



Agitação e Mistura de Fluidos em Operações Farmacêuticas – Parte II

Prof. Dr. Wanderley Pereira Oliveira
Prof. Dr. Luis Alexandre Pedro de Freitas

Pirâmides de Teotihuacán – Cidade do México

PRINCIPAIS IMPELIDORES COMERCIAIS

Existem muitos tipos de impelidores, a seguir se apresentam os mais comuns:

1. Agitadores para líquidos pouco viscosos ou de consistência média;
2. Agitadores para sistemas muito viscosos (ancora, helicoidal, ..)

Tipos de impelidores

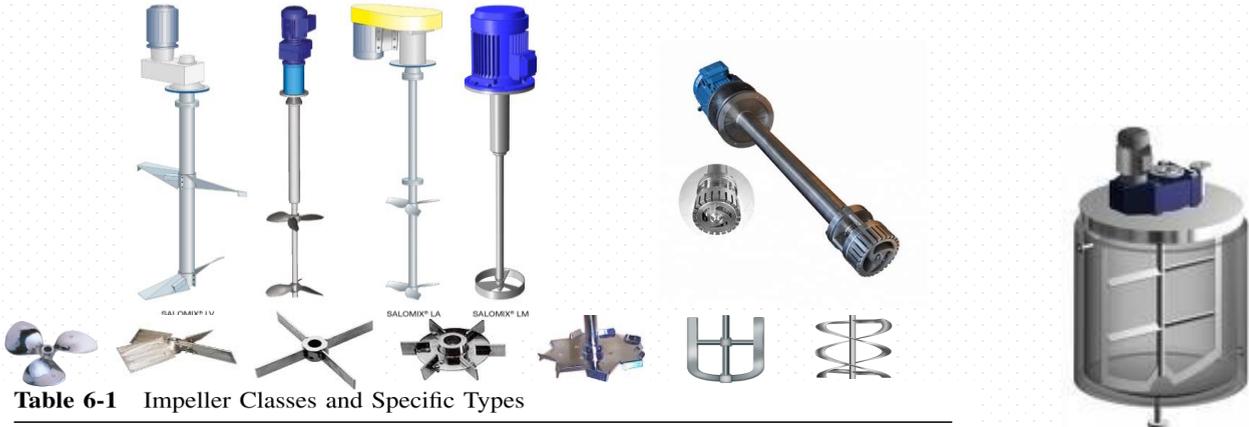


Table 6-1 Impeller Classes and Specific Types

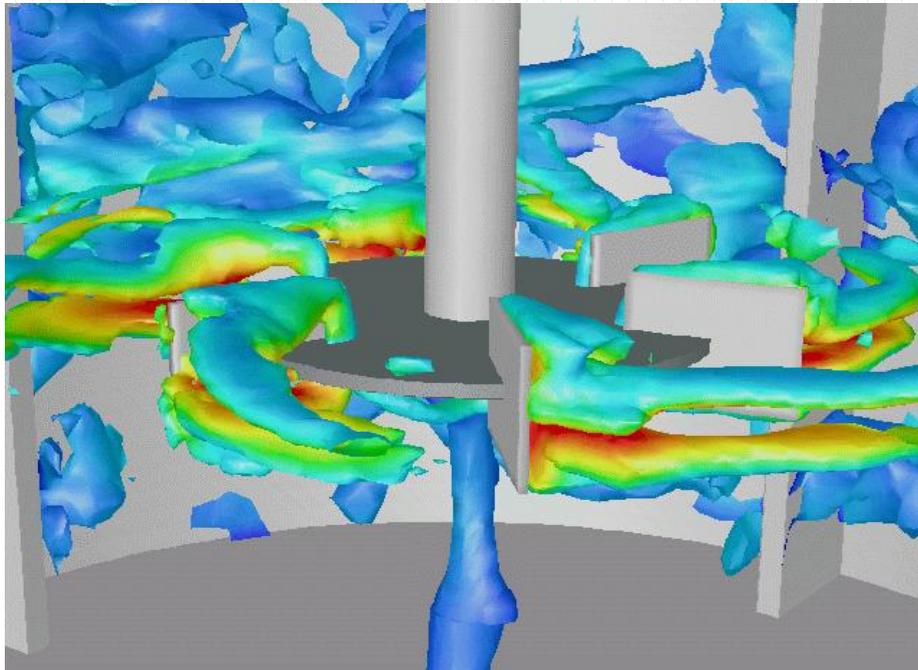
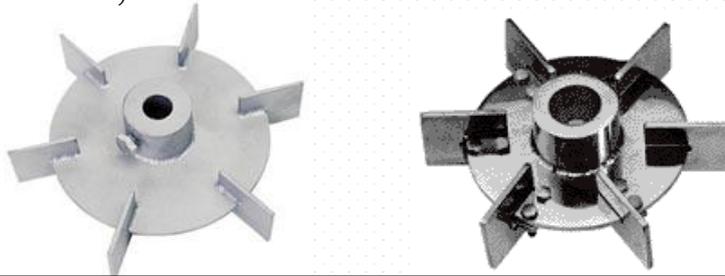
Axial flow	Propeller, pitched blade turbine, hydrofoils
Radial flow	Flat-blade impeller, disk turbine (Rushton), hollow-blade turbine (Smith)
High shear	Cowles, disk, bar, pointed blade impeller
Specialty	Retreat curve impeller, sweptback impeller, spring impeller, glass-lined turbines
Up/down	Disks, plate, circles

