



EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Colégio Técnico de Lorena

Operações Unitárias

Misturadores e Agitadores

Prof. Lucrécio Fábio

Dep. de Engenharia Química

Atenção: Estas notas destinam-se exclusivamente a servir como roteiro de estudo. Figuras e tabelas de outras fontes foram reproduzidas estritamente com fins didáticos.



EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Misturadores e Agitadores

A operação de agitação refere-se à **movimentação de líquidos e de pastas em tanques** por meio de dispositivos, cujo objetivo reside, entre outros, no incremento das **taxas de transferência de calor e de massa**, bem como na **facilitação da realização de reações químicas**.



Misturação e agitação

Agitação => Refere-se ao movimento induzido de um material em forma determinada, geralmente circulatória, dentro de um recipiente. Pode-se agitar uma só substância homogênea.

Mistura => Movimento aleatório de duas ou mais fases inicialmente separadas. Operação unitária empregada na indústria química, bioquímica, farmacêutica, petroquímica e alimentícia.

Misturação

Finalidade: Preparar uma combinação uniforme de dois ou mais materiais

Combinações:

- ✓ Dois ou mais sólidos;
- ✓ Dois ou mais líquidos;
- ✓ Um líquido e um gás e;
- ✓ Um líquido e um sólido.

Exemplos:

- Mistura de líquidos miscíveis;
- Dispersão de líquidos imiscíveis;
- Mistura de dois ou mais sólidos (pós secos);
- Mistura de líquidos e sólidos (pastas e suspensões);
- Dispersão de gases em líquidos (aeração);
- Auxiliar na transferência de calor (convecção);
- Auxiliar na transferência de massa (convecção);
- Reduzir aglomerados de partículas;
- Acelerar reações químicas;
- Obter materiais com propriedades diferentes da matéria-prima original.

FINALIDADES DA MISTURA E AGITAÇÃO

- **Promover o contato íntimo entre as substâncias**
 - ✓ melhor controle de reações químicas,
 - ✓ transferência de massa mais eficiente nos processos de extração destilação, cristalização, secagem, etc.
- **Preparar materiais com propriedades não necessariamente presentes nos reagentes: emulsões**
- **Mistura de dois líquidos miscíveis:** preparo de soluções
- **Dissolução de sólidos em líquidos:** preparo de soluções
- **Dispersar um gás em um líquido** como finas bolhas, como oxigênio do ar em uma suspensão de microrganismos para fermentação ou para o processo de lodo ativado no tratamento de efluentes.
- **Suspensão de finas partículas sólidas em um líquido:** preparo de suspensões.
- **Agitação do fluido:** para aumentar a transferência de calor entre o fluido e uma superfície, permitir a transferência de massa.

Misturação

Uma mistura consiste de duas ou mais fases:

Exceto para misturas de sólidos, uma mistura consiste de um líquido que **envolve partículas de sólidos**.

As partículas envolvidas podem ser de dimensões coloidais, ou podem ser relativamente grossas.

O líquido que envolve a mistura é chamado de **fase contínua** e as partículas envolvidas são chamadas de **fase dispersa**.

Misturação

No processo de misturação, a fase do produto é definida como:

PRODUTO:

HOMOGÊNEO — Desligado o misturador, a mistura permanece homogênea.

Exemplos: mistura de líquidos miscíveis, dissolução de sólidos, absorção de gases em líquidos.

HETEROGÊNEO — Desligado o misturador, as substâncias se separam.

Exemplos: suspensão de sólidos, mistura de líquidos imiscíveis.

MISTURA DE LÍQUIDOS

A seleção do tipo de equipamento é determinada pelos fatores:

- **Viscosidade:** medida da resistência ao escoamento
- **Miscibilidade:** mistura de líquidos miscíveis e mistura de líquidos imiscíveis (emulsificação)
- **Densidade:** relação entre as densidades dos líquidos

EQUIPAMENTOS PARA MISTURA DE LÍQUIDOS

O equipamento é selecionado considerando a viscosidade dos produtos

que serão misturados

A energia para a propulsão necessária para o processo é obtida basicamente através dos seguintes dispositivos:

- **Impulsores (agitadores) ;**
- Correntes de ar;
- Jatos de líquidos.

Misturação

Tipos básicos de misturadores:

Equipamentos de mistura podem ser agrupados em três amplas classes:

- ✓ Misturados impulsores para líquidos;
- ✓ Misturadores para pastas e sólidos plásticos;
- ✓ Misturadores para pós secos.

Misturadores Impulsores

Nestes equipamentos a mistura é feita por um impulsor acionado mecanicamente, que cria um fluxo padrão no líquido.

Fatores importantes em uma mistura:

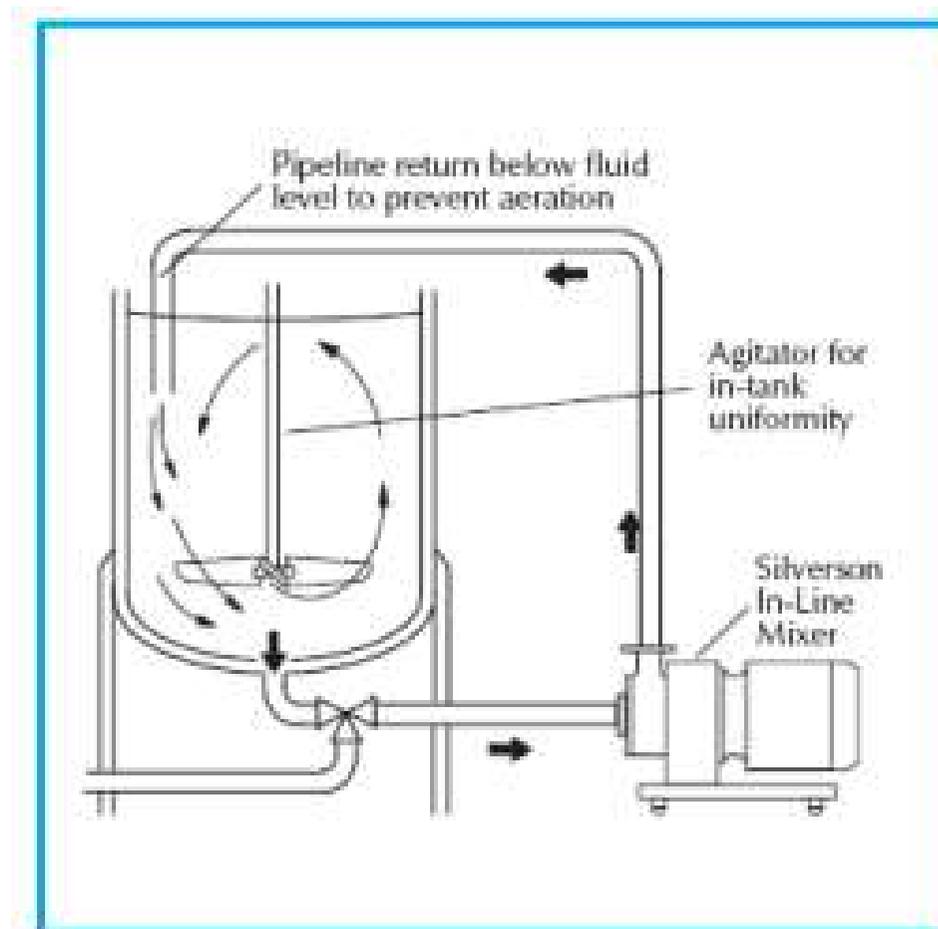
Circulação do líquido: O líquido circula através do recipiente retornando ao impulsor, ocorre criação de fluxos em que o líquido se movimenta de um lado para o outro;

Turbulência: as partículas se misturam de forma não linear, isto é, de forma caótica, com turbulência e redemoinhos ocorre no fluxo em movimento, fornece os meios para movimentar o conteúdo do tanque e incorporá-lo no fluxo.



