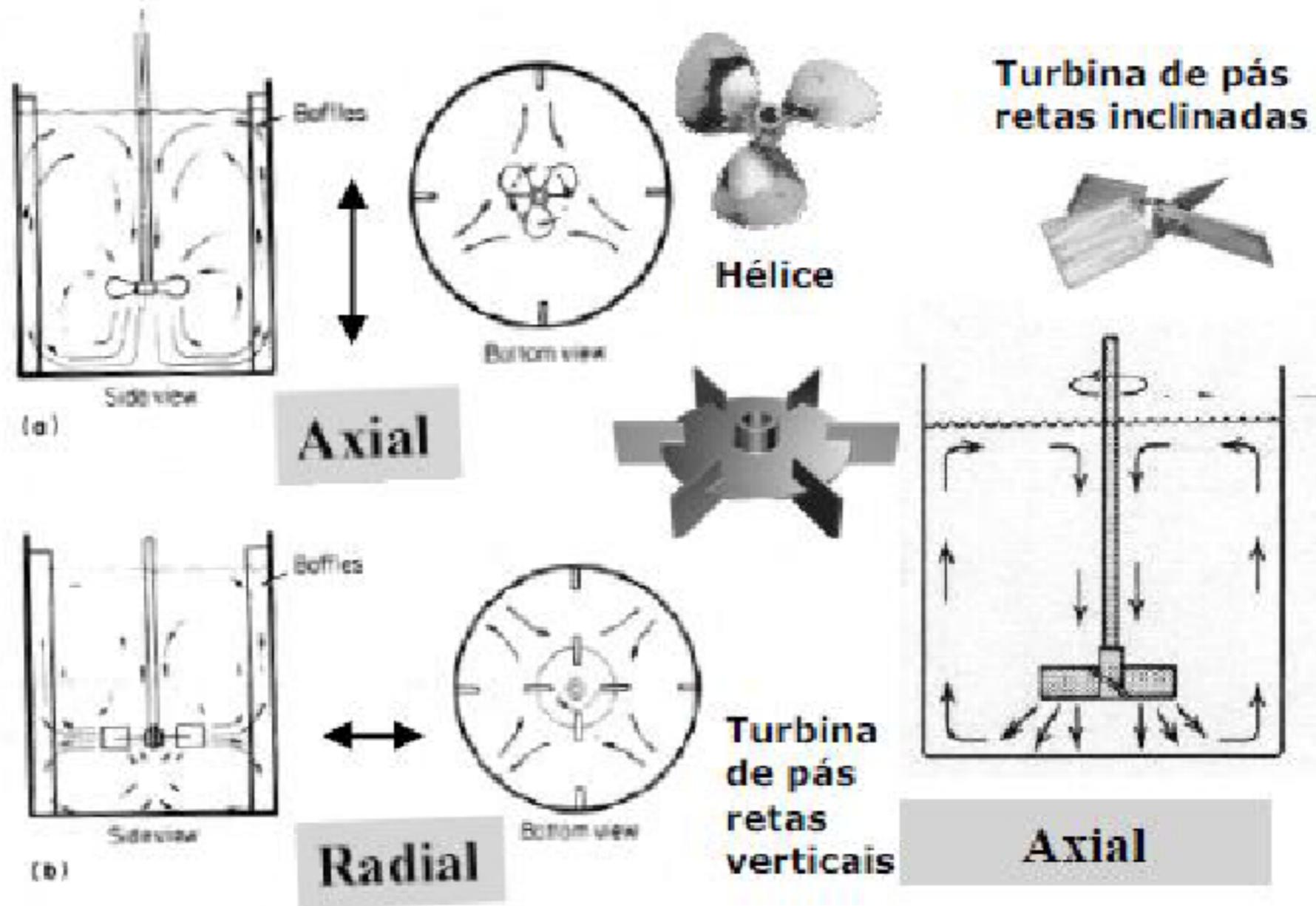
- **Dissolução de açúcar, amido, sal, ácidos, etc.**
- **Dispersão de hidrogênio em reatores de hidrogenação de gorduras.**
- **Circulação de líquidos em tanque de fermentação.**
- **Tanque de tratamento térmico de laticínios.**
- **Tanques de extração.**
- **Tachos de cozimento.**
- **Tanques de retenção de produto em processamento.**
- **Tachos de mistura para preparação de sorvetes.**
- **Tanques de recirculação de salmouras para refrigeração**
- **Tanques de aeração para tratamento biológico de resíduos líquidos**
- **Tanques de lavagem de material**
- **Misturadoras e amassadeiras de pastas e massas para purificação**
- **Suspensão de sólidos sedimentados para facilitar seu arraste por bombeamento, etc.**



Equipamento duplo:

1 - Dispersor; 2 – Ancora com raspadores .

PADRÕES DE ESCOAMENTO



TIPOS DE AGITADORES OU IMPULSORES

❖ Hélices

Utilizada geralmente para agitação de fluidos de baixa viscosidade ($\mu < 50$ cP); maior circulação que uma turbina;

Uso: suspensão de sólidos, mistura de fluidos miscíveis. Utilizada para transferência de calor. Não fornece tensão de cisalhamento. $D_i \ll D_t$ ampla faixa de rotações.

Obs: D_i = Diâmetro do indutor e D_t - Diâmetro do tanque.

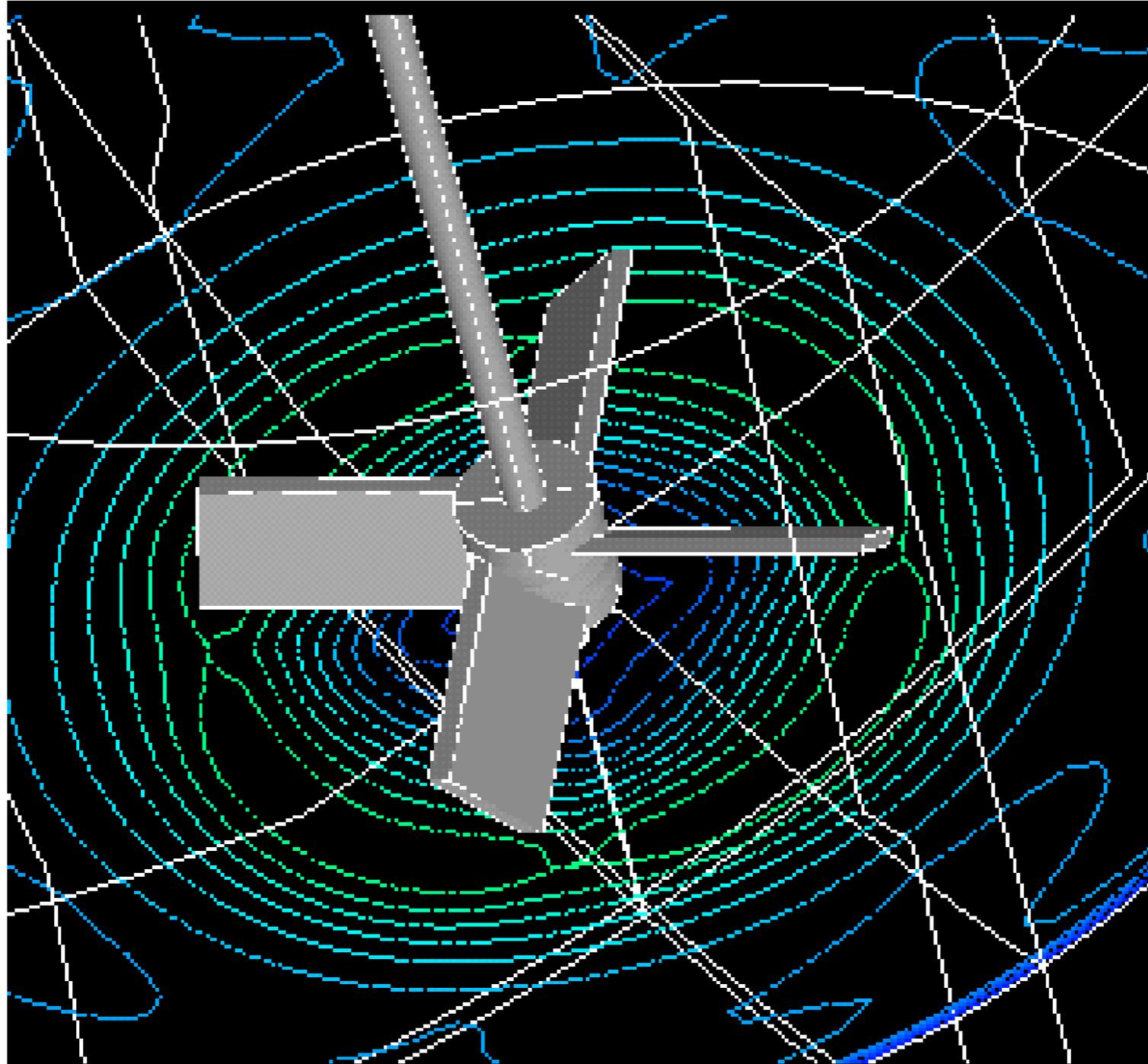
❖ Turbinas

Podem apresentar escoamento radial, alta tensão de cisalhamento nas pontas do impulsor ou escoamento axial (pás inclinadas): **úteis para suspensão de sólidos, e como as de pás planas são úteis para agitação de fluidos viscosos, fluidos poucos viscosos, dispersão de gases em líquidos, mistura de fluidos imiscíveis, dispersão de gases e transferência de calor; $D_i \ll D_t$; velocidade de rotação alta.**

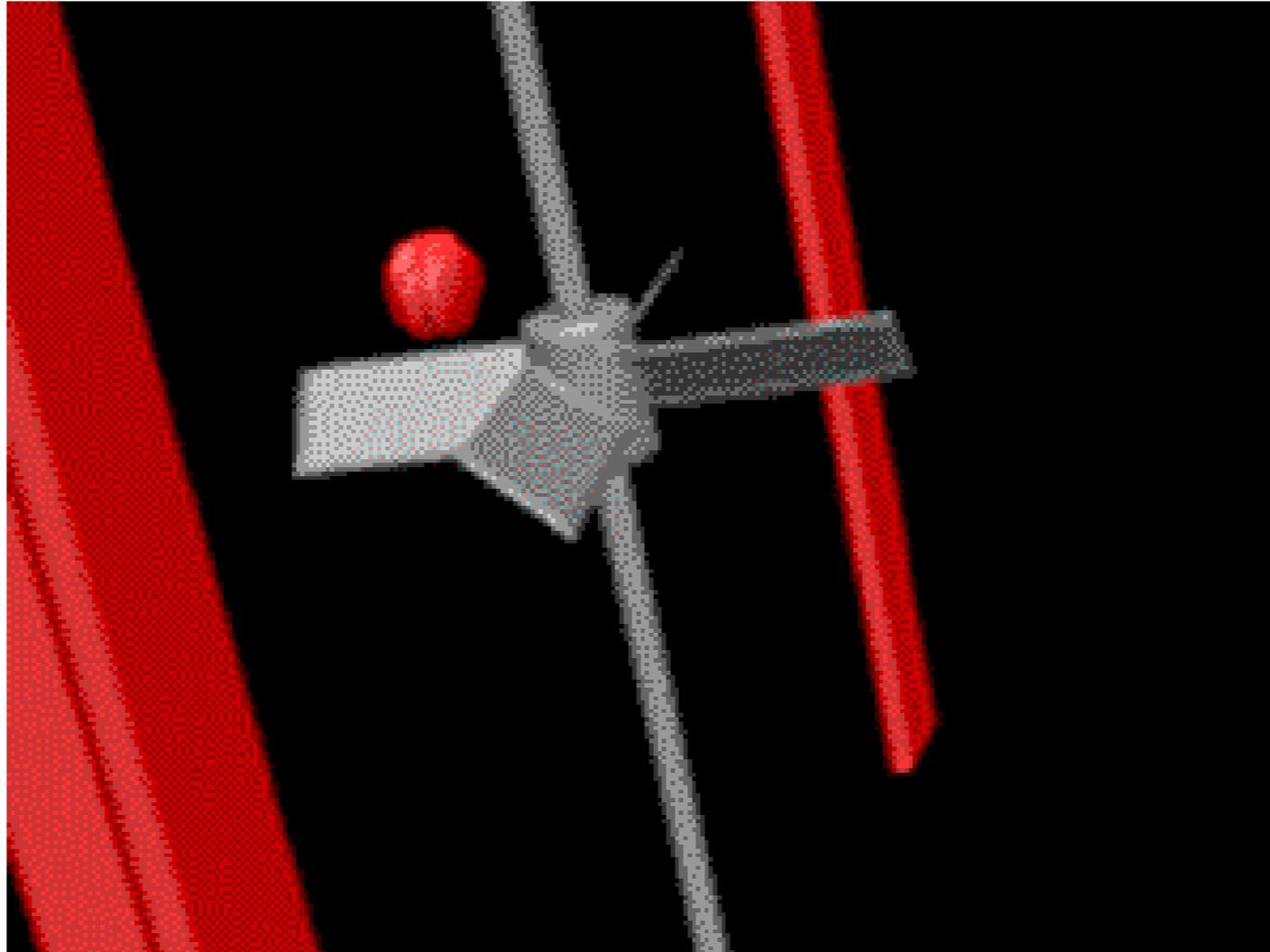
❖ Pás

D_i menor que D_t ; velocidade de rotação baixa. Utilizada para mistura de fluidos muito consistentes.

Linhas de escoamento e turbulência



Modelo de agitação com turbina de pás inclinadas



Tipos de impulsores: PÁS

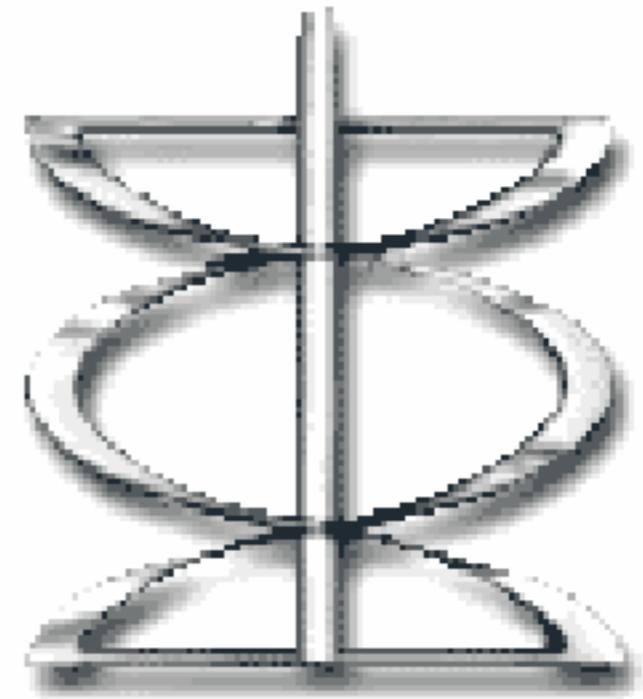
Fita dupla helicoidal

Tamanho relativo do impulsor: 95% do diâmetro do tanque

Usos recomendados: É o melhor para fluidos de altas viscosidades em regime laminar.

Este agitador também é bom quando se requer boa transferência de calor e mistura de líquidos e sólidos.

Geralmente utilizado para viscosidades maiores de 30.000 MPa.s



Fita Helicoidal com parafuso

Tamanho relativo do impulsor: 95% do diâmetro do tanque.

Usos recomendados: Eficiência razoável em altas viscosidades e regime laminar. Tempos de mistura são da mesma ordem ou maiores que os de dupla fita. Parafuso central efetivamente remove sólidos e fluidos desde a parede, na medida que cria um fluxo axial ascendente.

Geralmente utilizado para viscosidades maiores de 30.000 MPas. A transferência de calor é um pouco menor que para o de fita dupla



Ancora

Tamanho relativo do impulsor: 95% do diâmetro do tanque

A ancora é o mais econômico dos impulsores de pás, trabalhando em regime laminar e com fluidos muito viscosos.

É mais efetivo em “squatty batches” onde o bombeamento vertical não é tão necessário como em tanques altos.

Tempos de mistura são um pouco mais longos que em impulsores de fitas helicoidal. Neste tipo de impulsor é muito fácil a instalação de raspadores da parede, para aumentar a transferência de calor.