3

IMPELIDORES DE ESCOAMENTO RADIAL

A) DISCO (TURBINA RUSHTON): escoamento radial

- ❑ Faixa de viscosidade: $\mu < 20$ Pas
- ❑ Montagens: centralizada com chicanas
- ❑ Funções: agitação liq.-liq., sólido-liq. e gás-liq.
- ❑ Usual: $Re > 10^2$, $U = 4 - 10$ m/s



B) PÁS RETAS

- ❑ escoamento radial faixa de viscosidade: $\mu < 20 \text{ Pas}$
- ❑ Montagens: centralizada com chicanas
- ❑ Funções: Mistura liq.-liq., sólido-liq. e gás-liq.
- ❑ Usual: $Re > 10^2$, $U = 4 - 10 \text{ m/s}$



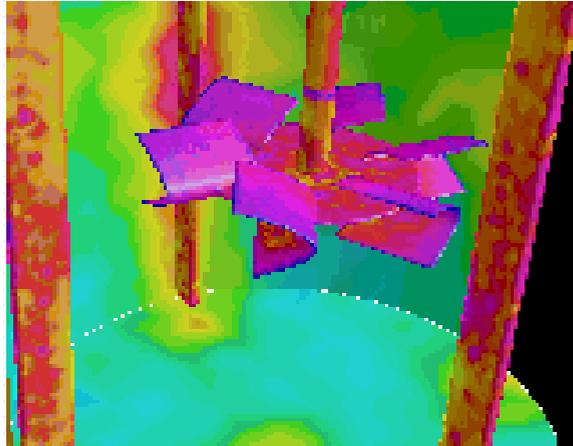
C) TURBINA SMITH: escoamento radial



Turbina altamente efetiva para dispersão de volumes altos de gases

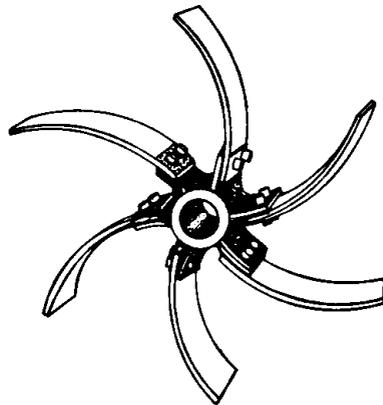
Pode dispersar 6 vezes mais volume que a de Rushton. 10% a mais de transferência de massa.

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



Física Industrial

D) TURBINA DE PÁS CURVAS



Sweptback or Curved Blade Turbine
(a Spiral Turbine)

After Tatterson, 1991

10

E) DENTE DE SERRA: Radial de alto cisalhamento



**IMPELIDORES DE
ESCOAMENTO AXIAL**

f) Hélice naval: escoamento axial

- ❑ Faixa de baixa viscosidade: $\mu < 20 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ($\text{N}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)
- ❑ Montagens: centralizado ou excêntrica, inclinada com chicanas.
- ❑ Funções: homogeneização liq.-liq., sólido-liq., e raramente gás-liq.
- ❑ Usual: $\text{Re} > 10^3$; $U = 3 - 15 \text{ m/s}$



g) Pás inclinadas:

- ❑ Escoamento axial com leve componente radial
- ❑ Faixa de viscosidade: $\mu < 10 \text{ Pas}$
- ❑ Montagens: centralizada ou excêntrica, inclinada com/sem chicanas
- ❑ Funções: homogeneização liq-liq, sólido-liq, e raramente gás-liq
- ❑ Usual: $\text{Re} > 10^3$, $U = 2 - 6 \text{ m/s}$



FIG. 18-2 An A310 impeller.