Tipos de Misturadores Impulsores

1) Tipo pá:



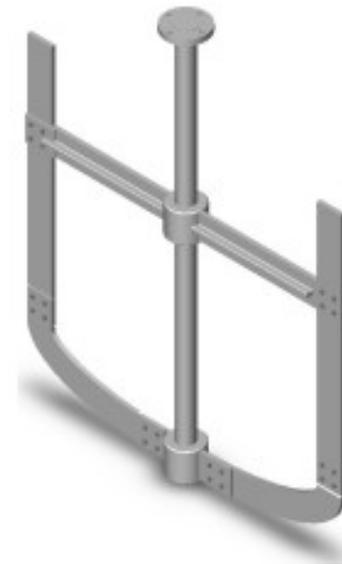
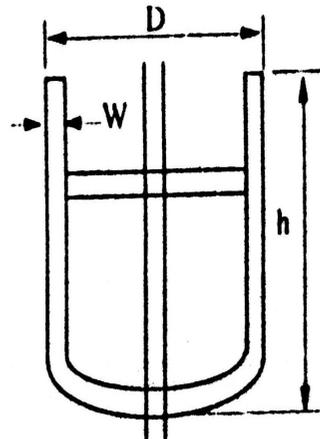


1) Misturador tipo pá = âncora

Consiste de uma pá chata girando num eixo vertical.

Ex.: conjunto de lâminas duplas e quádruplas são comuns.

- ✓ As pás giram com baixas a moderadas velocidades no centro de um recipiente
- ✓ Impelem o líquido tangencialmente e radialmente com quase ou nenhum movimento vertical no impulsor, a menos que as lâminas estejam em ângulo.
- ✓ Agitadores industriais tipo pá giram a uma velocidade entre 20 e 150 rpm.
- ✓ O comprimento total de um impulsor tipo pá é tipicamente 50 a 80% do diâmetro interno do recipiente.
- ✓ Normalmente há formação de vórtice ao redor do eixo.



Âncora



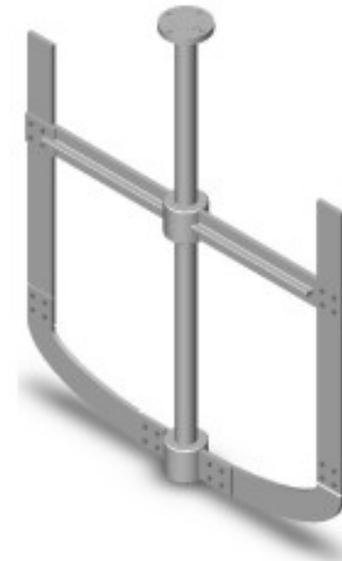
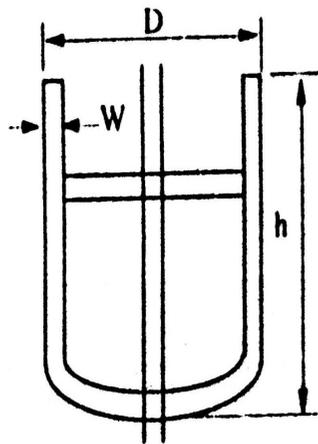
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



1) Misturador tipo pá – âncora

✓ Vantagens: é relativamente brando em sua ação de mistura. Não quebra cristais frágeis ou não dá as correntes violentas no líquido que ocorrem próximo das turbinas.

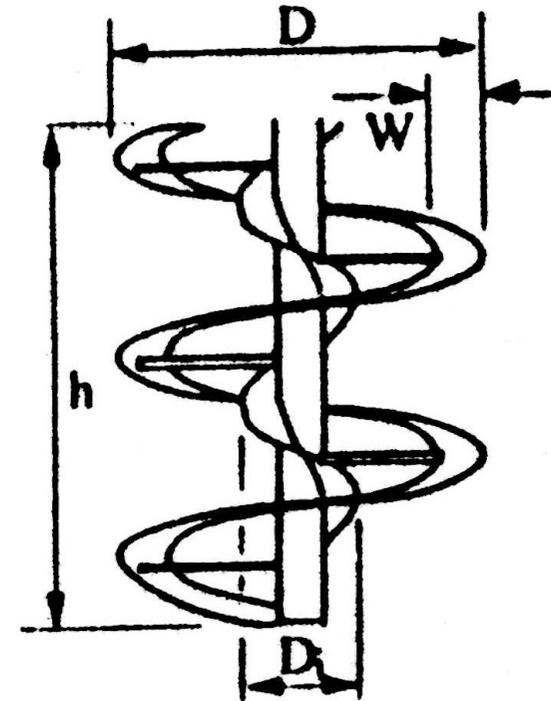


Âncora



1) Misturador tipo pá – espiral ou helicoidal

✓ Vantagens: é relativamente brando em sua ação de mistura. Não quebra cristais frágeis ou não dá as correntes violentas no líquido que ocorrem próximo das turbinas.



Espiral dupla



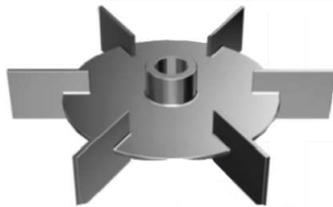
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



2) Misturadores tipo turbina

a) Pás retas



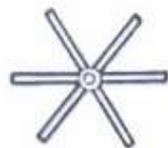
b) Pás inclinadas



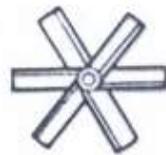
c) Hélice



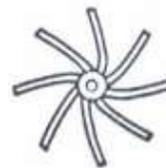
Alguns agitadores de turbina típicos



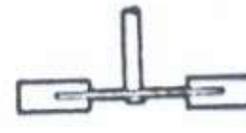
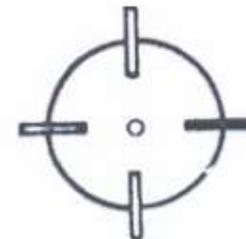
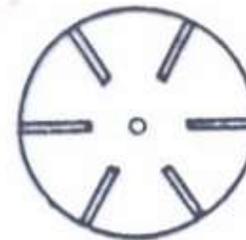
FOLHA SIMPLES



FOLHA COM
RESSALTE



FOLHA CURVA



DISCOS COM PÁS



EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



2) Misturador tipo Turbina

Impulsor com mais de quatro folhas montadas sobre o mesmo elemento e fixas a um eixo rotatório