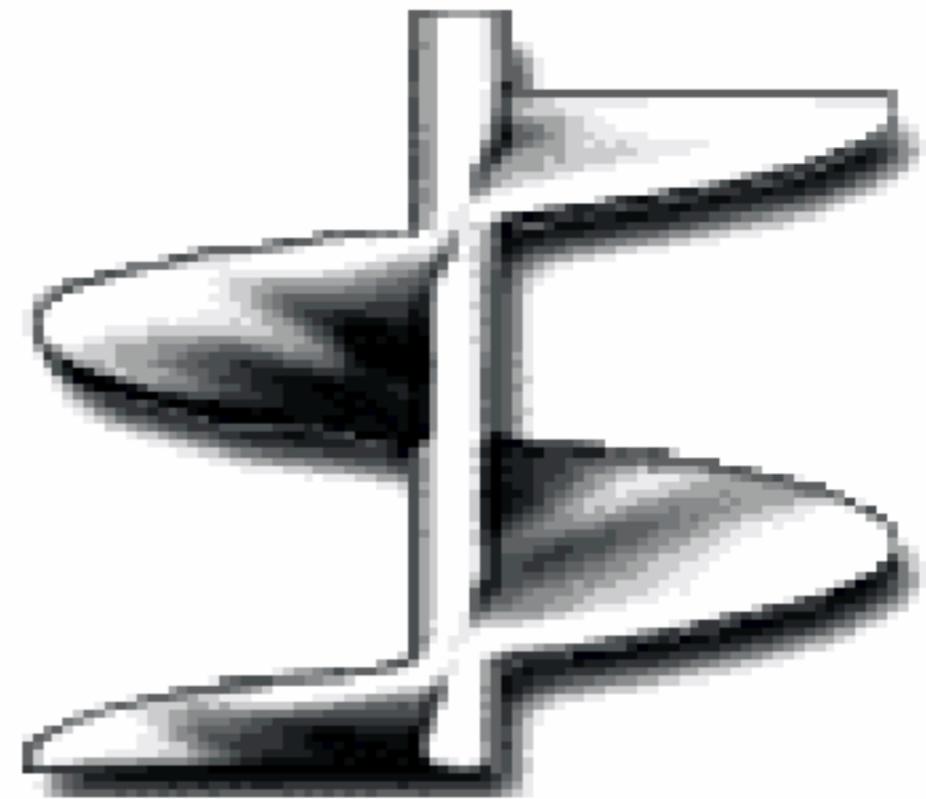
Impulsor de parafuso

Tamanho relativo : metade do diâmetro do tanque.

Usos recomendados: Mistura efetiva em polímeros, sensíveis ao cisalhamento, de alta viscosidade.

Bom bombeamento do topo até a base

O parafuso é adequado para fluidos pseudoplásticos.



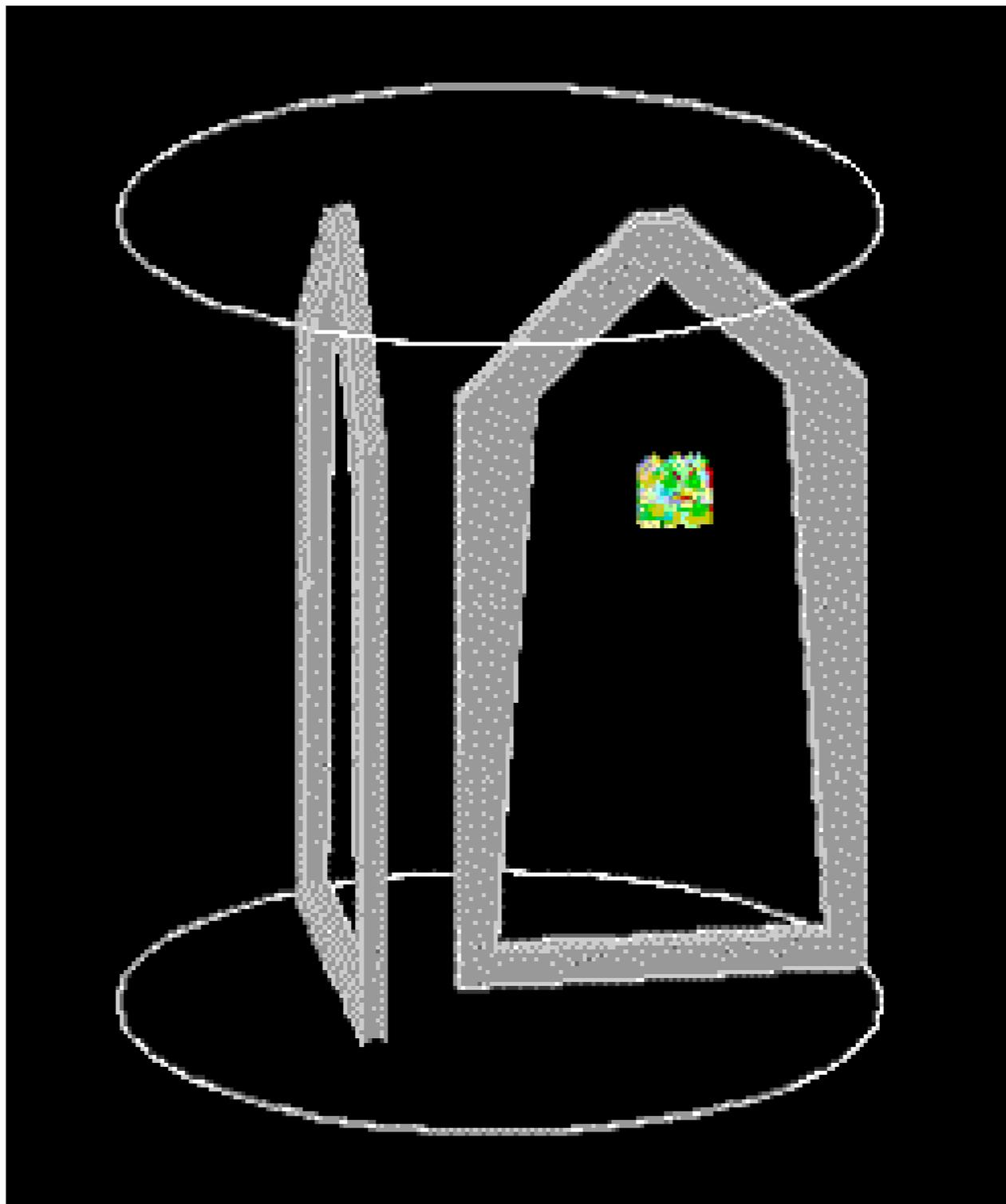


Modelos combinados



Fita helicoidal

Efeito de mistura de vários componentes com duas ancoras



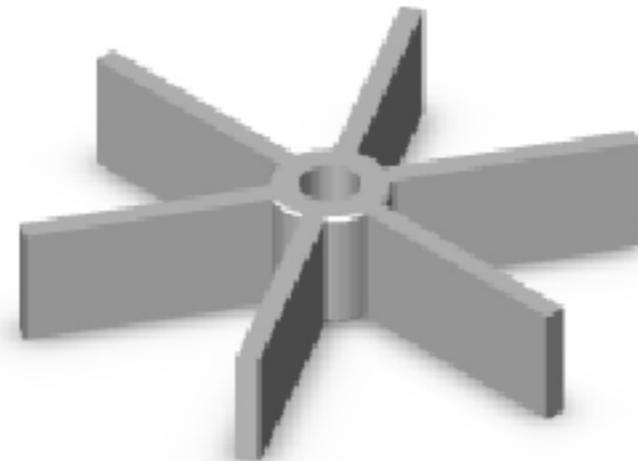
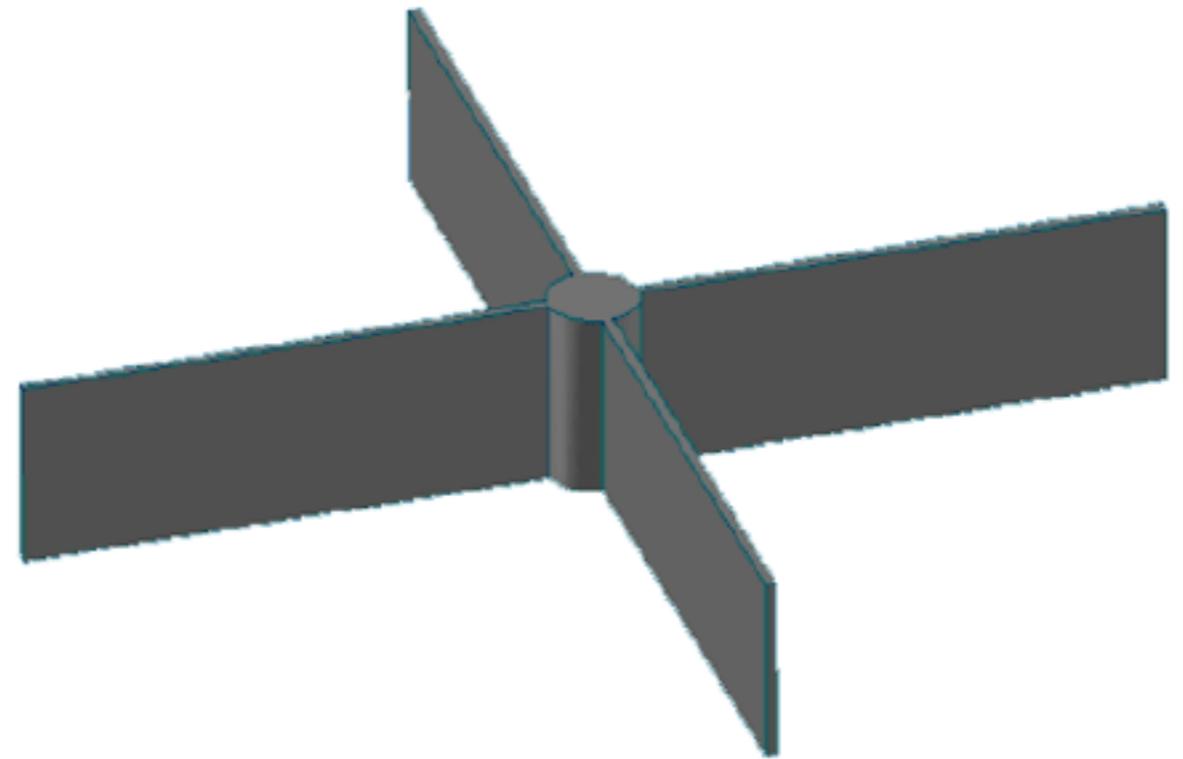
IMPULSORES TIPO TURBINA

Turbina de pás planas

Mistura a alto custo de energia, quando é requerido alto cisalhamento.

Emulsão líquido-líquido ou suspensão de sólidos, também pode ser utilizado em regime laminar, quando Re cai até 50 e Po 3,6.

Não é recomendado para dispersão de gases.

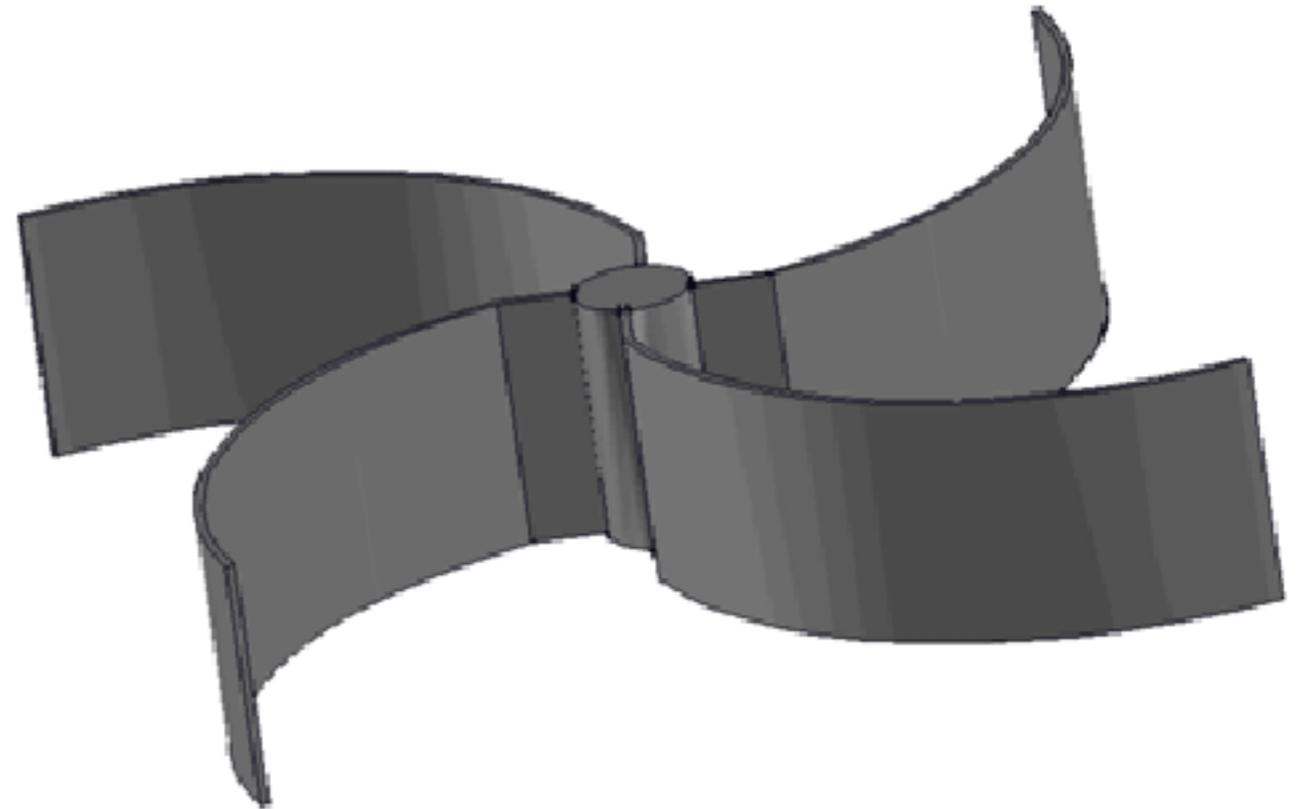


Turbina de pás curvas

Impulsor eficiente de escoamento radial, utilizado quando se requer quebrar escoamento “plug”.

Para operações sensíveis à velocidade e quando se requer altas velocidades na parede no tanque (transferência de calor)

$Po = 2,52$

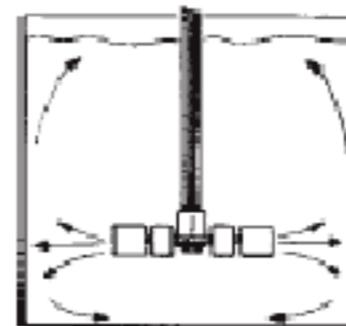
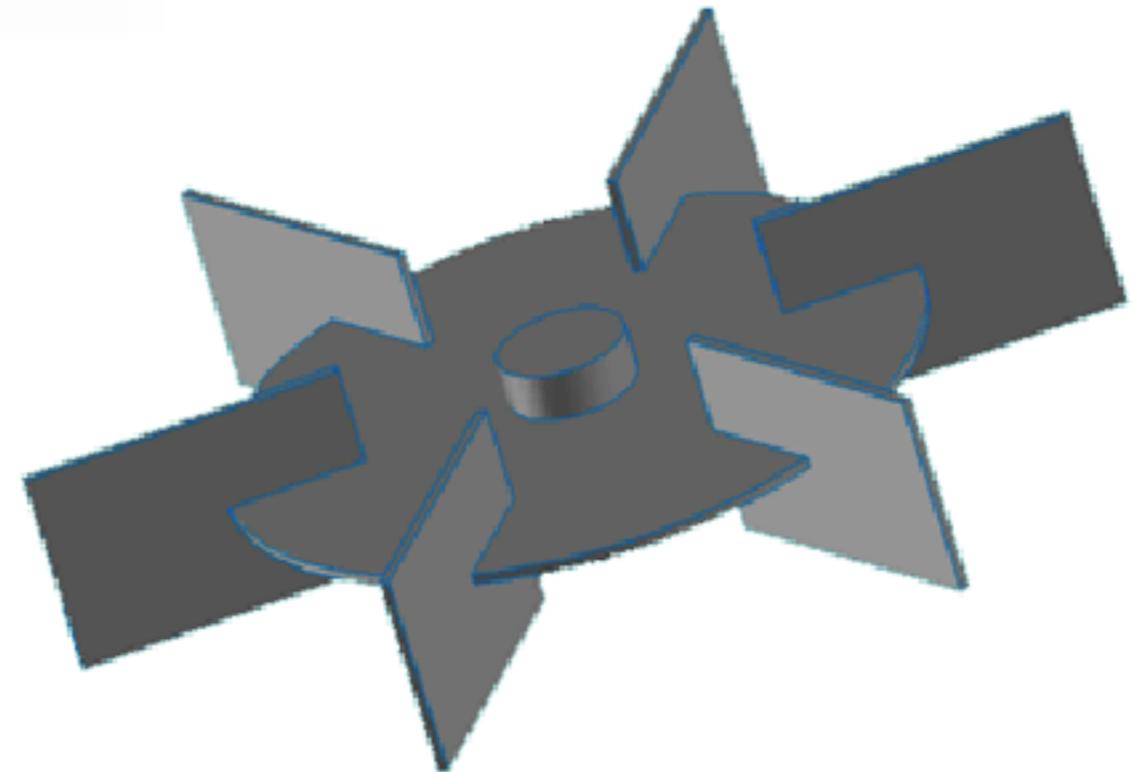


Turbina de pás e disco ou turbina Rushton

Impulsor efetivo a custo de energia razoável para baixa concentrações de líquidos imiscíveis e gases .