H) HYDROFOIL



15

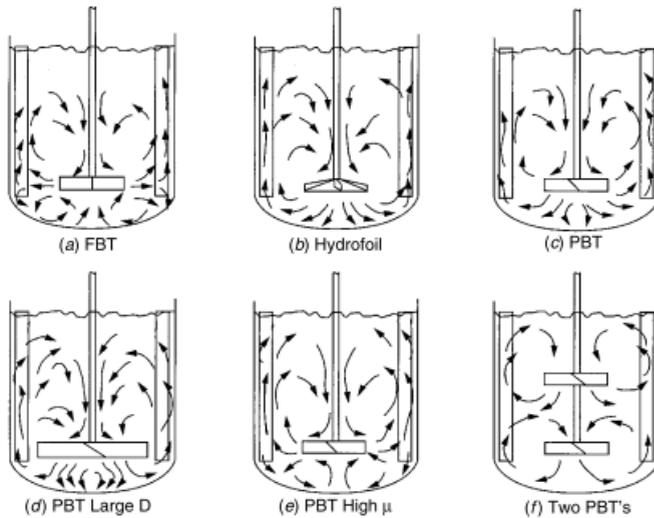


FIG. 18-2 An A310 impeller.

Figure 6-20 Flow patterns with different impellers, impeller diameter, and liquid viscosity.

FBT: Turbina Pás Planas; **PBT:** Turbina Pás Inclinadas;

INFLUÊNCIA DO IMPELIDOR NA SUSPENSÃO DE SÓLIDOS



17

IMPELIDORES DE PROXIMIDADE (CLOSE CLEARANCE)

- **Exemplos:**

- Âncora,
- Helicoidal
- Amassadeiras (kneaders)
- Pá em Z- e impelidor sigma

19

I) **ÂNCORA:** escoamento tangencial

- Faixa de viscosidade: $\mu < 20$ Pas
- Montagens: centralizada sem chicanas
- Funções: transferência de calor por camisa
- Usual: $Re > 10^2$, $U = 1 - 5$ m/s



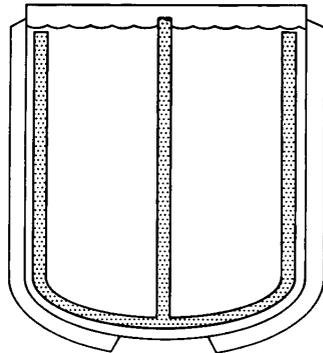


Figure 15-29 Typical "anchor" impeller.

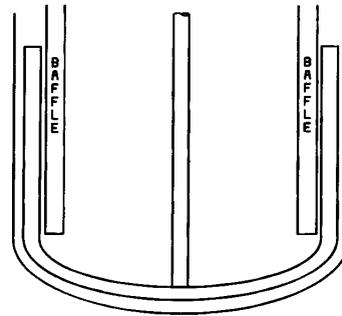


Figure 15-30 Anchor impeller with stationary baffles.

After Oldshue, 1984

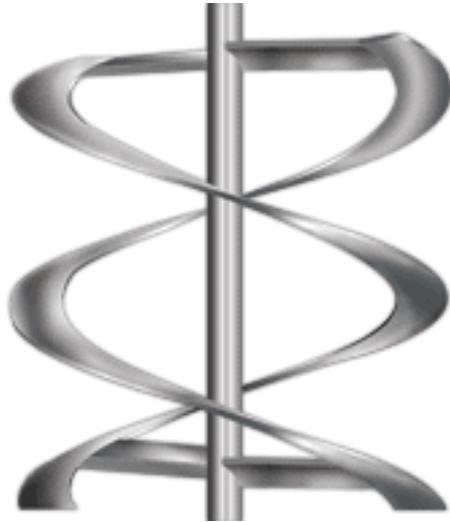
21

J) HELICOIDAL: escoamento axial

- ❑ Faixa de viscosidade: $\mu > 500 \text{ Pas}$
- ❑ Montagens: centralizada com chicanas
- ❑ Funções: homogeneização de materiais viscosos
- ❑ Usual: $Re < 20$, $U < 2 \text{ m/s}$