Uma turbina impulsora submersa num líquido opera como uma bomba centrífuga sem uma armação

Menores que as pás tipo âncora

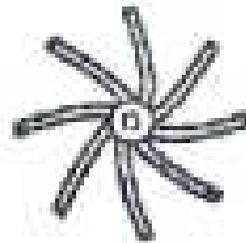
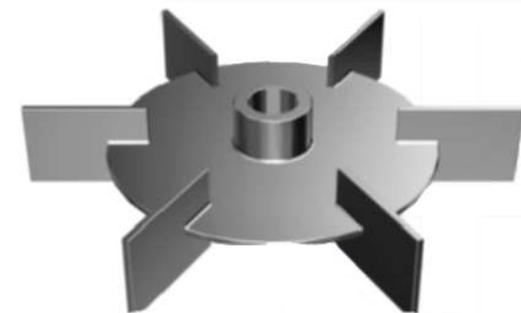
30 a 50% do diâmetro do tanque

Velocidades: 30 – 500rpm

As lâminas podem ser retas ou curvadas, em ângulos ou verticais.

O impulsor pode ser aberto, semi-fechado ou coberto

Turbinas são os mais versáteis misturadores para líquidos.





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



2) Misturadores tipo turbina



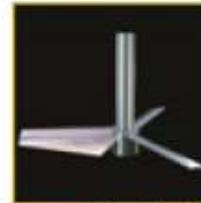
Straight Blade
Turbine



Narrow Blade
Turbine



Pitch Blade
Turbine



Narrow Blade High
Efficiency Impeller



Concave Blade Disc
Turbine Mixer



Flat Blade Disc
Turbine Mixer



Wide Blade High
Efficiency Impeller

Tipos de fluxos

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



EEL-USP

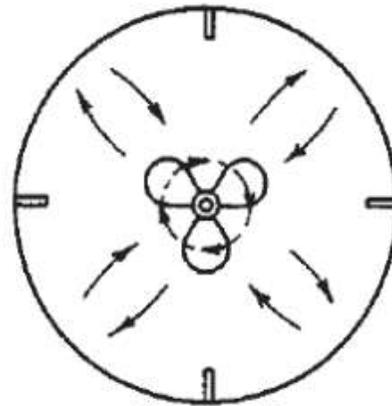
Escola de Engenharia de Lorena - USP



Misturadores tipo turbina

Alguns agitadores de turbina típicos

- **RADIAL: perpendicular ao eixo do impulsor**

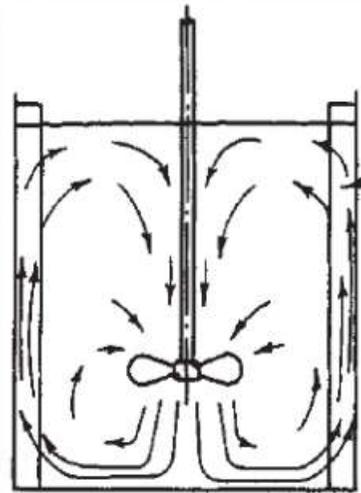




Misturadores tipo turbina

Impulsores de turbina dirigem o líquido direto para o fundo do tanque, onde a corrente se expande radialmente em todas as direções ao longo da parede onde o fluxo se divide, uma parte fluindo para baixo, para o fundo e de volta para o centro do impulsor e outro fluindo para cima, na direção da superfície e de volta para o impulsor. Ou seja, duas correntes de circulação separadas são geradas.

- **LONGITUDINAL: paralela ao eixo do impulsor**

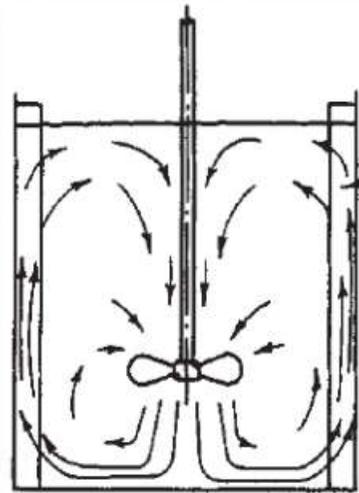




Misturadores tipo turbina

Estes dispositivos podem ser úteis quando se deseja um alto cisalhamento no próprio impulsor é desejado, como na manufatura de certas emulsões, ou onde partículas de sólidos que tendem a flutuar na superfície do líquido no tanque

- **LONGITUDINAL: paralela ao eixo do impulsor**





EEL-USP

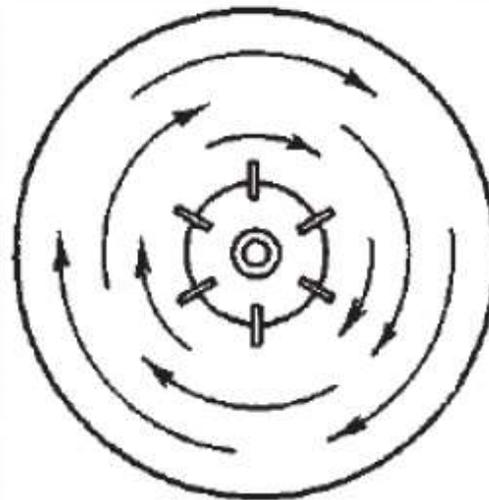
Escola de Engenharia de Lorena - USP



Misturadores tipo turbina

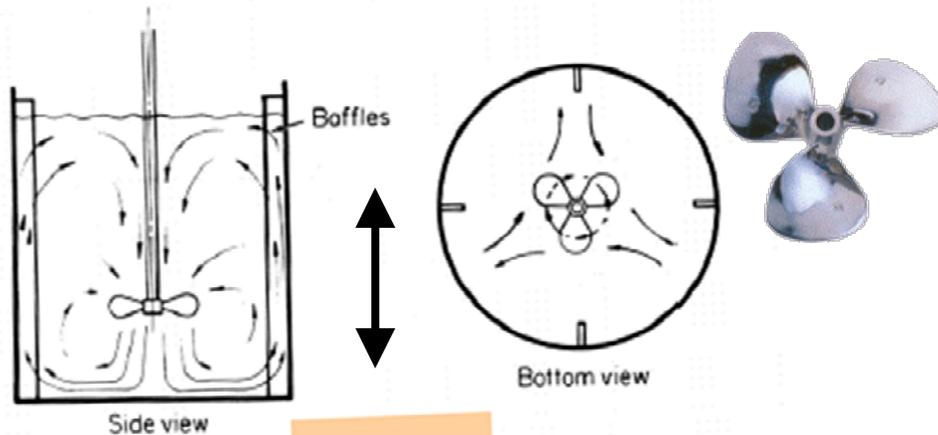
Alguns agitadores de turbina típicos (pá plana ou reta)