Dois redemoinhos são formados após cada pá.

Estas áreas de grande cisalhamento, quebram as gotas de diâmetro maior.



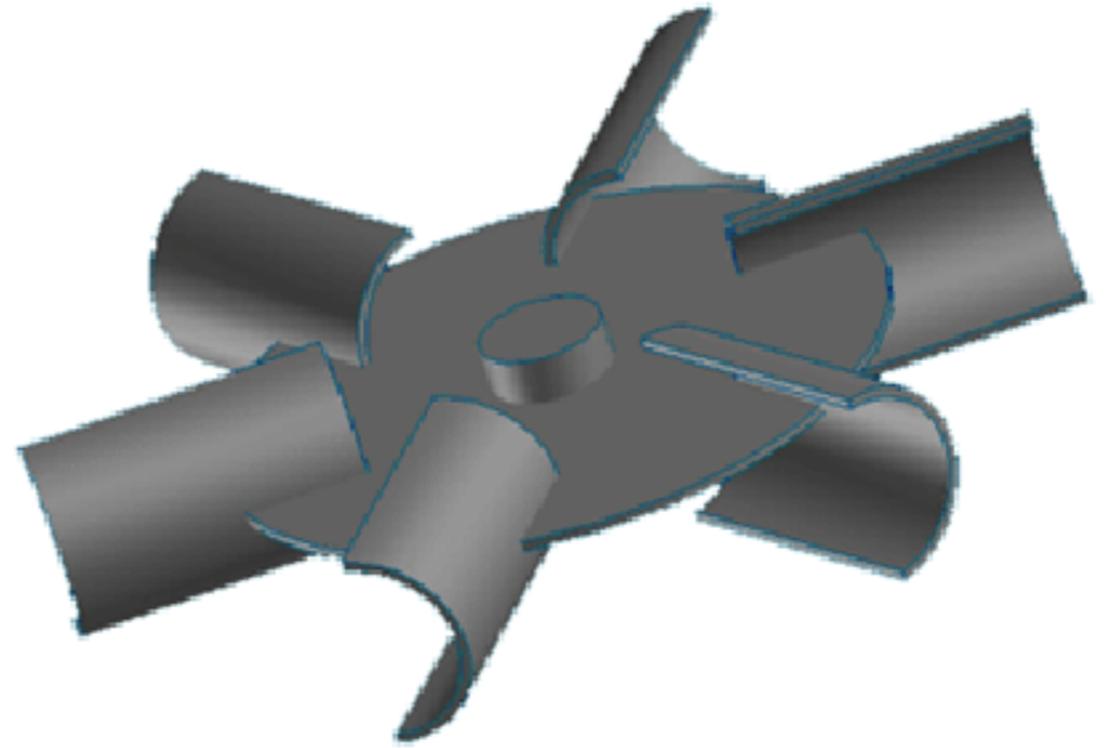
Flowrate = 3000 m³/h

Diameter of mixing element = 1 m

Energy absorbed = 6 kw

Speed of rotation = 63 rpm

Turbina Smith



Turbina altamente efetiva para dispersão de volumes altos de gases.

Pode dispersar 6 vezes mais volume que a de Rushton. 10% a mais de transferência de massa.

Diferente de outros impulsores dispersores de gás Não é muito sensível à mudança de viscosidade.

Turbina de pás inclinadas

A custo energia razoável pode trabalhar em regime laminar ou turbulento.

Bom impulsor quando existe muita variação de viscosidade ao longo do processo, causando variação do regime entre turbulento e laminar .

Bom impulsor para suspensão de sólidos.

Os impulsores de pás verticais fornecem um fluxo radial adequado para agitação de fluidos viscosos.

Os de pás inclinadas apresentam escoamento axial que é útil para suspensão de sólidos.





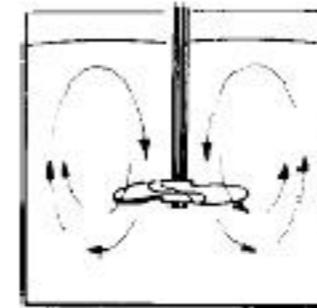
Instalação para tanque altos





HÉLICES

Hélice Marinha

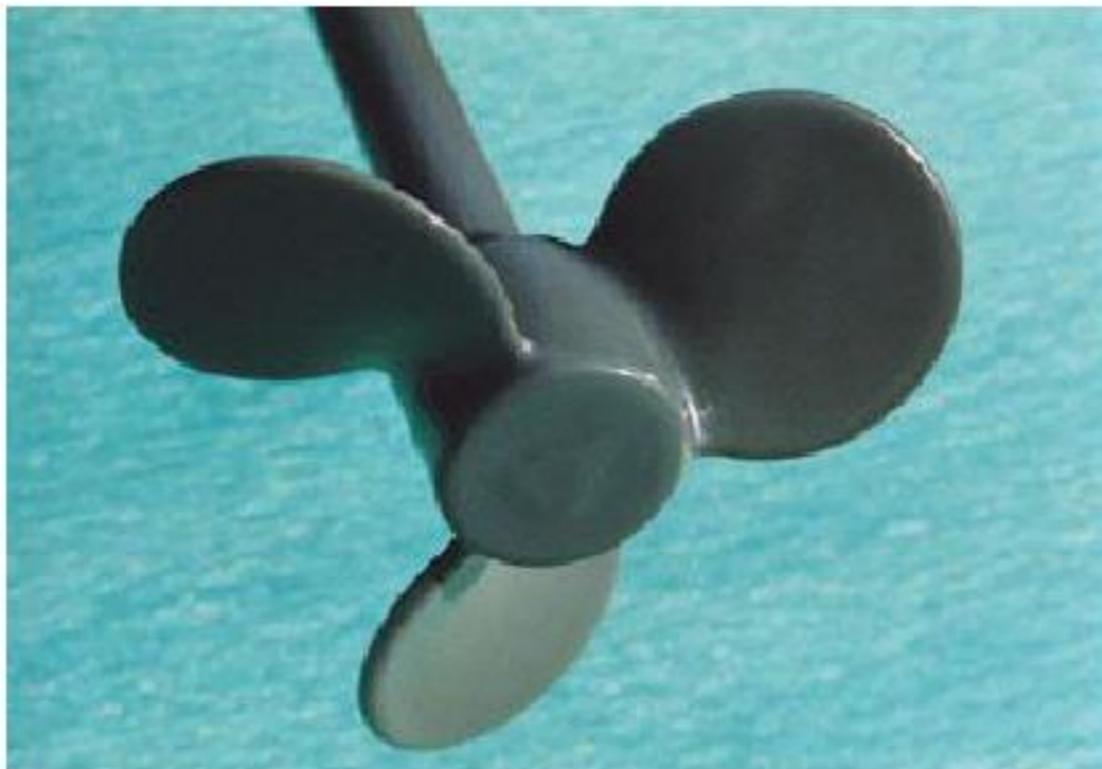


Flowrate = 3000 m³/h

Diameter of mixing element = 1 m

Energy absorbed = 1,25 kw

Speed of rotation = 91 rpm

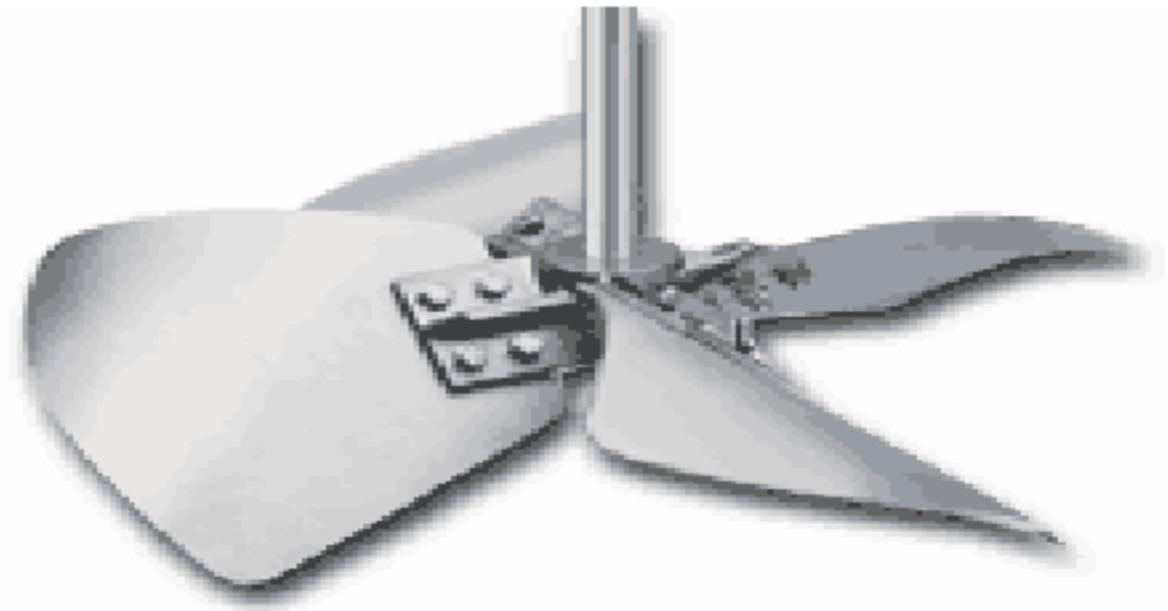


Estes elementos de mistura são utilizados para misturas de sólidos e emulsões. Geram um nível médio de turbulência. Como são pesados são utilizados quando de pequeno diâmetro, operando a alta velocidade

Impulsor Maxflo

Alto bombeamento.

Excelente na suspensão de sólidos abrasivos e no caso de certa presença de gases



Impulsor ChemShear Impeller

Impulsores ChemShear são construídos em 4 tipos diferentes: pás mais grossas e mais finas, em função de diferentes requerimentos de cisalhamento e bombeamento.

As mais grossas fornecem mais bombeamento e as mais finas maior nível de cisalhamento.

Trabalham bem quando é requerido um cisalhamento moderadamente alto, mas com um certo bombeamento que a maioria das turbinas não oferece.



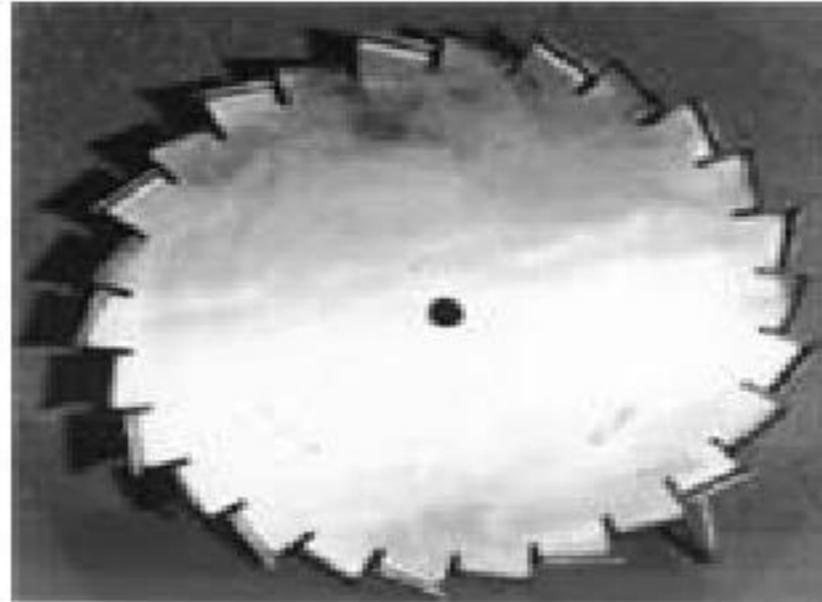
IMPULSORES COM ALTO CISALHAMENTO

High Speed Disperser Blades

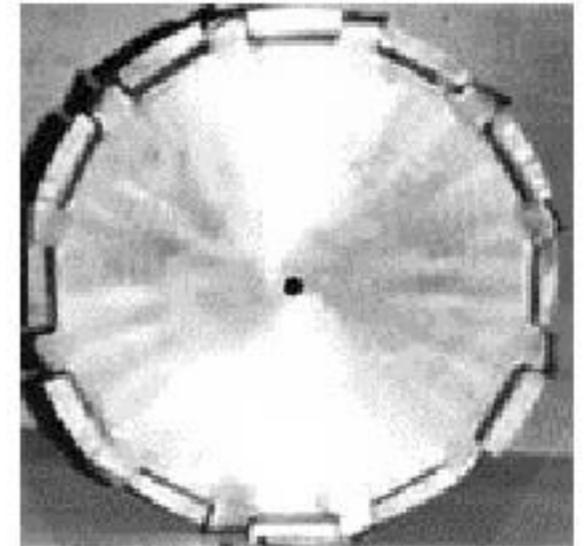
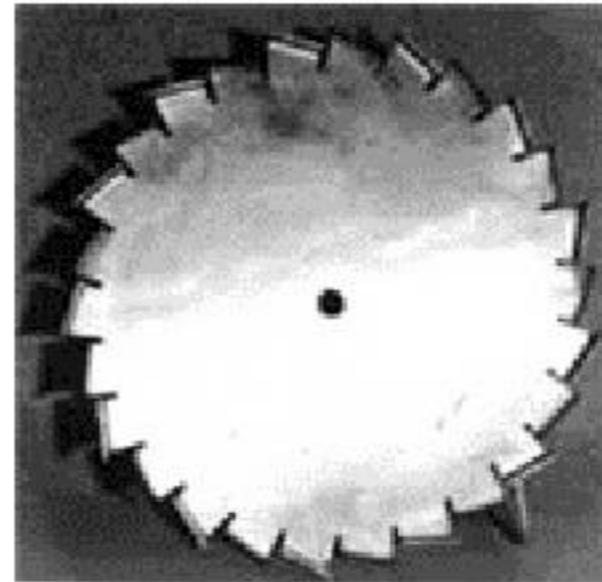
Dantco Mixers Corporation tem uma linha de aço inox. Resistente à abrasão. São especialmente projetadas para dispersão.

A maioria dos impulsores está disponível de 2 a 36 polegadas, adequadas para uso em laboratório, planta piloto e tamanho industrial.

São projetadas para uso em dispersão, dissolução, emulsificação de materiais sólidos/líquidos/gasosos.