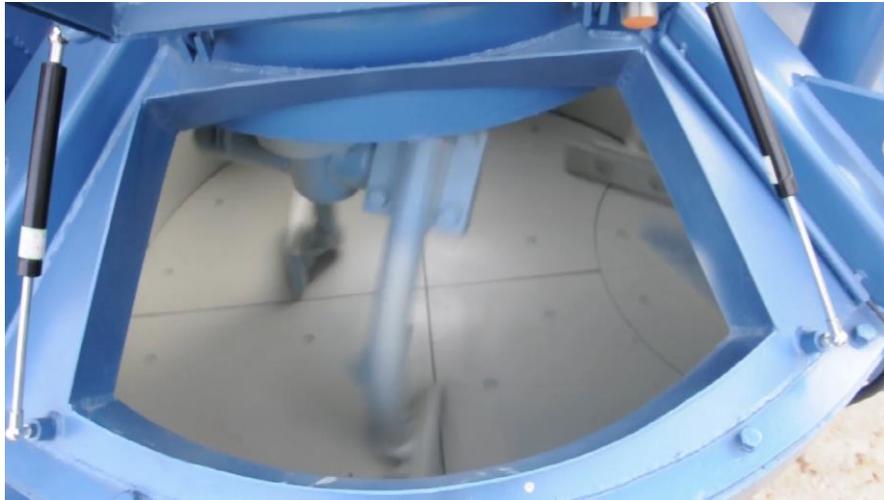
K) IMPELIDOR HELICODAL DUPLO



23

L) BATEDEIRA PLANETÁRIA

- Amplamente empregada no setor farmacêutico, ex. fabricação de cosméticos, pomadas, entre outros.





25

APLICAÇÕES DA BATEDEIRA PLANETÁRIA

- **Crems farmacêuticos, pomadas, cerâmicas, tintas e pigmentos, entre outros;**
- **Também utilizada na área de alimentos, cerâmica, cimento, etc.**
- **Em geral líquidos de elevada viscosidade e semissólidos, pastas termossensíveis e coesivas. Pode operar em condições atmosféricas ou sobre vácuo.**

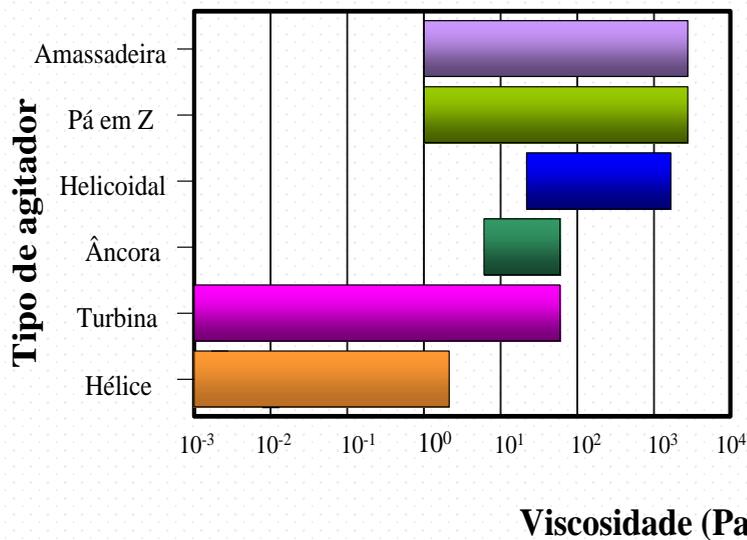
26

VANTAGENS DA BATEDEIRA PLANETÁRIA

- **Limpeza fácil**
- **Facilidade de remoção do produto.**
- **Operação semi-contínua**
- **Custo**
- **Economia de energia.**

27

SELEÇÃO DO AGITADOR



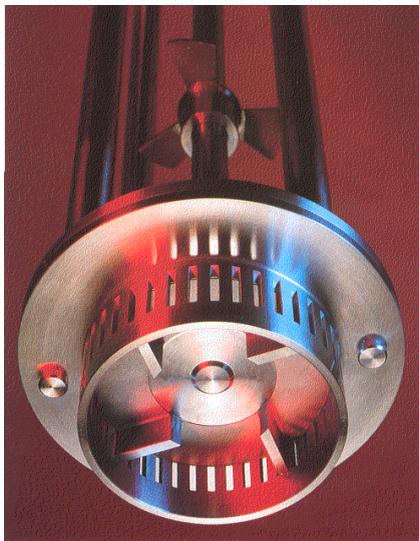
Tipo de agitador em função da viscosidade do sistema que está sendo agitado.