- **TANGENCIAL ou ROTACIONAL: tangencial ao caminho circular, ao redor do eixo**





PADRÕES DE ESCOAMENTO

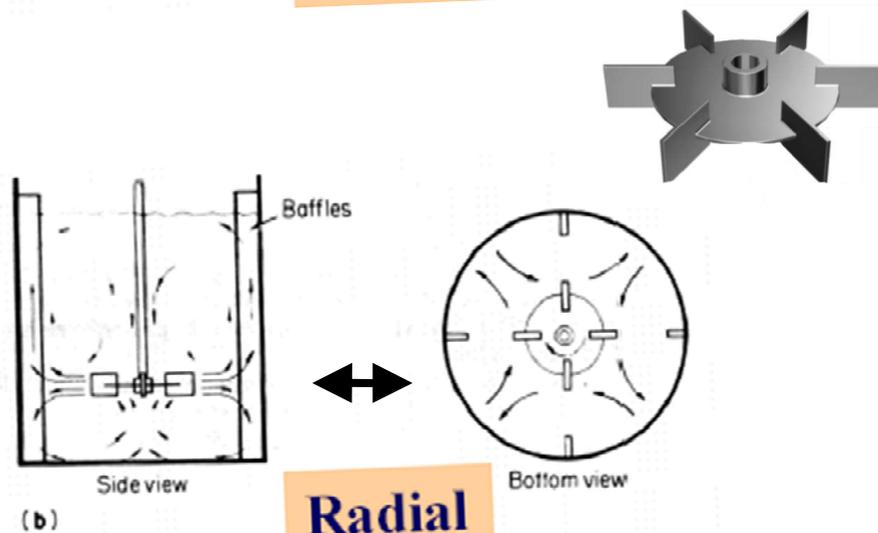


Hélice

Turbina de pás retas inclinadas

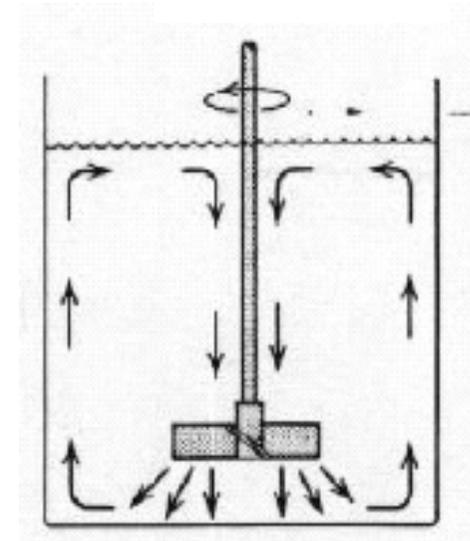


Axial



Turbina de pás retas verticais

Radial



Axial

Misturadores tipo turbina

Alguns agitadores de turbina típicos

- ✓ 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 contribui pouco para a mistura
- ✓ O fluxo tangencial provoca a formação de vórtices ou redemoinhos.

O problema de formação de vórtice

Vórtice:

- Produzido pela ação da força centrífuga que age no líquido em rotação, devido à componente tangencial da velocidade do fluido.
- Geralmente ocorre para líquidos de baixa viscosidade (com agitação central).