Produz alto cisalhamento, bombeamento e redução de tamanhos de aglomerados



Impulsores da Dantco:



PHILADELPHIA MIXING SOLUTIONS

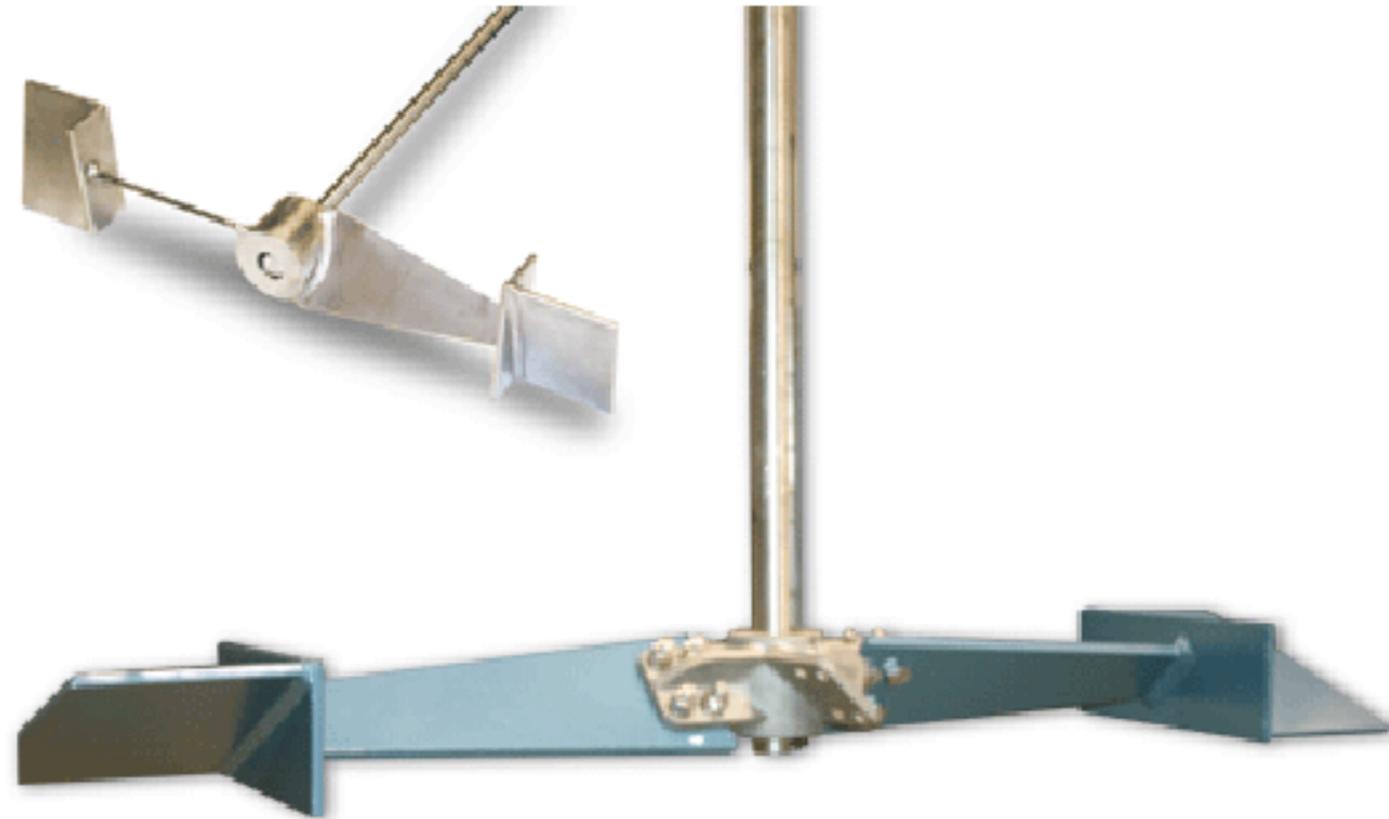
Projetos de impulsores diversos

Impulsor contracorrente

Impulsor muito eficiente para misturas especiais e para fluidos pseudoplásticos e altas viscosidades

-Ação dupla – projeto para diâmetro grandes

- Efetivamente mistura fluidos de viscosidade na faixa de 25.000cP-75.000cP



Projetada para fornecer alta taxa de oxigenação superficial, com boa mistura.

**Objetivo: aeração de águas
De grande diâmetro e pás curvas
promove aeração**



Impulsor de baixo cisalhamento

(Sentinel Super Low Shear Impeller)

Projetado para materiais muito sensíveis ao cisalhamento

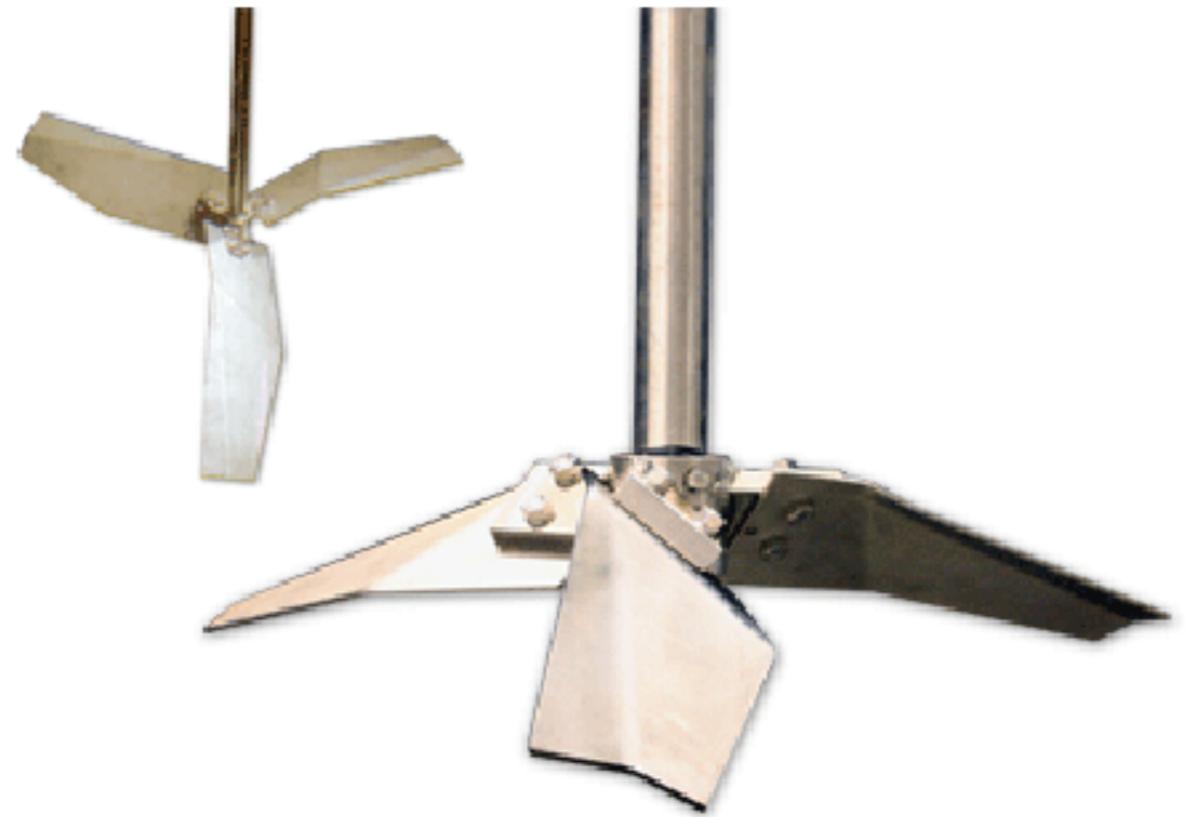
Projetado para usos que se faz necessário certa aplicação de cisalhamento devido à movimentação de fluidos requerido para suspender sólidos, dispersar gases, ou misturar líquidos que são sensíveis ao cisalhamento.



Hydrofoil (LS)

Baixo cisalhamento para fluidos de viscosidade (até 2.500cp)

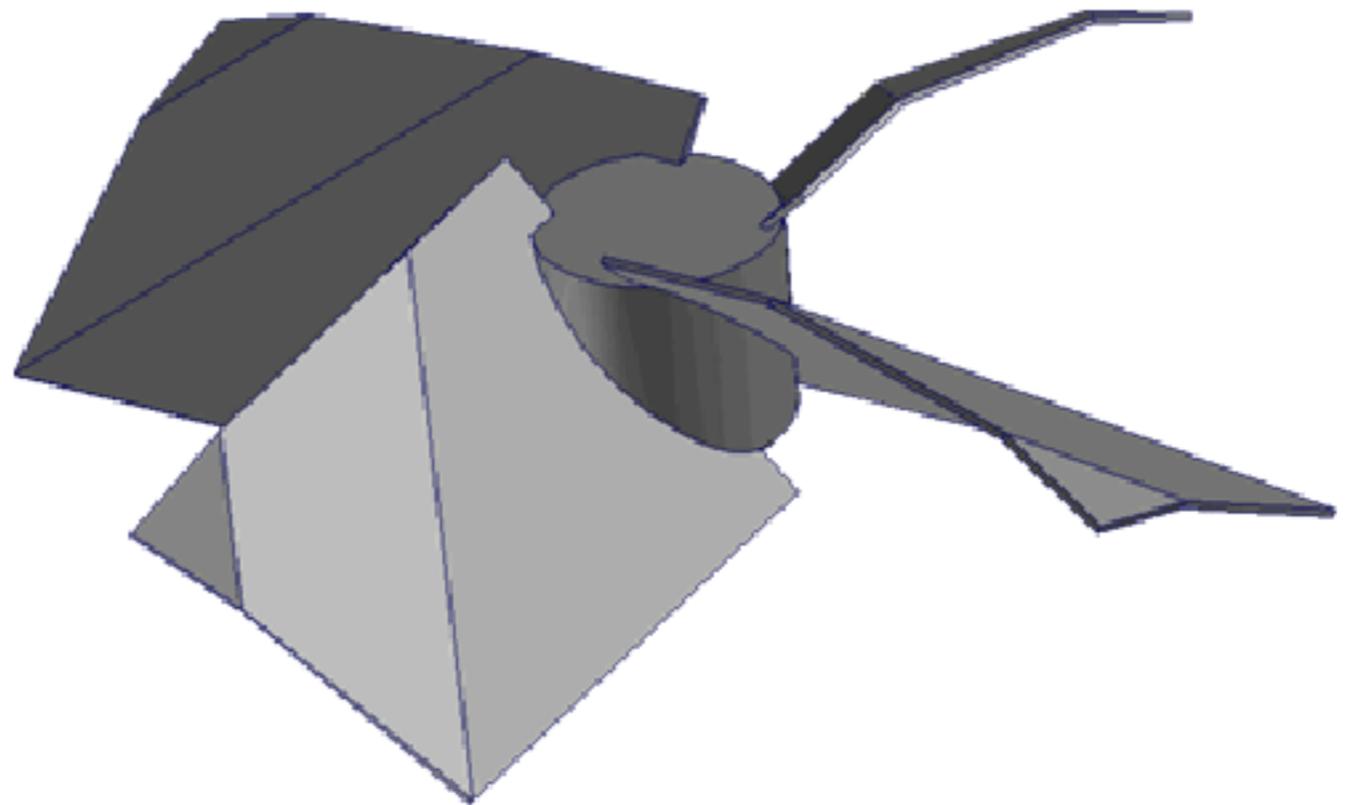
**Mistura e suspensão de sólidos.
 $Po = 0.3 - 0.55$**



Viscosidades medias (MHS)

Mistura de viscosidades intermediarias de 2.500cp até 15.000cp

Caracterizado por pás muito finas - $Po = 0,60 - 1,10$



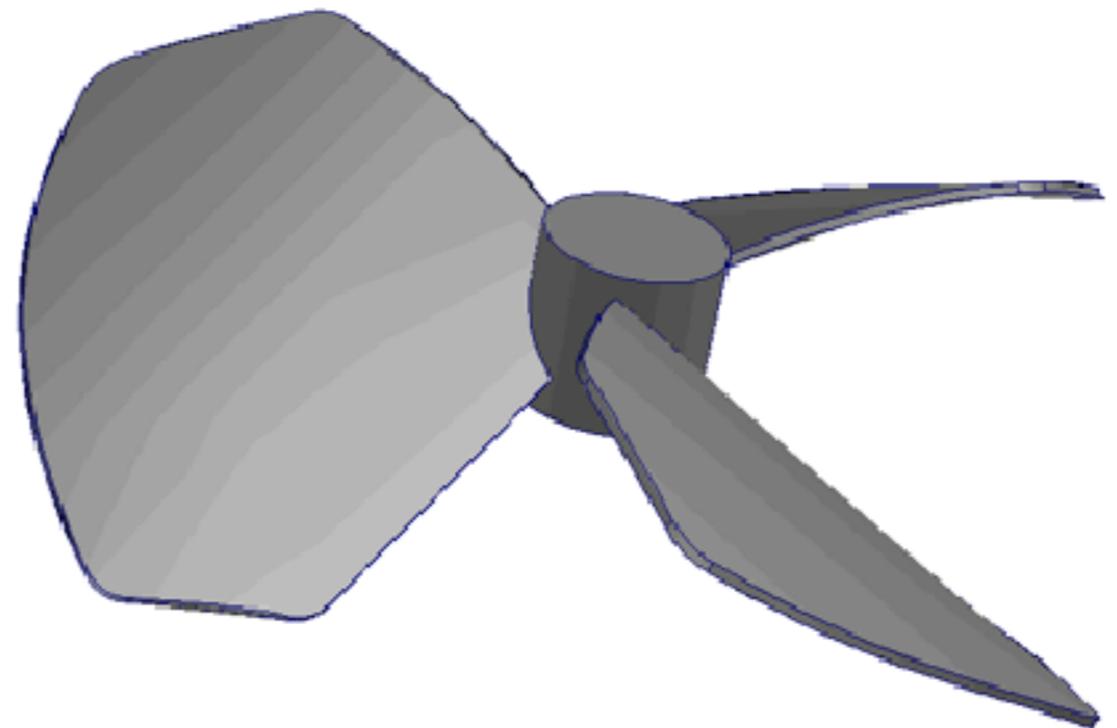
Turbina de pás inclinadas para altas viscosidades

Pitch Blade Turbine (PBT) High Solidity Hydrofoil (HS)

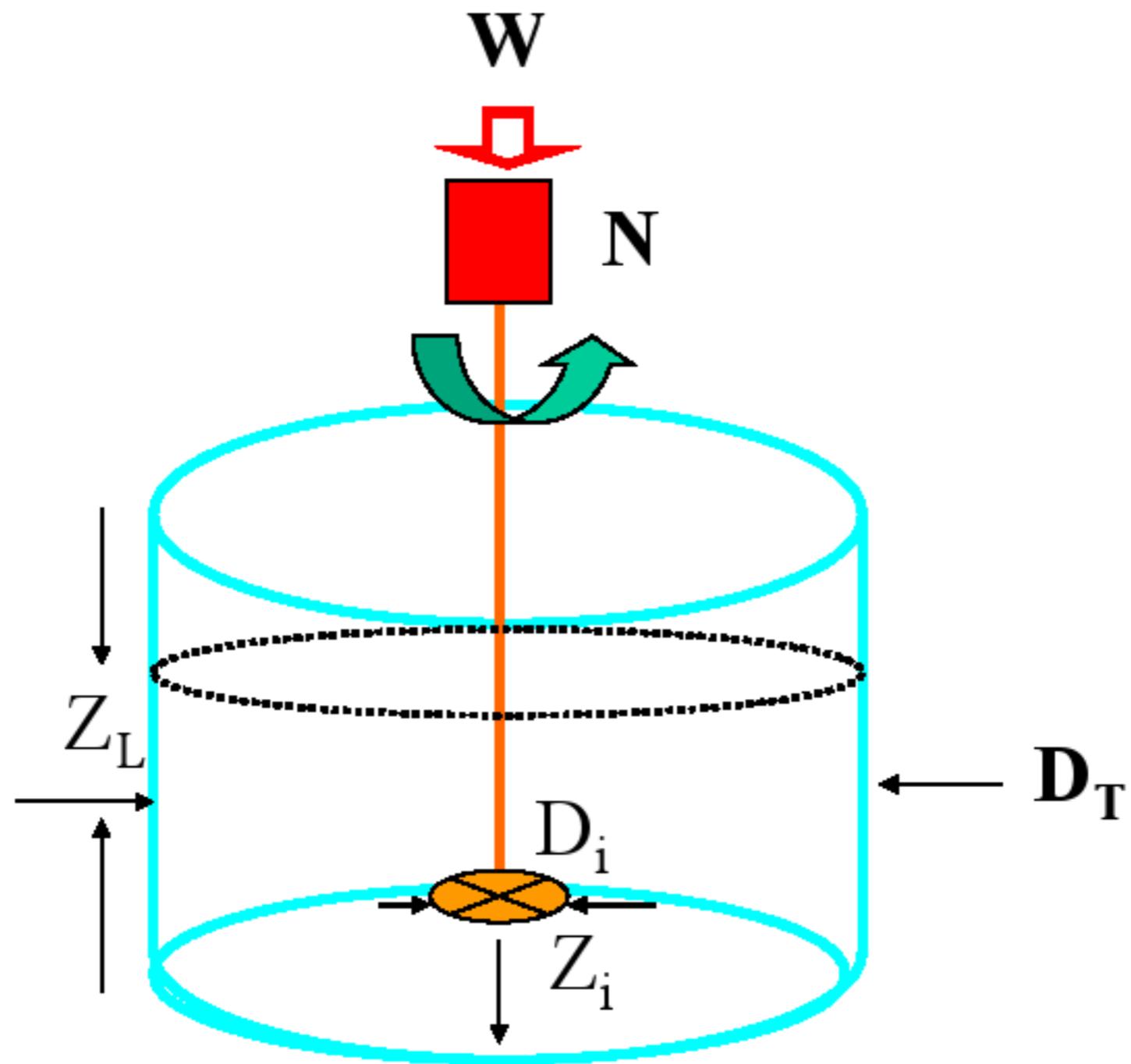
Impulsor eficiente para viscosidades na faixa de 2.500cp - 100.000 cp e alta carga (dispersão de gases e draft tube)

Caracterizado por suas placas bem finas.