28

OUTROS SISTEMAS DE AGITAÇÃO

29

EQUIPAMENTOS ALTA ROTAÇÃO (ALTO CISALHAMENTO)



Silverson Machines, Inc.



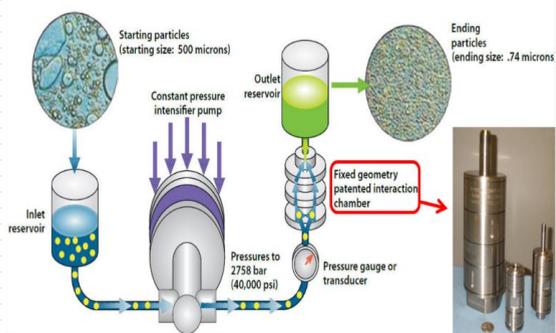
Silverson Machines, Inc.

MOINHO COLOIDAL

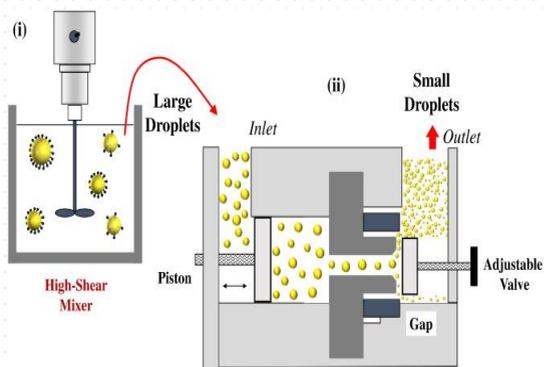


Greerco (Chemineer)

HOMOGENIZADORES E MICROFLUIDIZADORES



Microfluidizador



Homogeneizador de alta pressão

HOMOGENIZADORES E MICROFLUIDIZADORES



Five Star Technologies



GEA – NIRO SOAVI

HOMOGENEIZADORES ULTRASSÔNICOS

- Processo empregado para reduzir partículas pequenas em meio líquido, de forma que se tornem muito pequenas e com distribuição de tamanhos mais uniforme.
- Conseqüentemente há um aumento do número de partículas e da área superficial total.



35



HOMOGENEIZADORES ULTRASSÔNICOS

VANTAGENS:

- Facilidade de utilização, fácil limpeza, e controle preciso sobre os parâmetros operacionais.

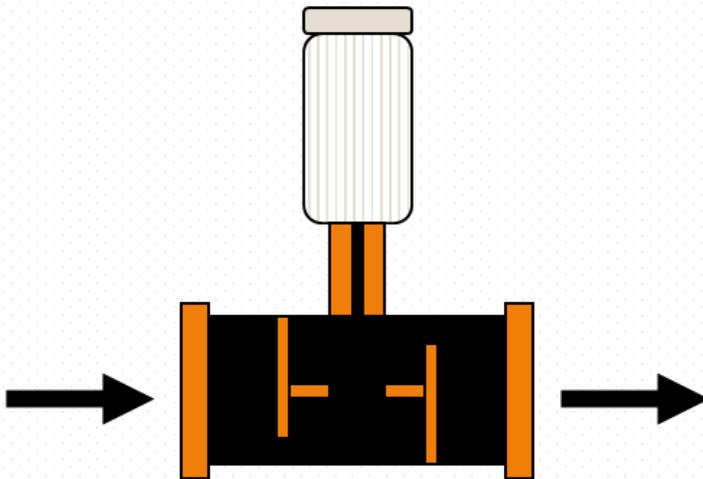
DESVANTAGENS:

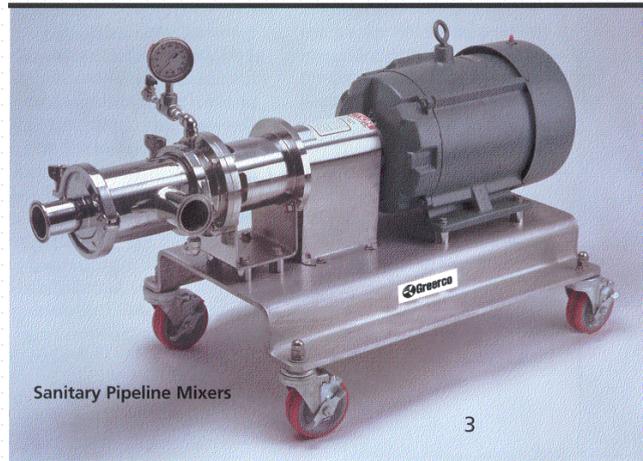
- Risco de contaminação do produto devido á resíduos causados pelo desgaste da ponta.