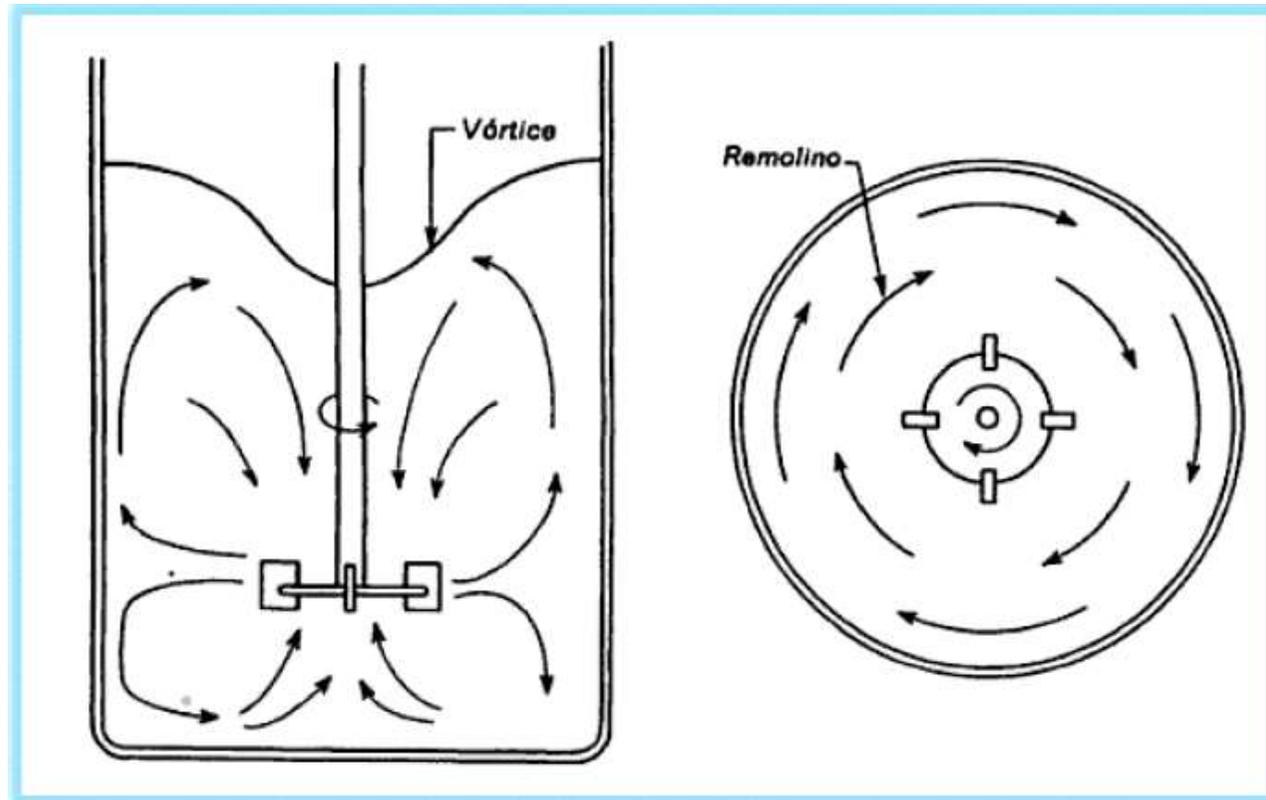


EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



O problema de formação de vórtice





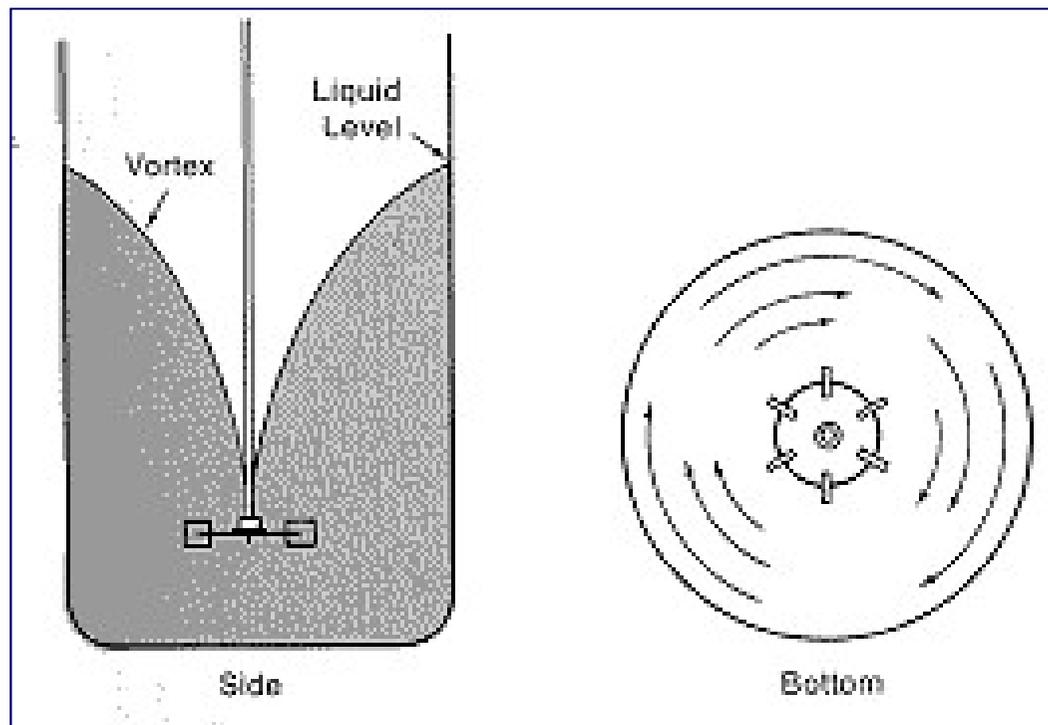
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



O problema de formação de vórtice

Problemas de Vórtice: mistura ruim, formação camadas, solubilização de gases, formação de bolhas, alteração da densidade do líquido que interfere na agitação.

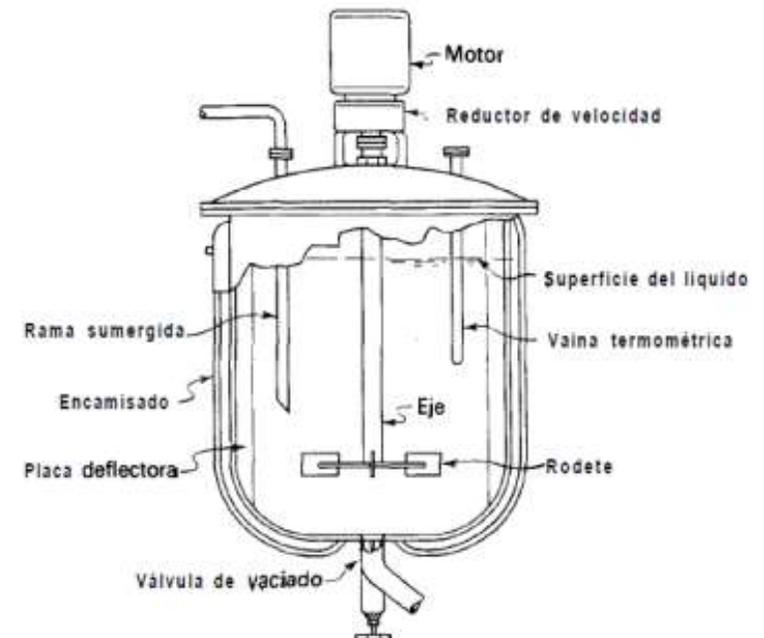
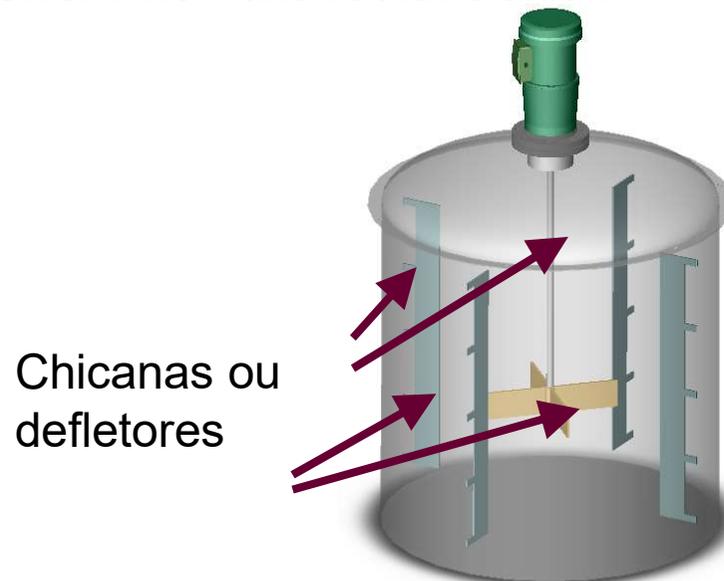


Maneiras de evitar o vórtice:

- descentralizar o agitador;
- inclinar o agitador de 15° em relação ao centro do tanque;
- colocar o agitador na horizontal;
- usar defletores (chicanas).

Chicanas ou defletores (inibidores de vórtice):

São tiras perpendiculares à parede do tanque, geralmente quatro tiras são suficientes, que interferem no fluxo rotacional sem interferir no fluxo radial e axial.





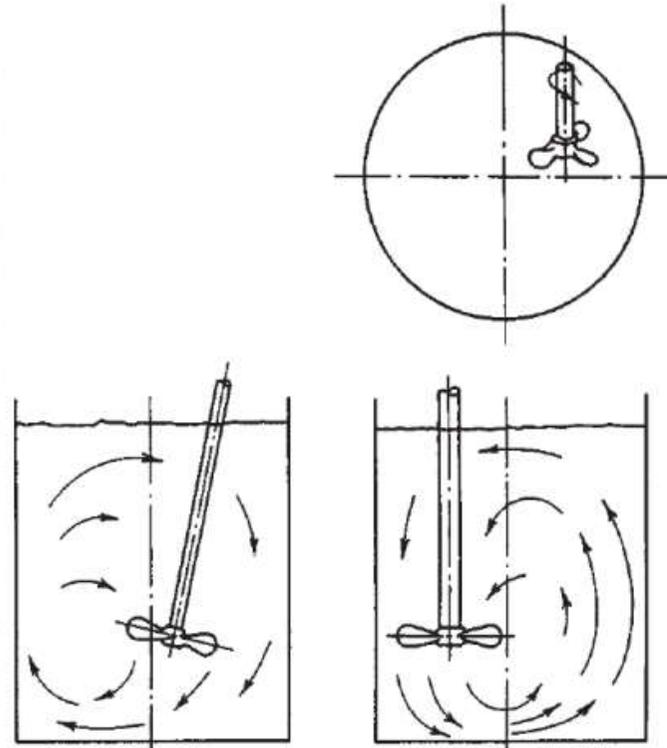
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Métodos para evitar vórtices

Em tanques pequenos:
Eixo fora do centro





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Métodos para evitar vórtices