Para requerimento simultâneo de dispersão de gás e suspensão de sólidos



**E agora, como se
projeta um sistema de
agitação???**



Geralmente $D_T/D_i = 3$

O análise dimensional permite reduzir o número de variáveis que influenciam a agitação e mistura e gera o seguinte número adimensionais relevantes ao processo:

$$Po = \dot{W} / \rho N^3 D_i^5 \quad Re = \rho N D_i^2 / \mu \quad Fr = N^2 D_i / g$$

$$D_t/D_i ; Z_l/D_i ; Z_i/D_i ; w/D_i$$

\dot{W} = Potência consumida

N = número de rotações

D_i = diâmetro do impulsor

Z_i = Altura de instalação do impulsor

Z_l = Altura de líquido

w = espessura do defletor

Logo:

Po=f(Re, Fr, número adi.geométricos)

- Escolher o tipo de agitador segundo o tipo de tarefa a realizar e as características do sistema a agitar

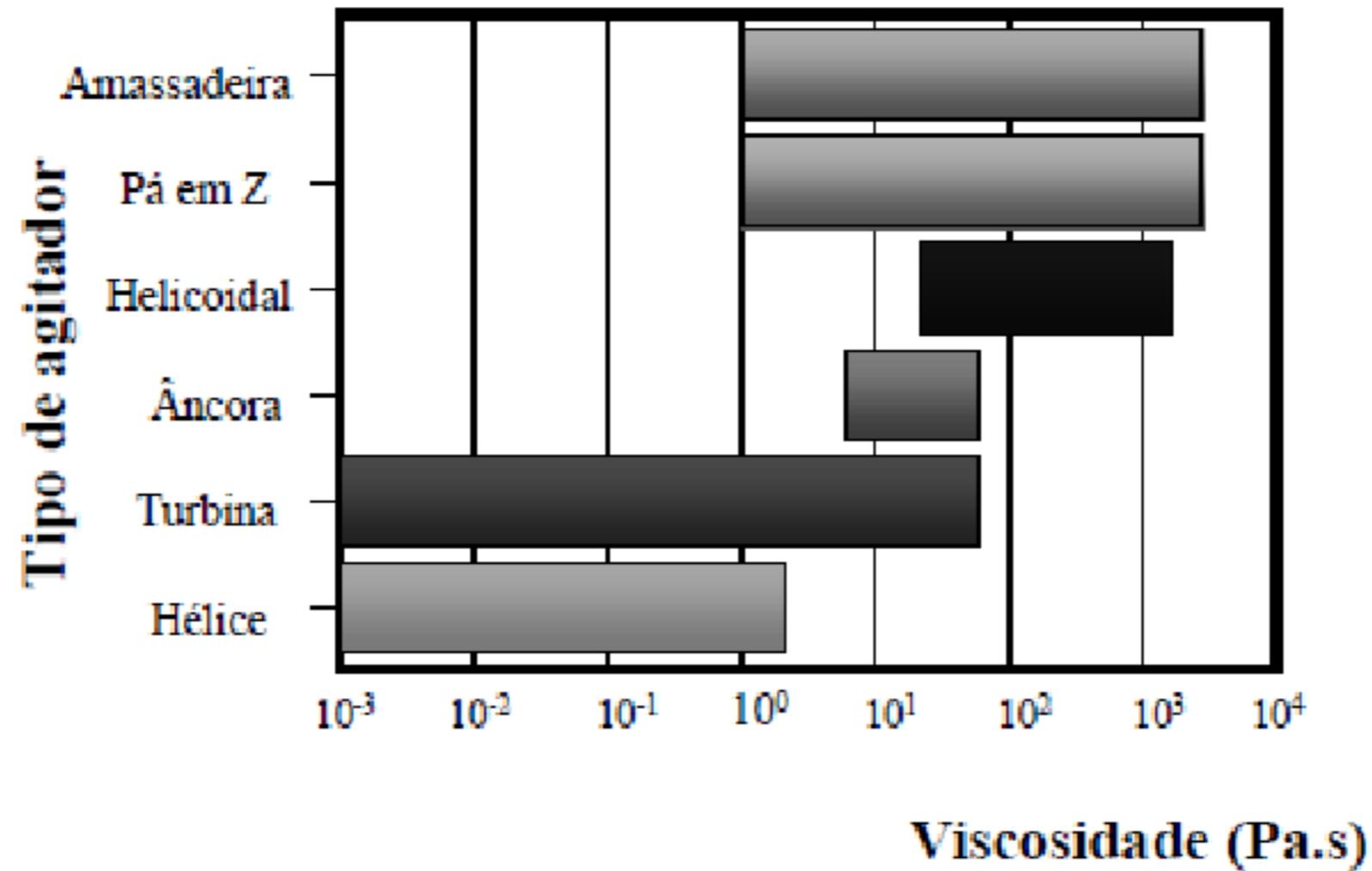
- Realizar experiências a nível de laboratório (modelo) ou procurar **dados** na bibliografia

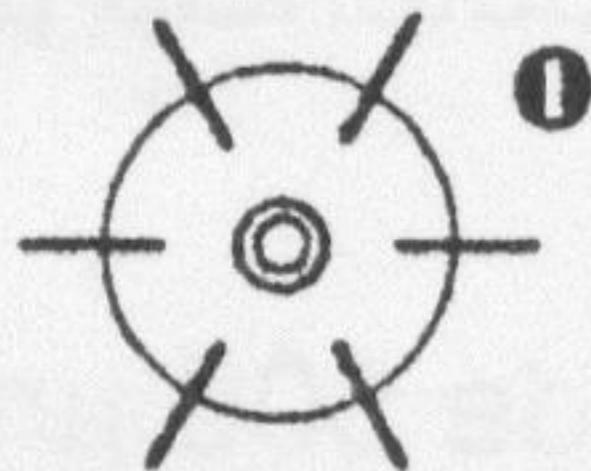
Ex.: para um dado volume de líquido (V) a misturar se tem a potencia requerida(\dot{W}), o número de rotações (N), nos quais se desenvolve melhor o objetivo proposto (mistura, emulsão , dispersão de um gás , etc.). Também se determina o regime de trabalho e o **critério de mudança de escala**

Projeto por semelhança

Escolha do tipo de agitador

Ainda hoje o processo de escolha do agitador apropriado, é considerado uma "arte".