APLICAÇÕES:

- Produção de emulsões, soluções, suspensões, fragmentação de materiais particulados.

MISTURADORES EM LINHA

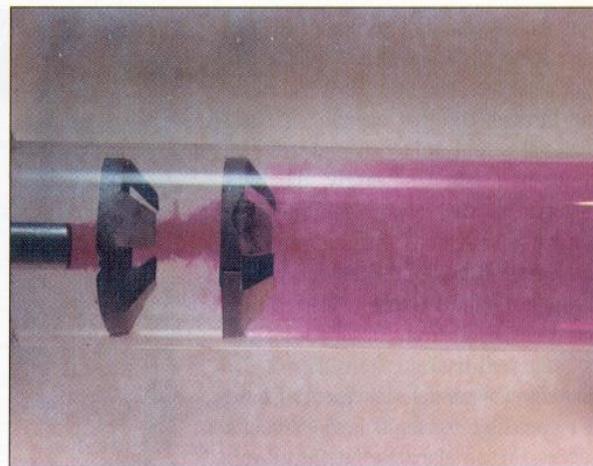




Sanitary Pipeline Mixers

Greerco (Chemineer)

MISTURADORES ESTÁTICOS



Física Industrial

DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO EM SISTEMAS DE AGITAÇÃO

41

- Após a escolha do sistema de agitação é necessário determinar o **número de rotações** do agitador, o que determinará as condições dinâmicas do sistema.
- A determinação do número de rotações ideal pode ser feita **experimentalmente** em escala de laboratório, ou podem ser usadas **correlações** da literatura para a sua estimativa.

a) Determinação experimental

Visual - concentração de sólidos suspensos

Mistura e homogeneização

- Concentração - coleta de amostras
- Leituras ópticas - fibras ópticas
- Taxas de transf. de massa entre fases
- Taxas de transformações químicas

b) Estimativa por correlações da literatura

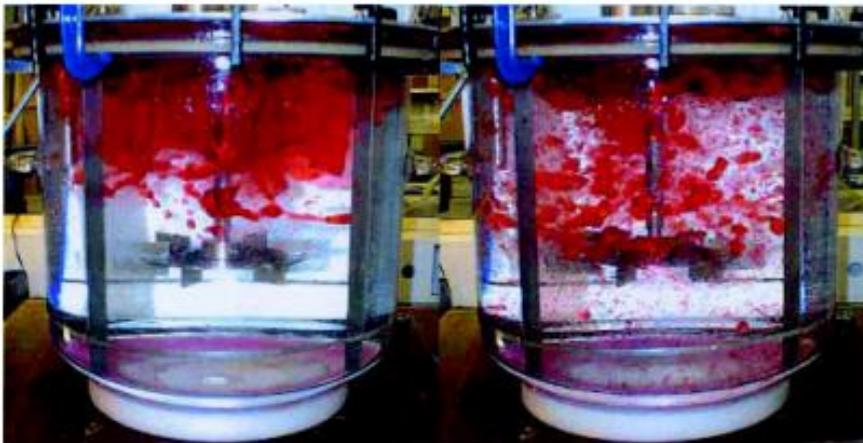


Figura : Mistura de líquidos imiscíveis à velocidade *inferior* à necessária para completa dispersão.

Determinação da potência consumida



45

NÚMERO DE POTÊNCIA, N_p :

Para cada tipo ou sistema de agitação há uma curva relacionando o **número de Reynolds** e o **número de potência, N_p**

- Número de Reynolds p/ agitação:
F. Inercia/Viscosas

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D_a^2}{\mu}$$

- Número de Froude:
F. Inercia/gravidade

$$Fr = \frac{D_a N^2}{g}$$

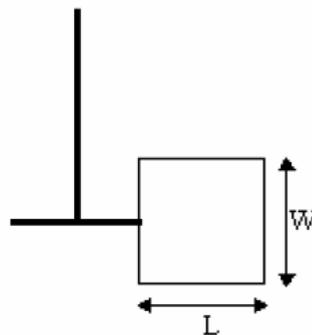
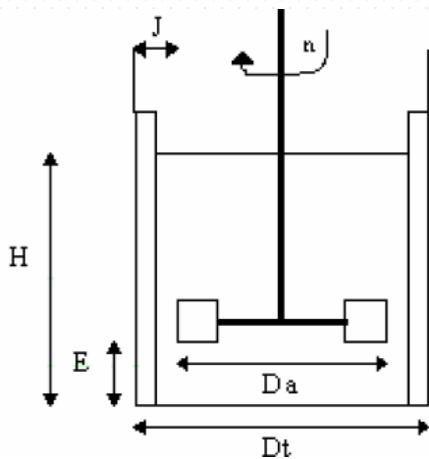
- Número de Potência:
Potência/F. Inerciais