Em tanques pequenos:
Eixo fora do centro





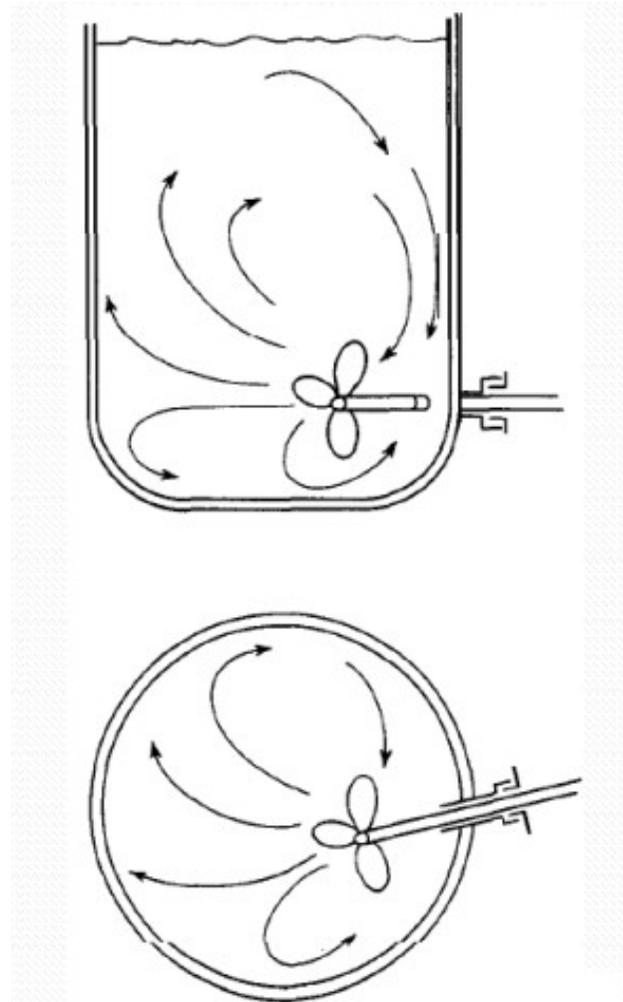
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Métodos para evitar vórtices

**Em tanques grandes:
Entrada lateral do agitador**





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Métodos para evitar vórtices

**Em tanques grandes:
Entrada lateral do
agitador**





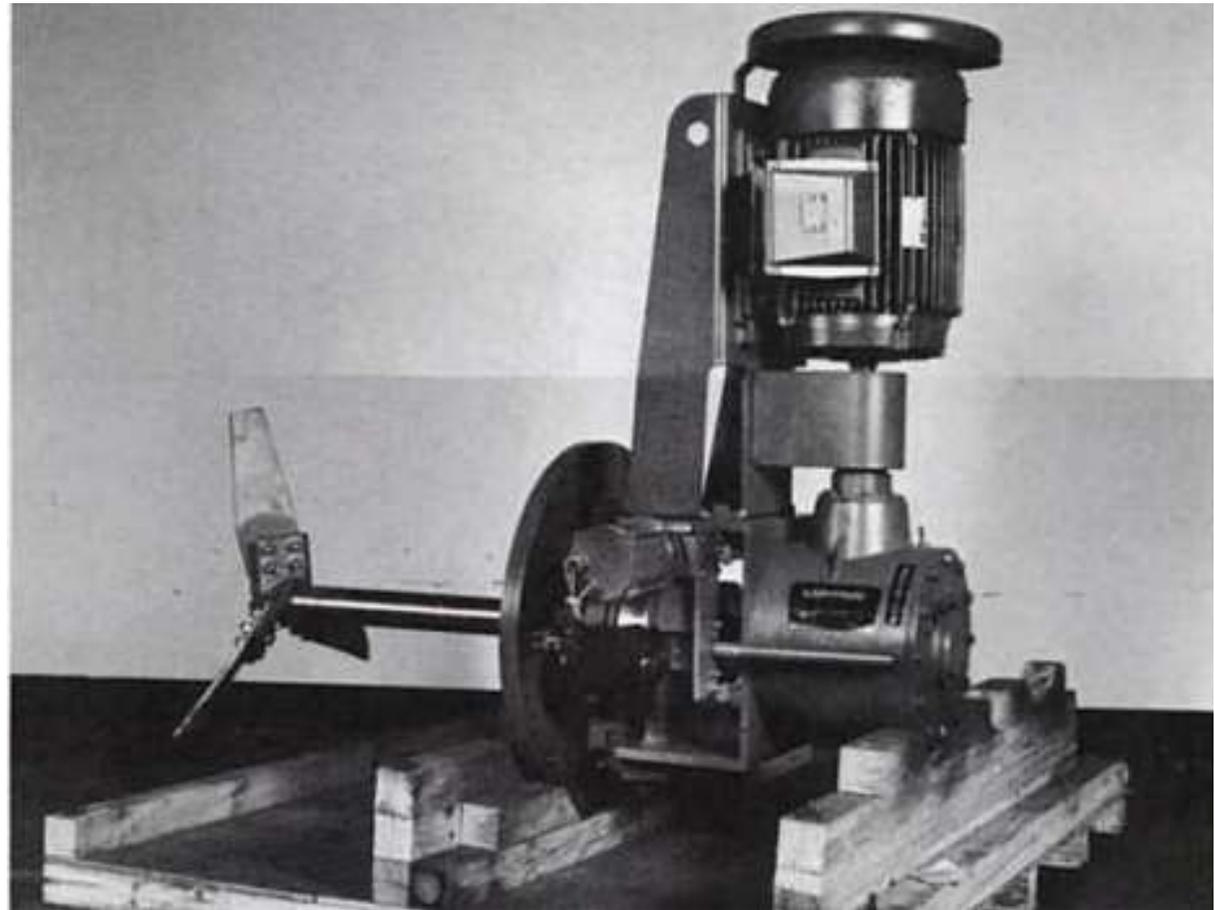
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Métodos para evitar vórtices