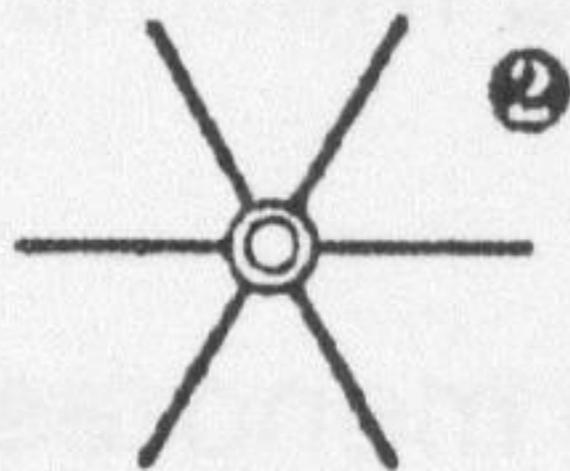




1



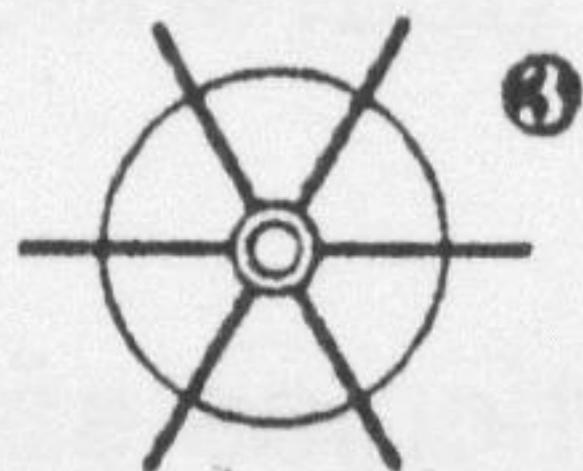
$$W/D = 1/5$$



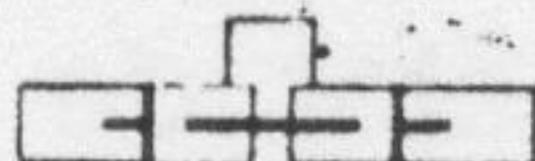
2



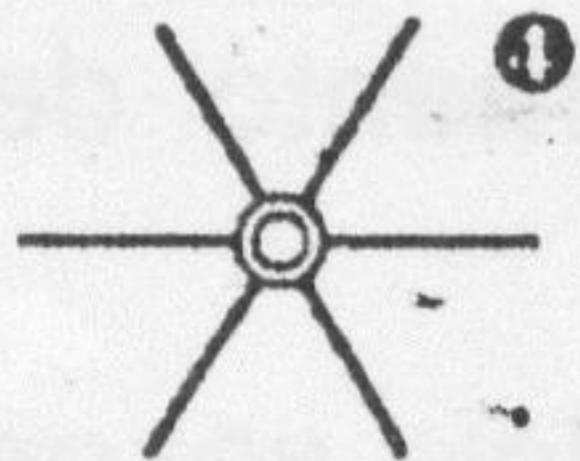
$$W/D = 1/5$$



3



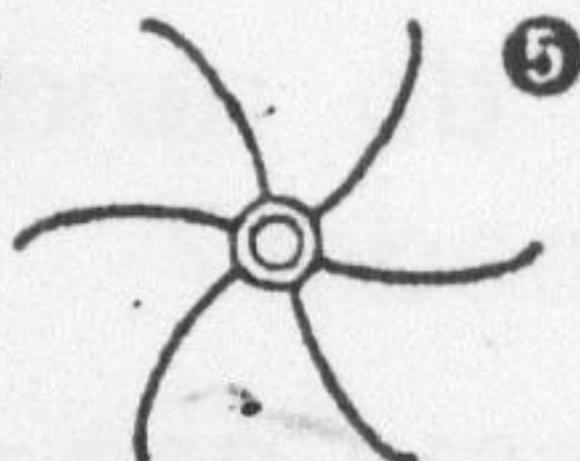
$$W/D = 1/8$$



4



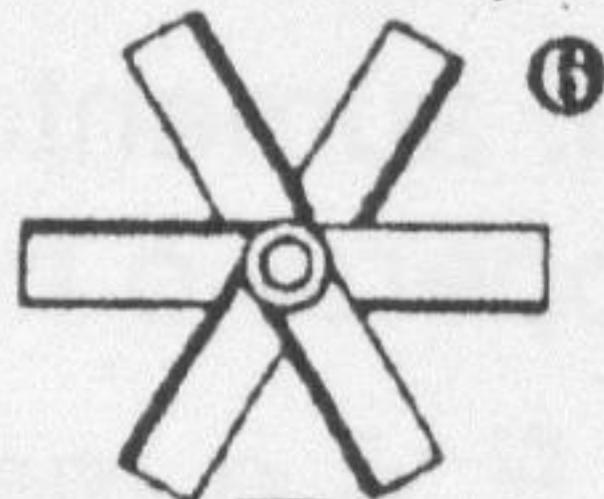
$$W/D = 1/8$$



5



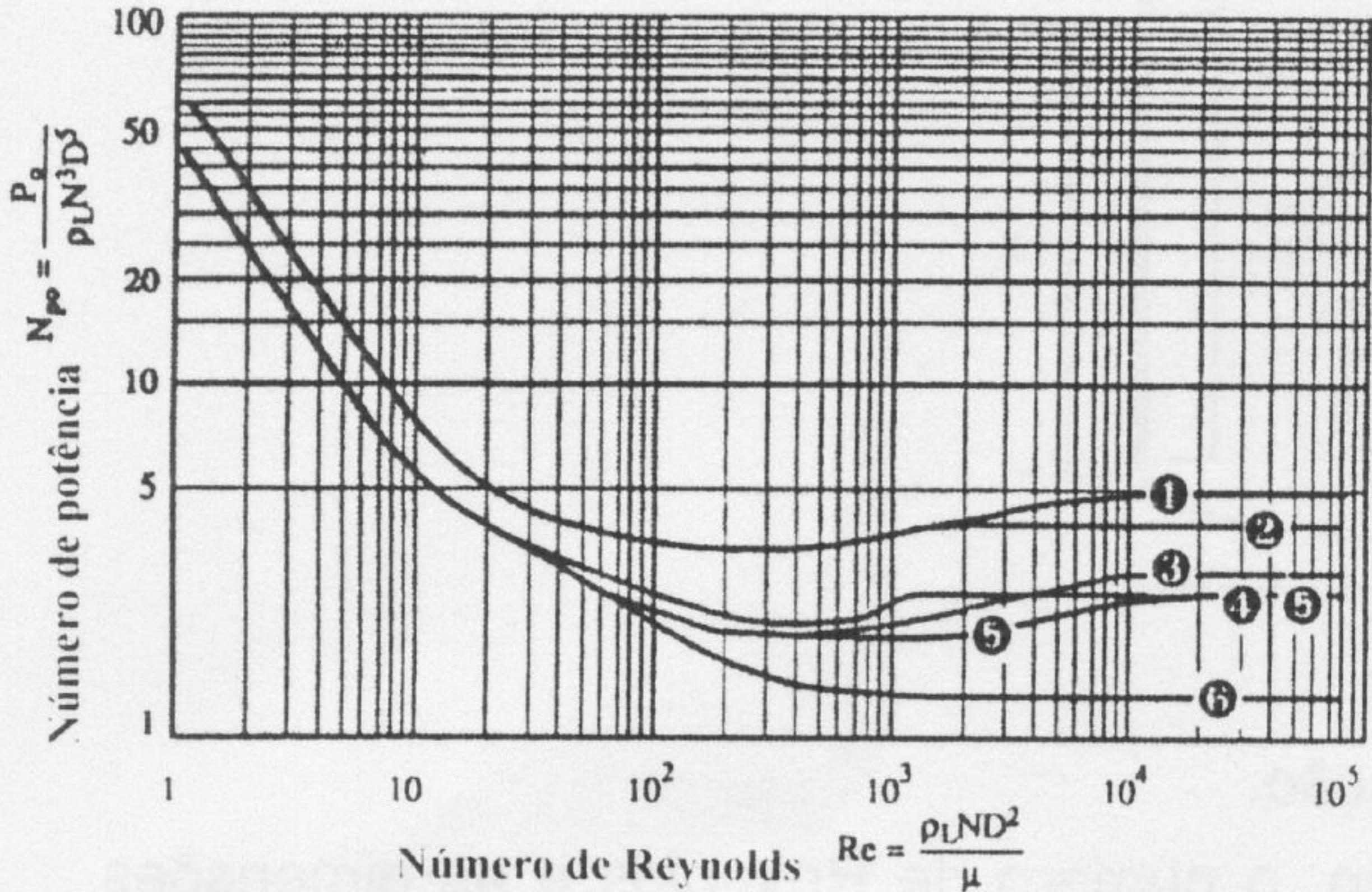
$$W/D = 1/8$$

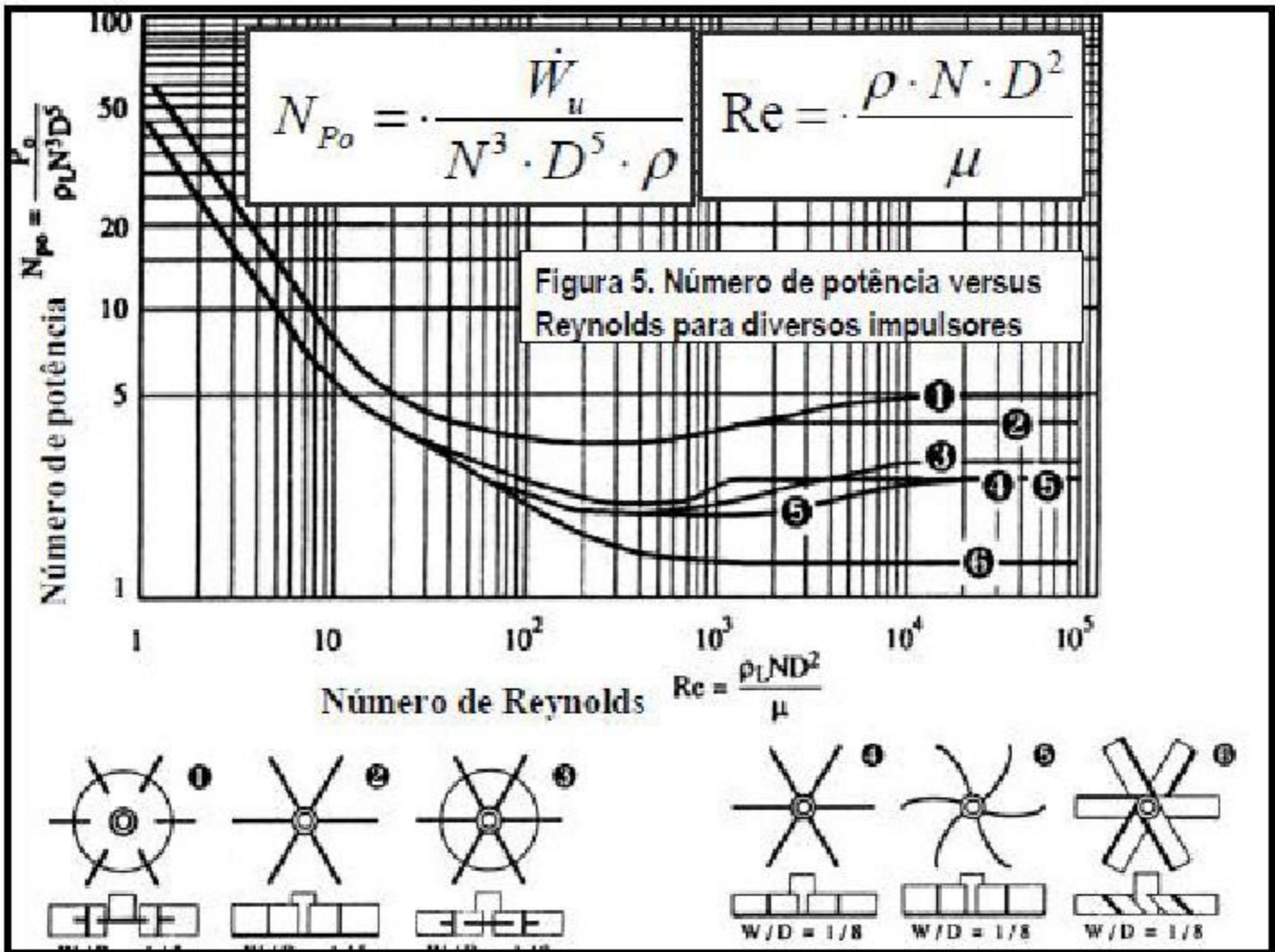


6



$$W/D = 1/8$$





$w/D = 1/5$

$w/D = 1/8$

Projeto por semelhança

1- Semelhança geométrica entre modelo (1) e protótipo (2)

$$\left(\frac{Dt}{Di}\right)_1 = \left(\frac{Dt}{Di}\right)_2; \left(\frac{Z_1}{Di}\right)_1 = \left(\frac{Z_1}{Di}\right)_2; \left(\frac{Z_i}{Di}\right)_1 = \left(\frac{Z_i}{Di}\right)_2; \dots$$

$$\left(\frac{W}{Di}\right)_1 = \left(\frac{W}{Di}\right)_2; \quad W = \text{largura defletores}$$

2- Semelhança dinâmica: Implica na igualdade entre os números adimensionais relevantes à fluidodinâmica do sistema

Regime laminar

No regime laminar os números que podem influenciar são Re e Fr, logo $N_{po} = f(Re, Fr)$. Portanto para assegurar a semelhança entre dos sistemas:

$$Re_1 = Re_2 \quad \text{e} \quad Fr_1 = Fr_2 \quad \Rightarrow \quad P_{o1} = P_{o2}$$

Entretanto para sistemas com defletores ou com $Re < 300$, o número de potência é só função do número de Re, assim:

$P_o = f(Re)$, portanto igualando Re do modelo e protótipo, implica na igualdade dos números de potência ;

$$\frac{\rho_1 D i_1^2 N_1}{\mu_1} = \frac{\rho_2 D i_2^2 N_2}{\mu_2} \Rightarrow \left(\frac{Wu}{\rho N^3 D i^5} \right)_1 = \left(\frac{Wu}{\rho N^3 D i^5} \right)_2$$

Regime turbulento

No regime turbulento o número de potência independe do Re , e se utilizam diversos critérios para realizar a mudança de escala segundo seja o objetivo da agitação. (mistura transferência de calor, emulsão etc.)

Neste caso, $P_0 \cong cte.$, independe do nº Re , depende somente do tipo de agitador e das relações geométricas tanque-sistema de agitação

1 - Critério de potência por unidade de volume

\bullet $\frac{W}{V}$		Nível ou grau de agitação
$\frac{\text{Watts}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{HP}}{\text{m}^3}$	
até 80	até 0.1	débil
80 - 230	0.1 - 0.3	suave
230 - 460	0.3 - 0.6	média
460 - 750	0.6 - 1.0	forte
750 - 1500	1 - 2	intensa
1500 - 2250	2 - 3	muito forte
2250 - 3000	3 - 4	intensíssima

$$\dot{W}_1 / V_1 = \dot{W}_2 / V_2$$



$$Po_1 = Po_2$$

$$\frac{\dot{W} u_1}{V_{T1}} = \frac{\dot{W} u_2}{V_{T2}}$$

V_T = volume do líquido no tanque

$$\frac{W u_1}{\frac{\pi}{4} D_{T1}^2 Z_{L1}} = \frac{W u_2}{\frac{\pi}{4} D_{T2}^2 Z_{L2}}$$

dividindo por Di_1 e Di_2

$$\frac{W u_1}{\left(\frac{D_{T1}}{Di_1}\right)^2 \left(\frac{Z_{L1}}{Di_1}\right) Di_1^3} = \frac{W u_2}{\left(\frac{D_{T2}}{Di_2}\right)^2 \left(\frac{Z_{L2}}{Di_2}\right) Di_2^3}$$

utilizando as relações da semelhança geométrica

$$\frac{W u_1}{Di_1^3} = \frac{W u_2}{Di_2^3}$$



Substituindo a anterior na igualdade $NP_{01} = NP_{02}$ se obtém

$$N_1^3 Di_1^3 = N_2^3 Di_2^3$$

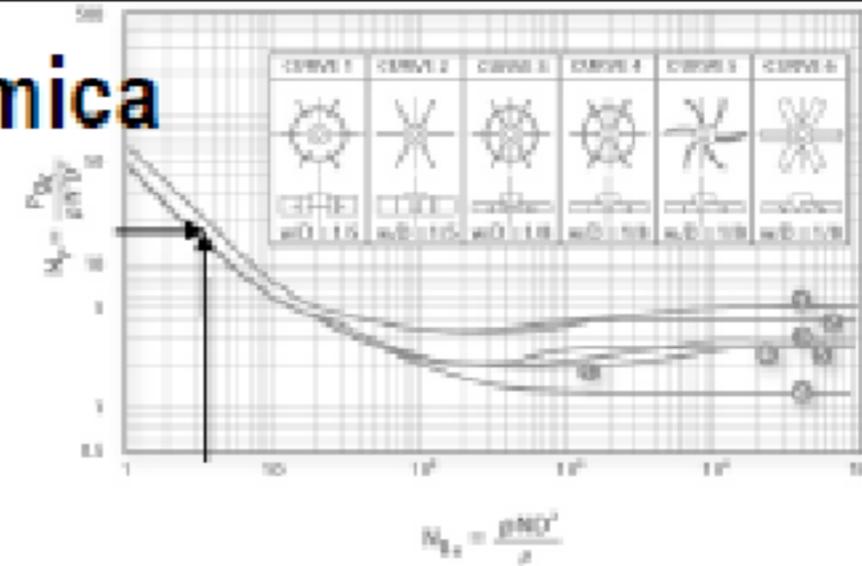
Usos: Extração líquido-líquido; transferência de massa ; dispersões gás-líquido; dissolução de sólido em líquidos; transferência de calor; mistura de líquidos, etc

Semelhança geométrica e dinâmica

1.1 Regime laminar

$$NPo = f(Re); Re < 300$$

Neste caso: $Re_1 = Re_2$ e $NPo_1 = NPo_2$



$$\therefore \frac{\rho N_1 D_1^2}{\mu} = \frac{\rho N_2 D_2^2}{\mu} \Leftrightarrow \boxed{N_1 D_1^2 = N_2 D_2^2}$$

$$\frac{\dot{W}u_1}{\rho N_1^3 D_1^5} = \frac{\dot{W}u_2}{\rho N_2^3 D_2^5} \Leftrightarrow \frac{\dot{W}u_1}{N_1^2 D_1^3} = \frac{\dot{W}u_2}{N_2^2 D_2^3}$$

$$\boxed{\dot{W}u_1 = \frac{\dot{W}u_2 N_1^2 D_1^3}{N_2^2 D_2^3}}$$



$$\boxed{\dot{W}u_1 = \frac{\dot{W}u_2 N_1 D_1}{N_2 D_2}}$$

Como $NPo_1 = NPo_2$:

$$\frac{\dot{W}u_1}{\rho N_1^3 D_1^5} = \frac{\dot{W}u_2}{\rho N_2^3 D_2^5}$$

$$\dot{W}u_1 = \frac{\dot{W}u_2 N_1^3 D_1^5}{N_2^3 D_2^5}$$

2 - Critério de Velocidade Periférica (Vp)

$$\pi D i_1 N_1 = \pi D i_2 N_2 = V_p$$

$$D i_1 N_1 = D i_2 N_2 \quad ; \quad \text{e portanto}$$

$$P_{O_1} = P_{O_2}$$

Critério utilizado quando interessa ter a mesma tensão de cisalhamento no sistema modelo e no industrial, por exemplo em dispersão-emulsão, este é um critério que assegura uma dispersão equivalente em ambos sistemas

3 - Igualdade nos tempos de mistura :

Trabalha-se com correlações para tempo de mistura

4 - Igualdade transferência de calor (h),
trabalha-se com correlações específicas.

$$Nu = f (Re, Pr, \text{etc.})$$

Resumindo, o critério de mudança de escala dos sistemas geometricamente semelhantes se reduz a uma relação do tipo:

$$N_1/N_2 = (D_{i1}/D_{i2})^x$$

Onde x depende do critério escolhido

Demonstração do cálculo de um agitador

Deseja-se agitar um líquido newtoniano de propriedades físicas conhecidas ($\mu = 200 \text{ cP}$, $\rho = 946 \text{ Kg/m}^3$),

por meio de:

um impulsor de turbina de 6 palhetas standard, em um tanque com medidas padrão e 4 defletores.

O diâmetro de impulsor (D) é 0.508 m

A taxa de rotação (N) é 100 RPM.

Qual será a potência do motor adequado?

Neste caso: N , D , μ , ρ são conhecidos.
 Impulsor conhecido.

Re modificada $\text{Re} = \frac{D^2 N \rho}{\mu}$
 Tipo de impulsor $\left. \begin{array}{l} \text{Re modificada} \\ \text{Re} = \frac{D^2 N \rho}{\mu} \end{array} \right\} \rightarrow \text{Gráfico} \rightarrow N_{Po} \rightarrow \dot{W}_{\text{útil}} = N_{Po} \mu N^3 D^5$
 Turbina 6 pás

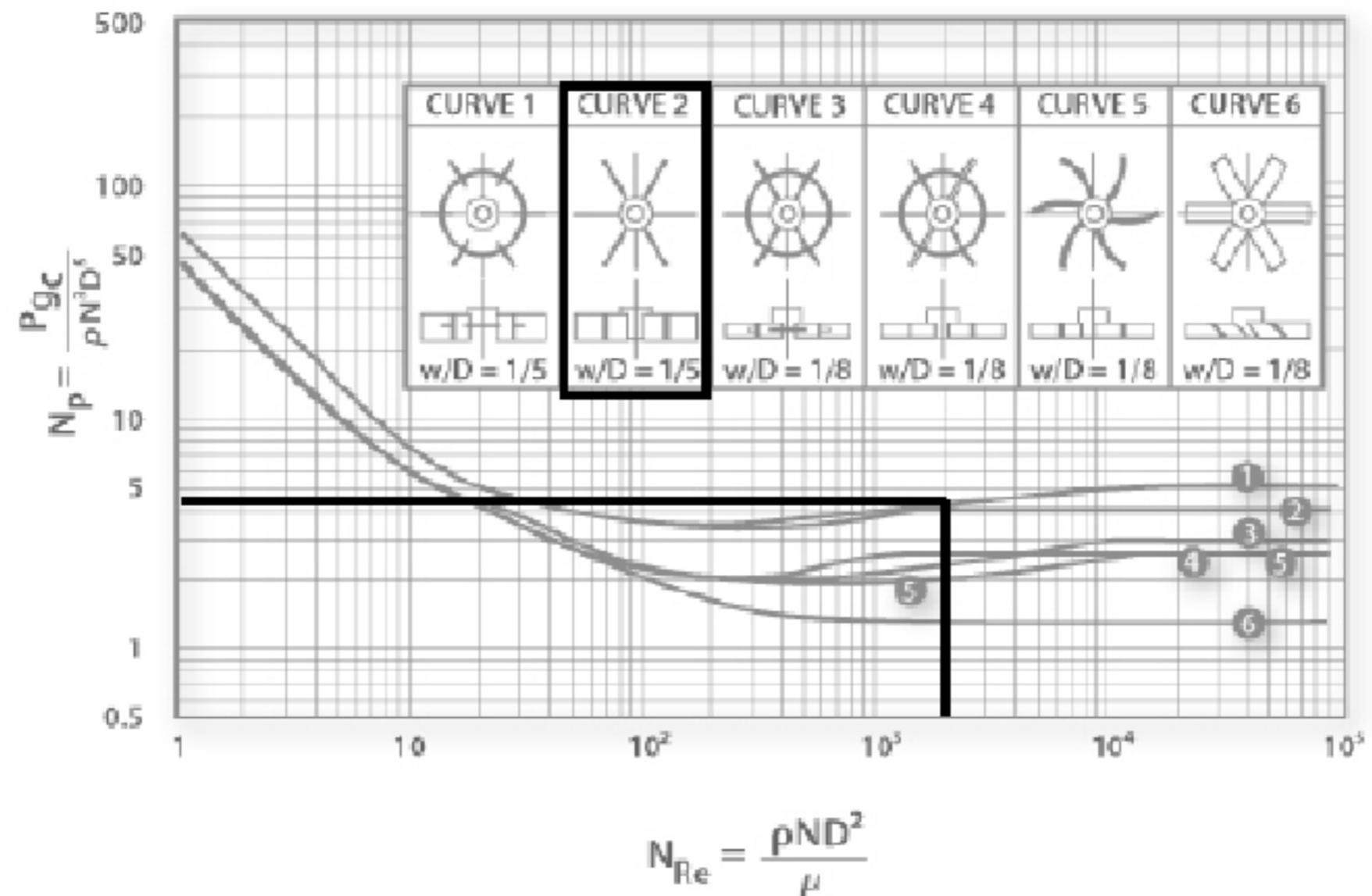
$\rightarrow \dot{W}_{\text{eixo}} = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\eta} \rightarrow \text{Tabelas de motores} \rightarrow \text{Motor}$

Resolução

$$\text{Re} = \frac{D^2 N \rho}{\mu} = \frac{(0.508\text{m})^2 \times \left(100 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) \times 946 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{200 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 2039$$

Gráfico de Número de Potência

N_{P0} = Número de potência



Curva 2 $\rightarrow N_{po} = 4.7$

$$N_{Po} \rightarrow \dot{W}_{\mu} = N_{Po} \rho N^3 D^5$$

$$\dot{W}_{\text{útil}} = 4.7 \times 946 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{100}{60\text{s}} \right)^3 \times (0.508)^5 = 696 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

$$\dot{W}_{\text{eixo}} = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\eta} = \frac{696 \text{ W}}{0.7} \times \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}} = 1.33 \text{ HP}$$

Escolhemos o imediato superior ao valor calculado = 1 ½ HP

Velocidades Padrão (RPM)
100
...
1150
1750
3400

HP	kW
1 ½	1.12
2	1.49
3	2.24
5	3.73
7 ½	5.6
10	7.46
15	11.2
20	14.9

O agitador calculado vai atuar em cima de que volume?

$$Di = 0.508$$

$$Dt = 3 Di = 3 \times 0.508 = 1.524 \text{ m}$$

$$Volume = \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times H_L = \frac{\pi}{4} \times Dt^3 = \frac{\pi}{4} \times (1.524)^3 = 2.78 \text{ m}^3$$

Qual será a potencia útil por unidade de volume?