$$N_p = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5}$$

Onde:
P = potência consumida
N = rotações (rps)
 D_a = diâmetro do agitador
g = aceleração gravidade
 ρ = densidade
 μ = viscosidade

$$N_p = f (Re, Fr, S_1, S_2, S_3, \dots, S_n)$$

PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS



$$S1 = Da/Dt$$

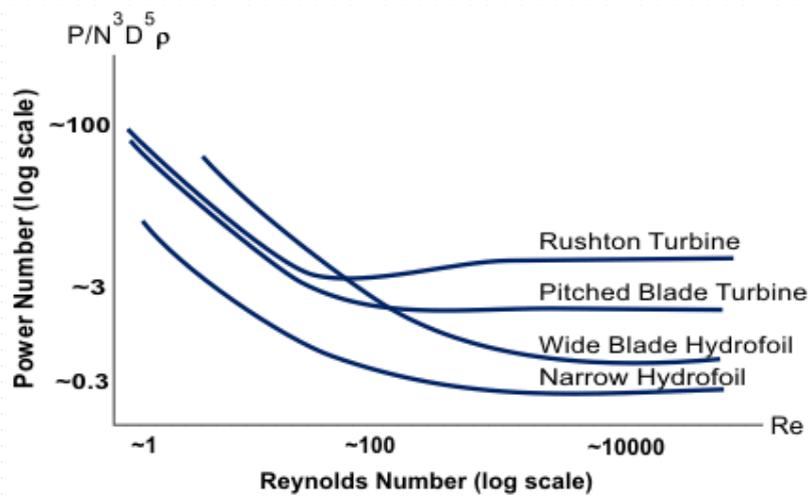
$$S2 = E/Dt$$

$$S3 = L/Da$$

$$S4 = W/Da$$

$$S5 = J/Da$$

$$S6 = H/Dt$$



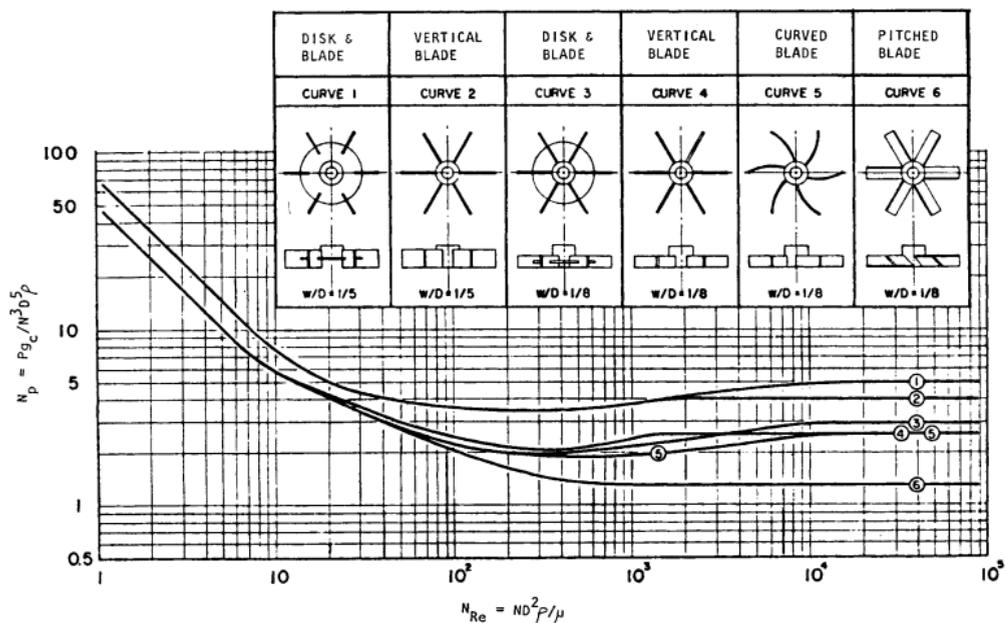
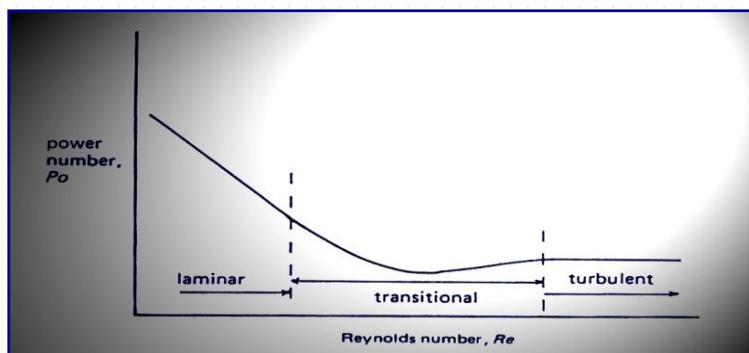