**Em tanques grandes:
Entrada lateral do
agitador**



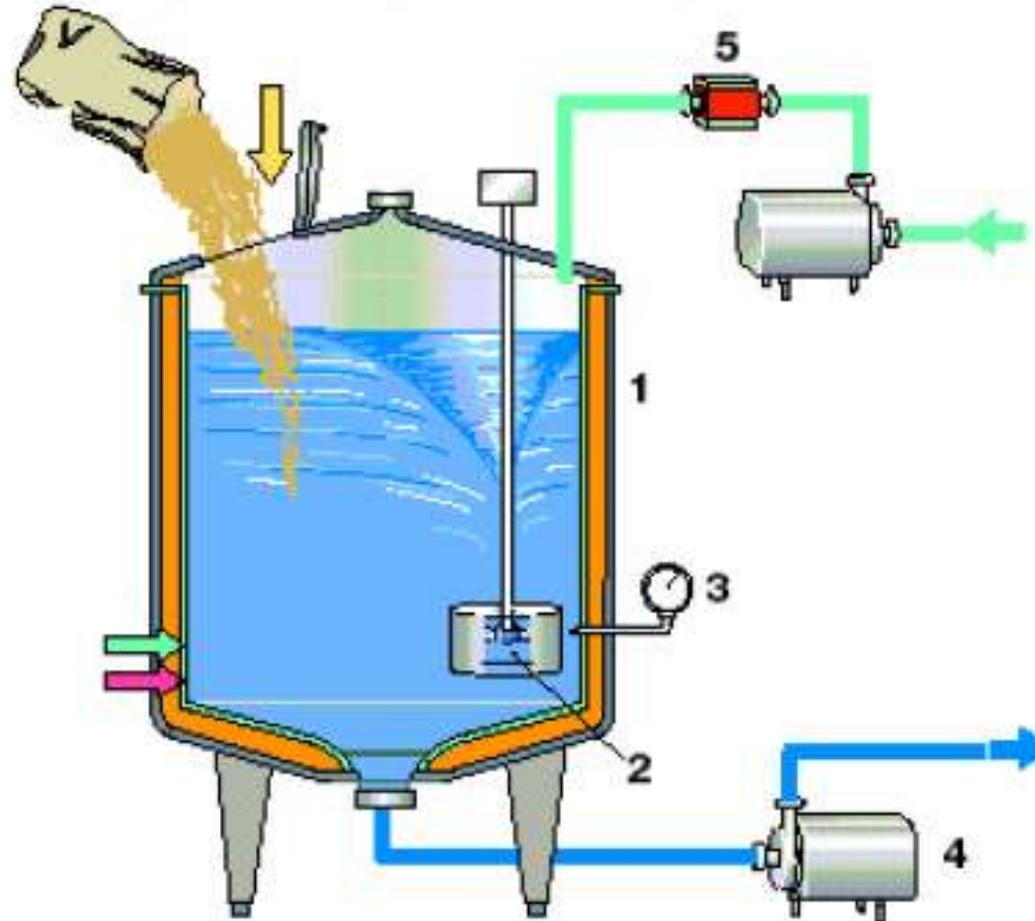


EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP

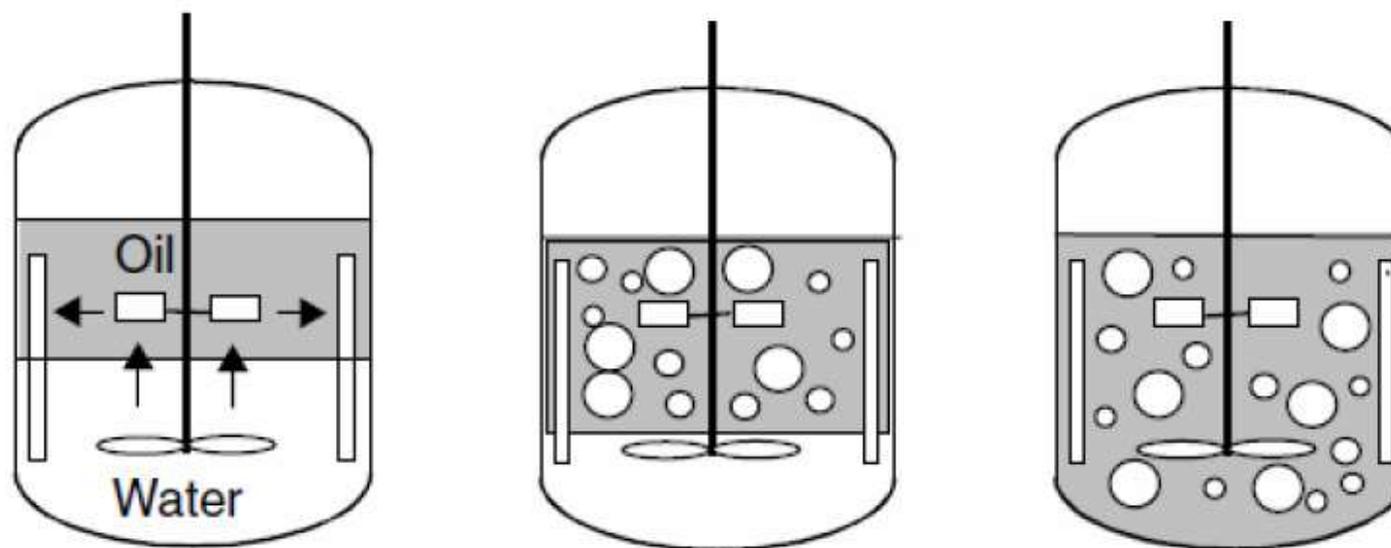


Tanque agitado por turbina



Utilização de dois dispersores

Óleo e água:



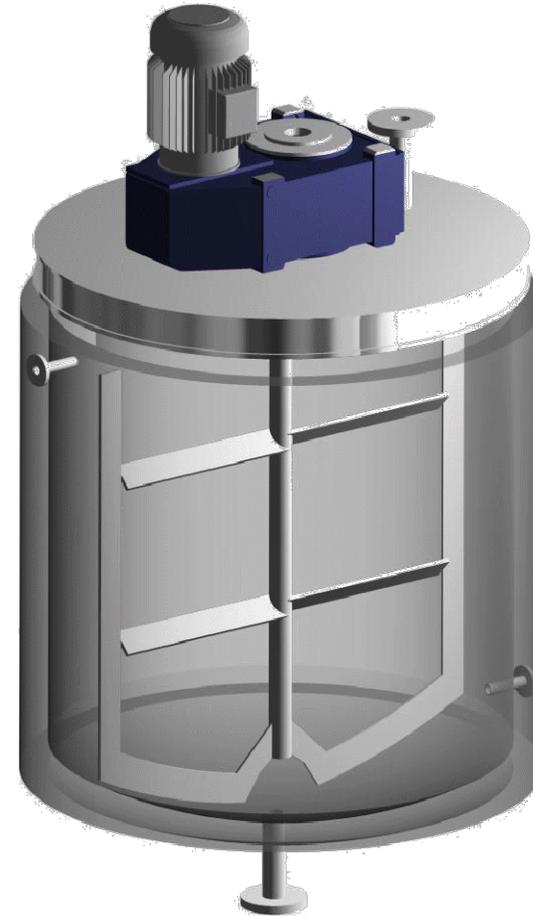


EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Utilização de dois dispersores



MISTURADORES PARA PÓS SECOS

- Empregam o princípio da elevação e queda das partículas, que caem distribuindo-se aleatoriamente.
- Utilizam eixos helicoidais ou simplesmente rotação de vasilhas.