$$\frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{V} = \frac{696 \text{ W}}{2.78 \text{ m}^3} = 250 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ HP}}{756 \text{ W}} = 0.34 \frac{\text{HP}}{\text{m}^3}$$

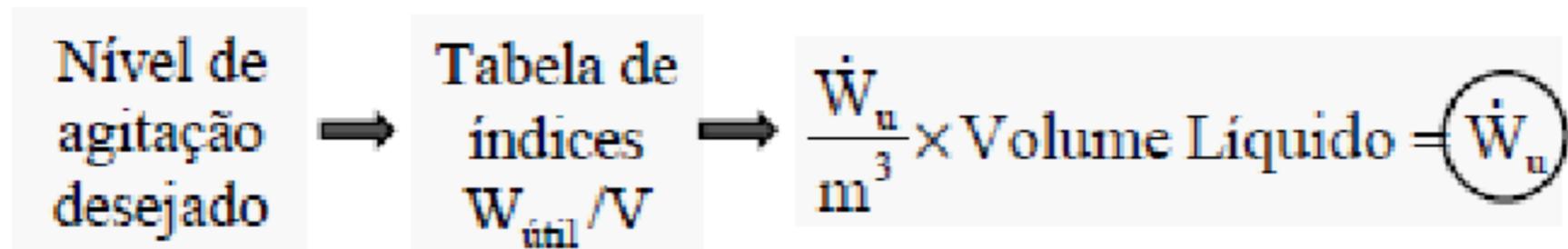
Quando se procura os índices de intensidade de agitação em HP/m^3 se vê que tipo de agitação ocorrerá nesse tanque:

$$0.3 \rightarrow 0.6 \text{ HP}/\text{m}^3$$

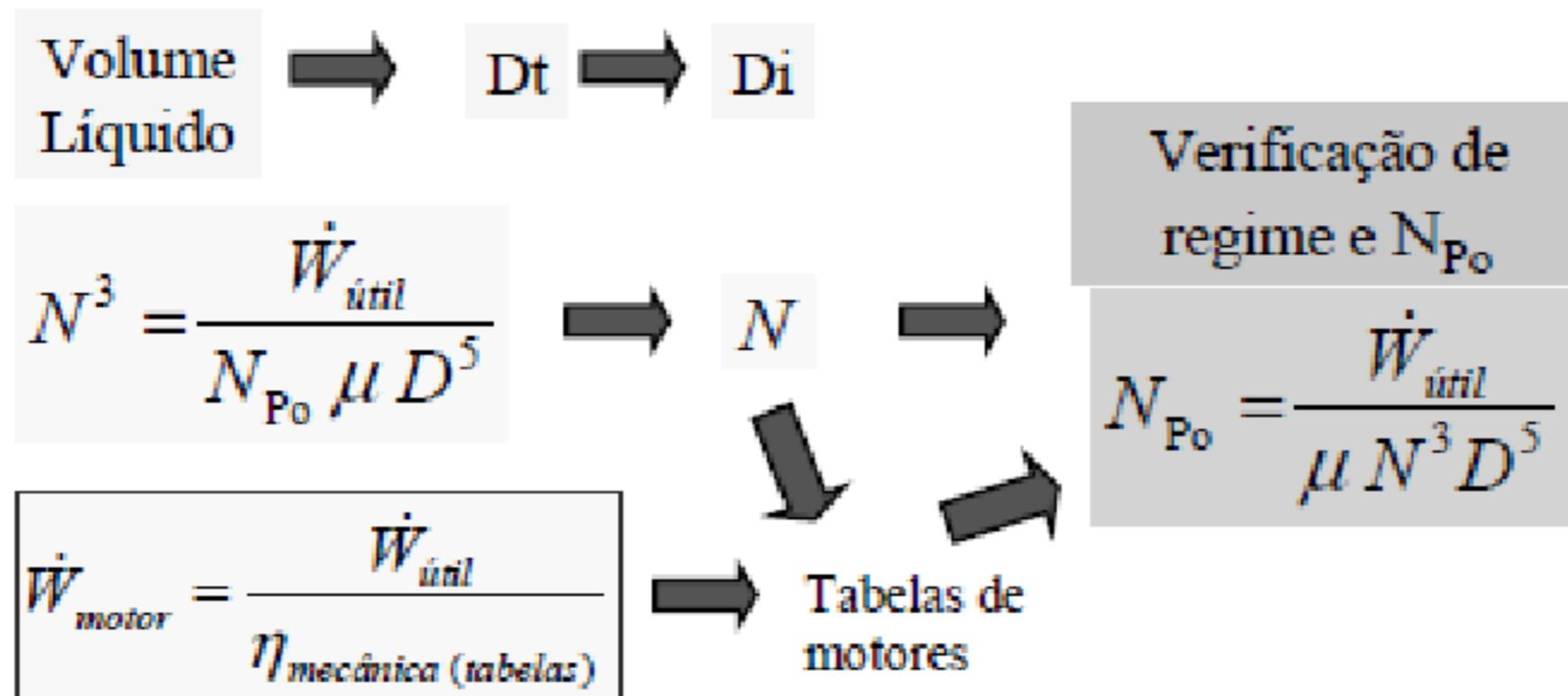
→ Agitação média

<u>Watts</u> m^3	<u>HP</u> m^3	
80 - 230	0.1 - 0.3	Suave
230 - 460	0.3 - 0.6	Média
460 - 750	0.6 - 1.0	Forte
750 - 1500	1 - 2	Intensa
1500 - 2250	2 - 3	Muito forte

Geralmente se procede da forma inversa:



Suposição do tipo de regime: N_{Po} do gráfico

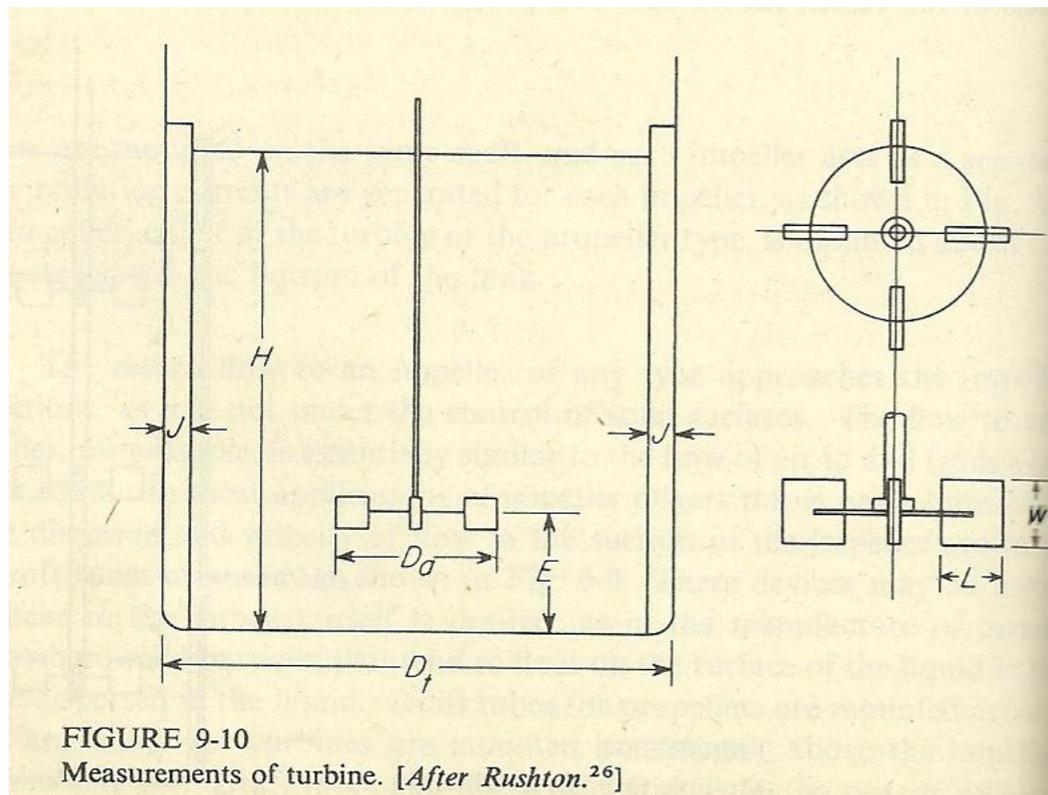


RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 1: Uma turbina Rushton com 6 pás está instalada no centro de um tanque vertical. O diâmetro do tanque é de 1,83 m o diâmetro da turbina é de 0,61 m e está posicionada a 0,61 m do fundo do tanque. O tanque é cheio com uma solução a 50% de soda cáustica, com uma viscosidade de 12 cp (0,012 kg/[m.s]) e uma densidade de 1498 kg/m³). A turbina é operada a 90 rpm. O tanque não possui chicanas. Qual a potência é requerida para operar o misturador?

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 1: solução



$$S_1 = D_t / D_a = 3$$

$$S_2 = E / D_a = 1$$

$$S_3 = L / D_a = 0,25(\text{comum Rushton 6 pás})$$

$$S_5 = J / D_t (\text{sem chicanas})$$

$$S_6 = H / D_t = 1$$

Utilizar gráfico da figura 9-14

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 1: solução

$$Re = D_a^2 n \rho / \mu$$

$$n = 90 \text{ rpm} = 90/60 = 1,5 \text{ rotações por segundo}$$

$$Re = 0,61^2 \cdot 1,5 \cdot 1498 / 0,012 = 69675 > 300 \text{ curva B (sem chicanas)}$$

$$NFr = n^2 D_a / g = 1,5^2 \cdot 0,61 / 9,81 = 0,14$$

Table 9-1 CONSTANTS a AND b of EQ. (9-23)

Fig.	Line	a	b
9-14	B	1.0	40.0

Da figura 9-14 para $Re = 7 \cdot 10^4$

$$\phi = Np / NFr^m = 1,1 \text{ (aproximadamente)}$$

$$m = (a - \log Re) / b = -0,096$$

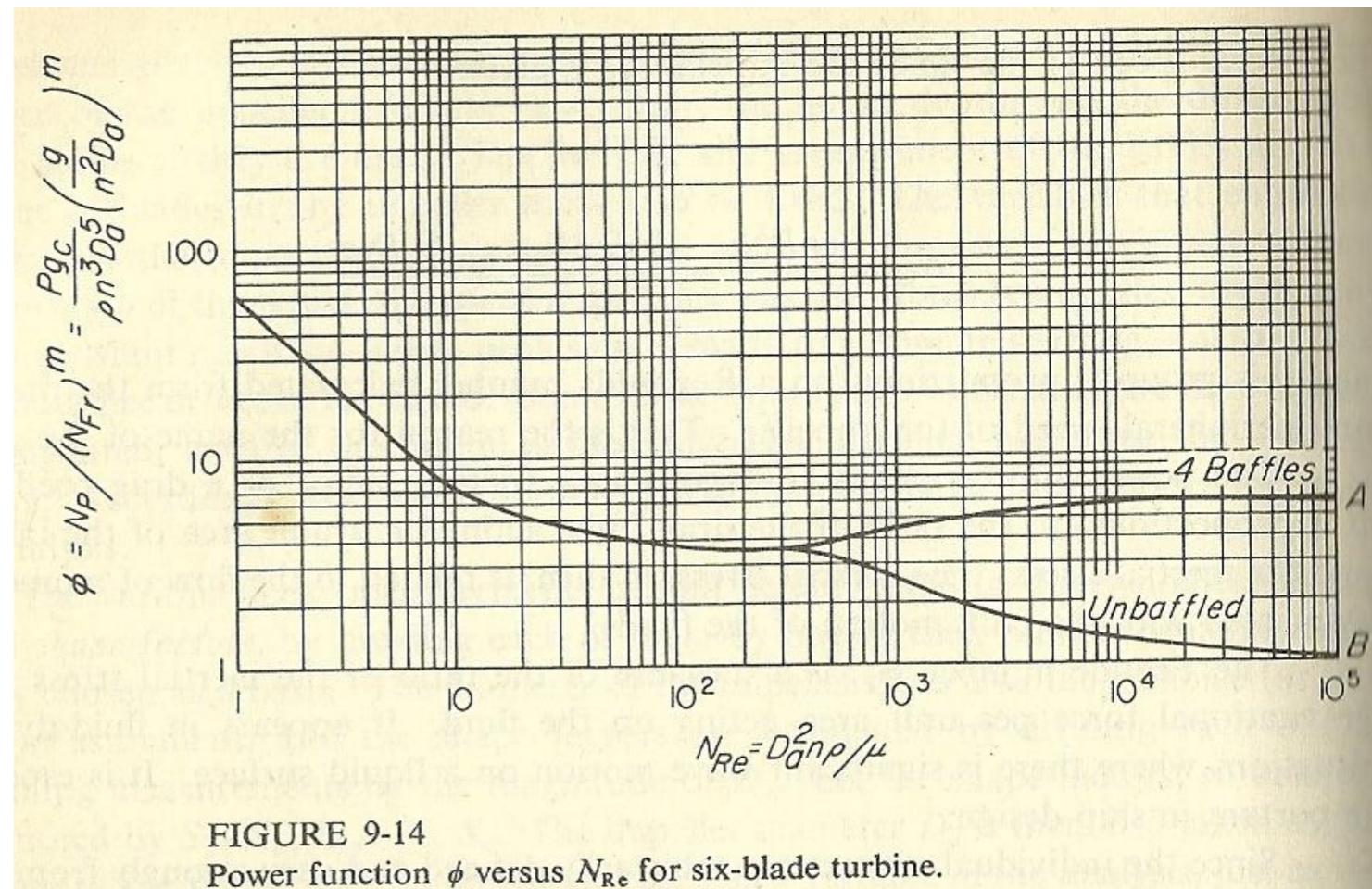
$$Np = \phi \cdot NFr^m = 1,1 \cdot 0,14^{-0,096}$$

$$Np = 1,33$$

$$Np = P / (\rho n^3 D_a^5)$$

$$P = 1,33 \cdot 1498 \cdot 1,5^3 \cdot 0,61^5$$

$$P = 568 \text{ W}$$

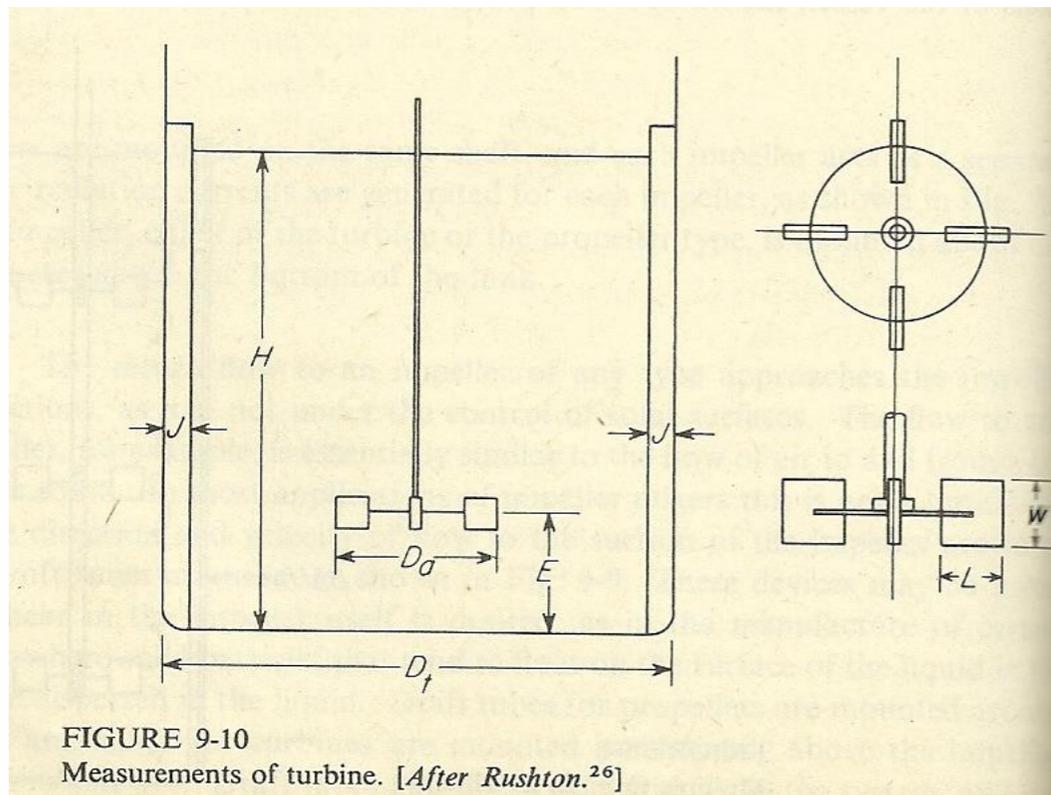


RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 2: Ao tanque do exemplo anterior são adicionadas 4 chicanas com 0,19 m de largura. Qual a potência requerida para operar este misturador com chicanas?