Figure 10.6. Power number against Reynolds number of some turbine impellers [Bates, Fondy, and Corpstein, Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev. 2(4) 311 (1963)].

⇒ CURVA TÍPICA DE POTÊNCIA



região laminar

($Re < 10$)

geometria

$$Po = K / Re$$

(K – constante que depende da do sistema)

região turbulenta

($Re > 10^4$)

$$Po = \text{constante}$$

FAIXA POTÊNCIA CONSUMIDA EM CERTAS APLICAÇÕES

baixa potência	suspensões de sólidos leves mistura de líquidos pouco viscosos	0,2 kW/m³
potência moderada	dispersão de gases contacto líquido/líquido suspensões de sólidos peso moderado	0,6 kW/m³
potência elevada	suspensões de sólidos pesados emulsões dispersão de gases	2 kW/m³
potência muito elevada pastas		mistura de 4 kW/m³

51

AMPLIAÇÃO DE ESCALA



52

AMPLIAÇÃO DE ESCALA

No desenvolvimento de processos, precisa-se passar da escala de laboratório para a escala de planta piloto e desta para o tamanho industrial.

a) Primeiro requisito: Similaridade geométrica

b) Segundo requisito: Similaridade dinâmica

⇔ Manter as condições de escoamento (velocidades)

Obs.: Regra prática => nunca extrapolar mais que **dez vezes** o tamanho do sistema.

VÁRIAS TÉCNICAS:

1) Potência volumétrica: manter iguais os valores numéricos da potência dividida pelo volume para ambas as escalas

$$\left| \left(\frac{P}{V} \right)_{escala1} = \left(\frac{P}{V} \right)_{escala2} \right|$$

2) Torque volumétrico: manter iguais os valores numéricos do torque dividido pelo volume para ambas as escalas

$$\text{Torque} = T = P/(2\pi.N)$$

$$\left| \left(\frac{T}{V} \right)_{escala1} = \left(\frac{T}{V} \right)_{escala2} \right|$$

3) Velocidade da ponta do agitador constante:

$$\text{Velocidade} = \pi \cdot D_a \cdot N$$

$$\left(\pi \cdot D_{a1} \cdot N_1 \right)_{escala1} = \left(\pi \cdot D_{a2} \cdot N_2 \right)_{escala2} \Rightarrow \left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{D_{a2}}{D_{a1}} \right)$$

4) REGRA GERAL: observou-se que os resultados eram melhores ora com um método ora com outro, e depois constatou-se que todos os métodos eram similares matematicamente, ou seja tinham a forma:

$$N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}} \right)^n$$

CONCLUSÕES

- **Não existe um projeto universal ótimo de agitador**
- **O processo deve ser analisado como um todo de forma a se determinar os mecanismos de controle**
- **Impelidores podem ser projetados de forma a otimizar o Processo, sendo uma importante área de investigação.**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cremaasco, M.L., 2014. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**, *Cap. 5, Agitação e Mistura*, p. 97-125, Ed. Blucher.

Couper, J.R., Penney, W.R., Fair, J.R., Walas, S.M. 2005. **Chemical Process Equipment**, 2nd Ed., *Chapter 10, Mixing and Agitation*, p. 277-328, Elsevier.

Paul, E.L., Atiemo-Obeng, V.A., Kresta, S.M., 2004. **Handbook of industrial mixing : science and practice**, John Wiley & Sons, 1377 p.

Armenante, Piero M. **Liquid Mixing Fundamentals**, *Special Topics on Pharmaceutical Engineering*, Pharmaceutical Engineering Program at the New Jersey Institute of Technology (NJIT). Notas de Aula.