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 2: solução



$$S_1 = D_t / D_a = 3$$

$$S_2 = E / D_a = 1$$

$$S_3 = L / D_a = 0,25 \text{ (comum Rushton 6 pás)}$$

$$S_5 = J / D_t = 0,1 \text{ (aproximadamente)}$$

$$S_6 = H / D_t = 1$$

Utilizar gráfico da figura 9-14

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 2: solução

$$Re = D_a^2 n \rho / \mu$$

$n=90 \text{ rpm} = 90/60 = 1,5$ rotações por segundo

$$Re = 0,61^2 \cdot 1,5 \cdot 1498 / 0,012 = 69675 > 300 \text{ curva A (com chicanas)}$$

Da figura 9-14 para $Re=7 \cdot 10^4$

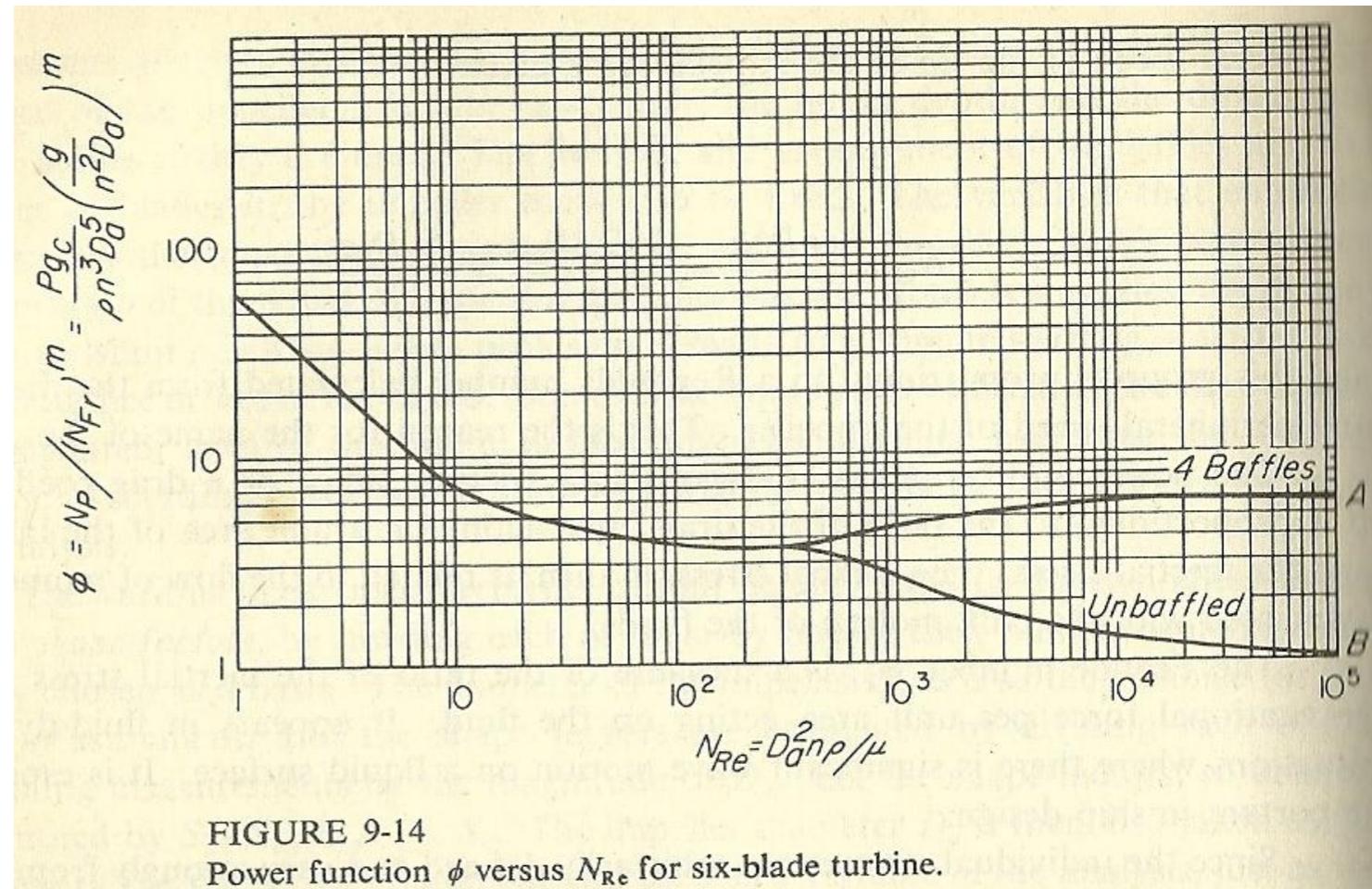
NFr não aplicável para problemas com chicanas.

$$\phi = N_p = 6$$

$$N_p = P / (\rho n^3 D_a^5)$$

$$P = 6 \cdot 1498 \cdot 1,5^3 \cdot 0,61^5$$

$$P = 2562 \text{ W}$$



RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 3: O misturador do exemplo 1 será utilizado para misturar um composto de latex com uma viscosidade de 1200 Poises ($120 \text{ kg}/[\text{m}\cdot\text{s}]$) e com uma densidade de $1120 \text{ kg}/\text{m}^3$. Qual a potência requerida para operar este misturador?

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 3: solução

$$Re = D_a^2 n \rho / \mu$$

$n=90 \text{ rpm} = 90/60 = 1,5$ rotações por segundo

$$Re = 0,61^2 \cdot 1,5 \cdot 1120 / 120 = 5,2 < 300 \quad NFr \text{ não se aplica}$$

Da figura 9-14 para $Re=5,2$

$\phi = Np = 13$ (aproximadamente)

$$Np = P / (\rho n^3 D_a^5)$$

$$P = 13 \cdot 1120 \cdot 1,5^3 \cdot 0,61^5$$

$$P = 4150 \text{ W}$$

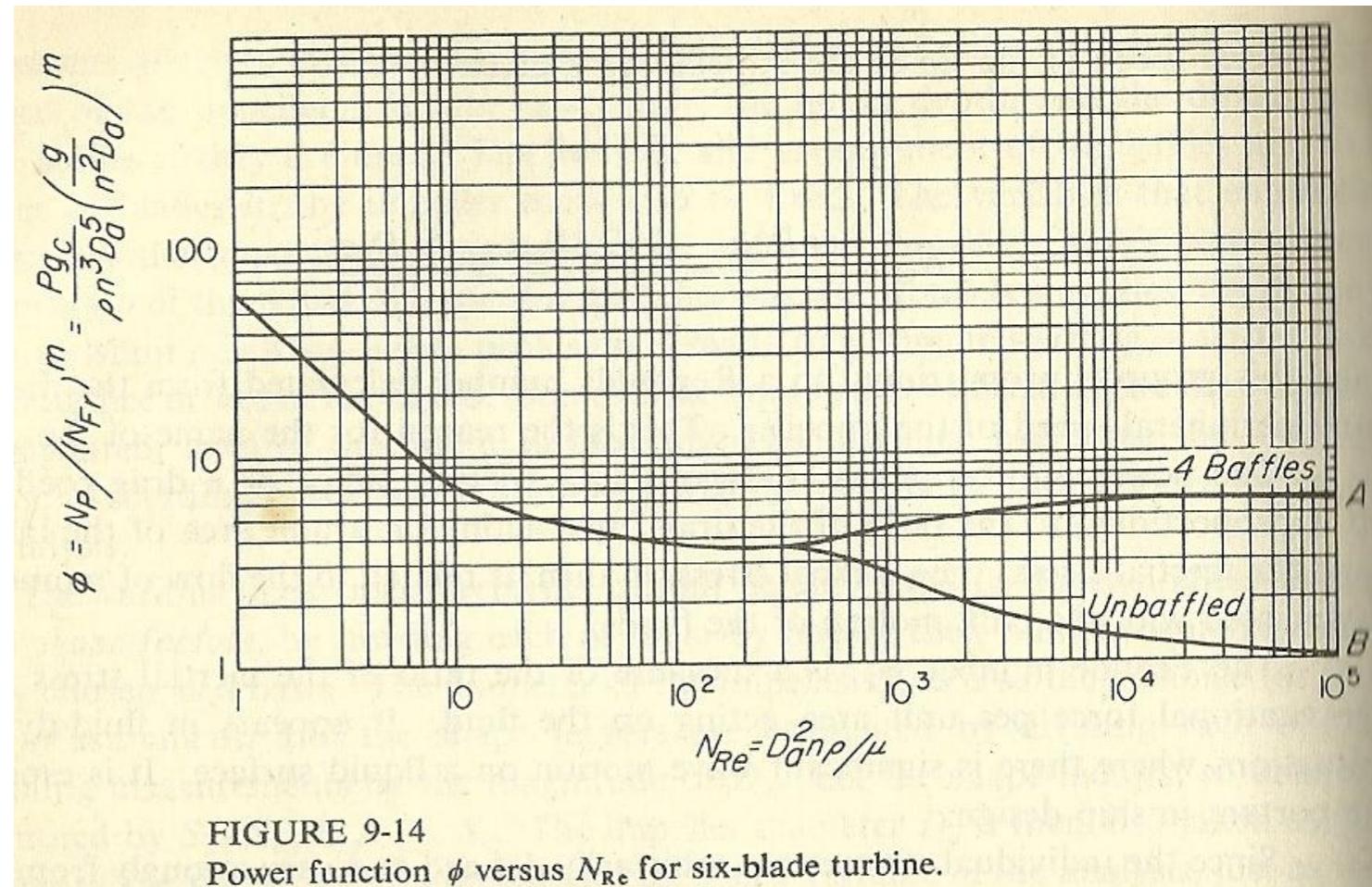


FIGURE 9-14
Power function ϕ versus N_{Re} for six-blade turbine.

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 4: Considere na resolução do problema $W=P$ e $\eta=0,7$

Demonstração do cálculo de um agitador

Deseja-se agitar um **líquido newtoniano** de propriedades físicas conhecidas

($\mu = 200 \text{ cP}$, $\rho = 946 \text{ Kg/m}^3$),

por meio de:

um impulsor de **turbina de 6 palhetas standard**, em um tanque com **medidas padrão e 4 defletores**.

O diâmetro de impulsor (D) é 0.508 m

A taxa de rotação (N) é 100 RPM .

Qual será a **potência do motor adequado?**

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 4:

Neste caso: N , D , μ , ρ são conhecidos.
Impulsor conhecido.

Re modificada $Re = \frac{D^2 N \rho}{\mu}$
 Tipo de impulsor \rightarrow Gráfico $\rightarrow N_{Po} \rightarrow \dot{W}_{útil} = N_{Po} \mu N^3 D^5$
 Turbina 6 pás

$\rightarrow \dot{W}_{eixo} = \frac{\dot{W}_{útil}}{\eta} \rightarrow$ Tabelas de motores \rightarrow Motor

Resolução

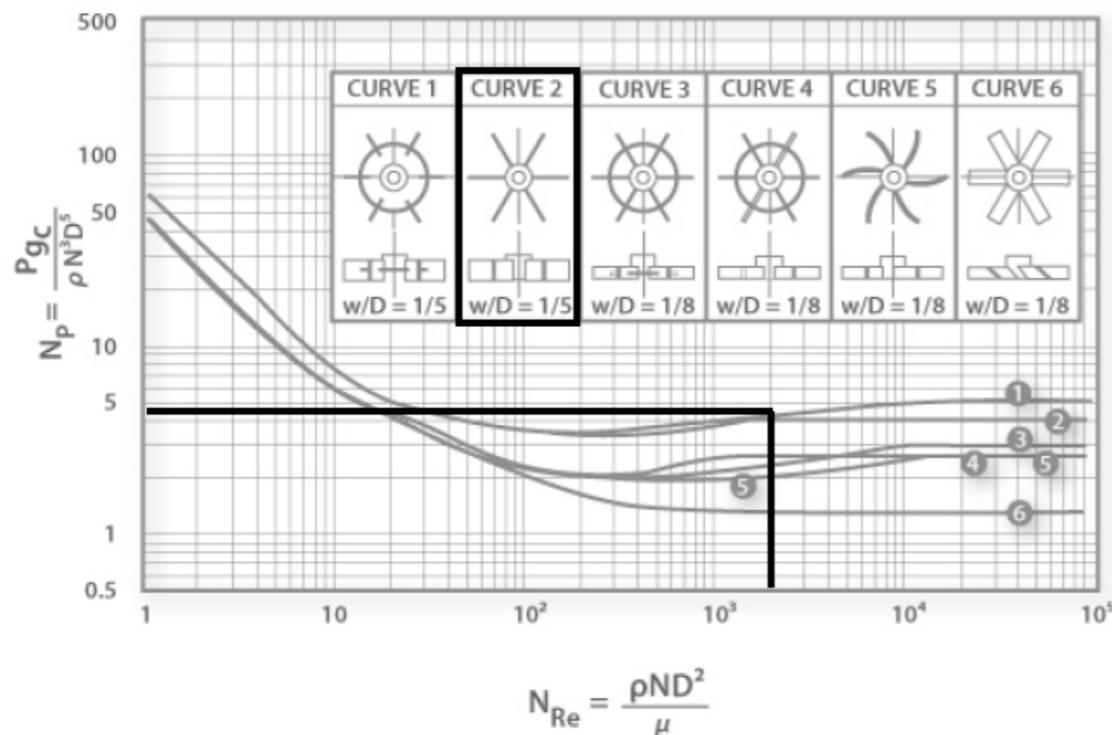
$$Re = \frac{D^2 N \rho}{\mu} = \frac{(0.508m)^2 \times \left(100 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60s}\right) \times 946 \frac{kg}{m^3}}{200 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}} = 2039$$

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 4:

Gráfico de Número de Potencia

N_{Po} = Número de potência



Curva 2 $\rightarrow N_{po} = 4.7$

$$N_{Po} \rightarrow \dot{W}_{\mu} = N_{Po} \rho N^3 D^5$$

$$\dot{W}_{\text{útil}} = 4.7 \times 946 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{100}{60\text{s}} \right)^3 \times (0.508)^5 = 696 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

$$\dot{W}_{\text{eixo}} = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\eta} = \frac{696 \text{ W}}{0.7} \times \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}} = 1.33 \text{ HP}$$

Escolhemos o imediato superior ao valor calculado = 1 ½ HP

Velocidades Padrão (RPM)
100
...
1150
1750
3400

HP	kW
1 ½	1.12
2	1.49
3	2.24
5	3.73
7 ½	5.6
10	7.46
15	11.2
20	14.9

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO SISTEMAS DE AGITAÇÃO

EXEMPLO 4:

O agitador calculado vai atuar em cima de que volume?

$$Di = 0.508 \quad Dt = 3 Di = 3 \times 0.508 = 1.524 \text{ m}$$

$$Volume = \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times H_L = \frac{\pi}{4} \times Dt^3 = \frac{\pi}{4} \times (1.524)^3 = 2.78 \text{ m}^3$$

Qual será a potencia útil por unidade de volume?

$$\frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{V} = \frac{696 \text{ W}}{2.78 \text{ m}^3} = 250 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ HP}}{756 \text{ W}} = 0.34 \frac{\text{HP}}{\text{m}^3}$$

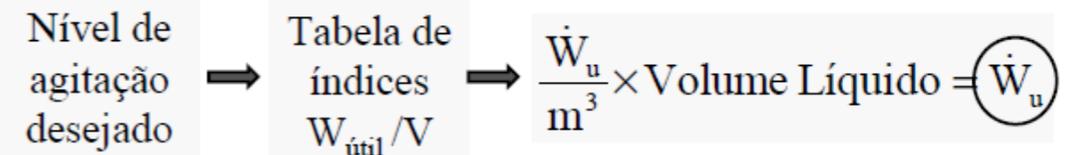
Quando se procura os índices de intensidade de agitação em HP/m^3 se vê que tipo de agitação ocorrerá nesse tanque:

$$0.3 \rightarrow 0.6 \text{ HP}/\text{m}^3$$

→ Agitação média

Watts m^3	HP m^3	
80 - 230	0.1 - 0.3	Suave
230 - 460	0.3 - 0.6	Média
460 - 750	0.6 - 1.0	Forte
750 - 1500	1 - 2	Intensa
1500 - 2250	2 - 3	Muito forte

Geralmente se procede da forma inversa:



Suposição do tipo de regime: N_{Po} do gráfico