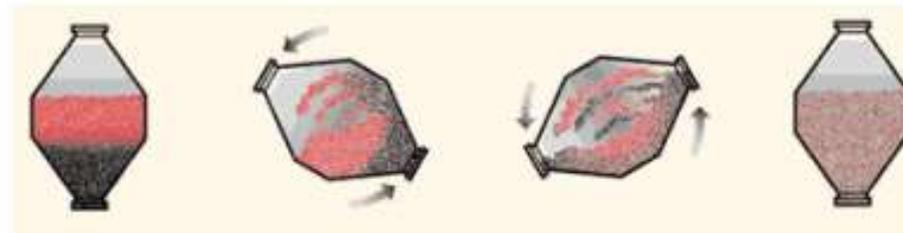
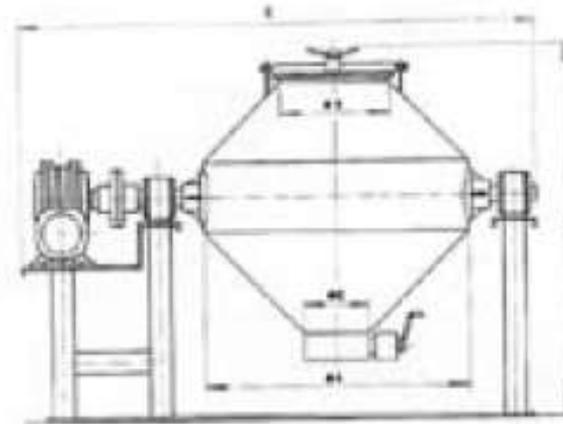
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



MISTURADORES PARA PÓS SECOS

MISTURADORES DUPLO CONE





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



MISTURADORES PARA PÓS SECOS

MISTURADORES MUDANÇA DE VASILHA





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



MISTURADORES PARA PÓS SECOS

MISTURADORES ROTATIVOS



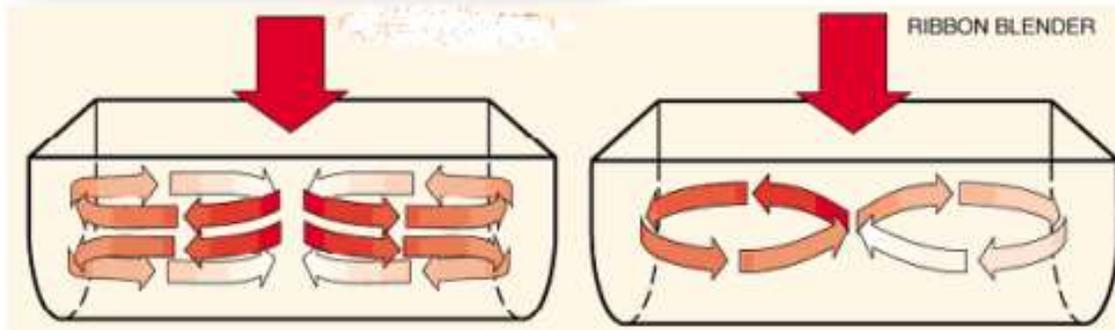
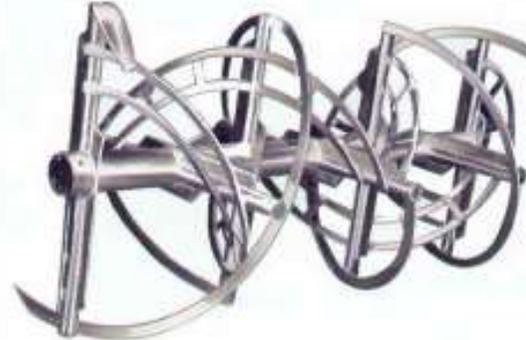
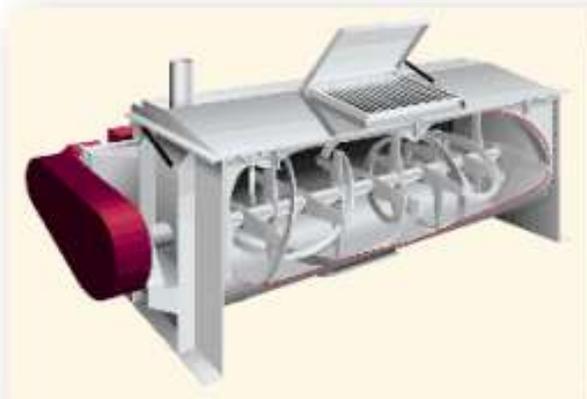


EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



MISTURADORES PARA PÓS SECOS MISTURADORES DE CINTAS (RIBBON BLENDER)



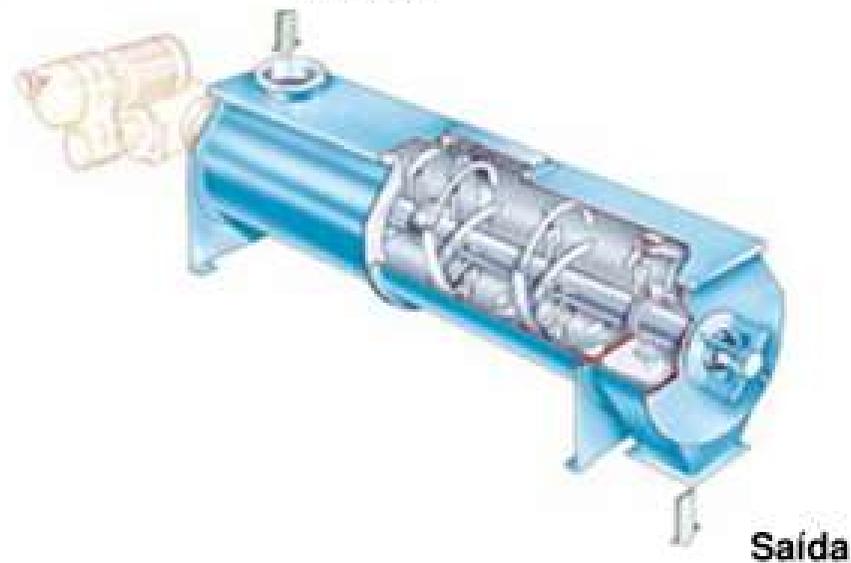
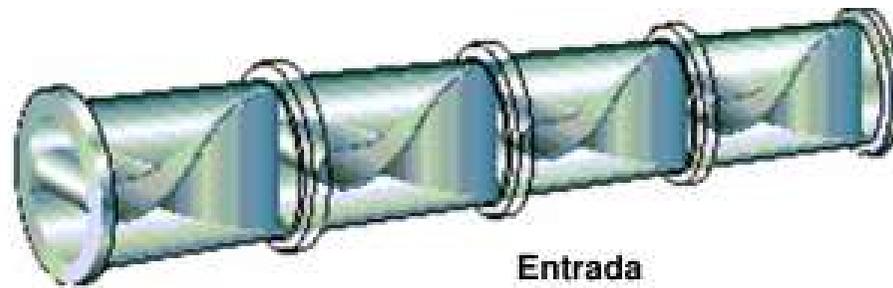


EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Agitador para produtos viscosos





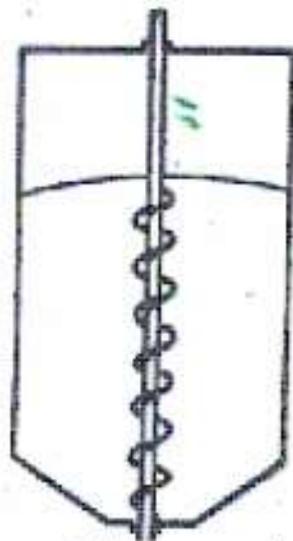
Misturadores para pós secos ou pastas de grande viscosidade

Os misturadores operam por ação direta no material.

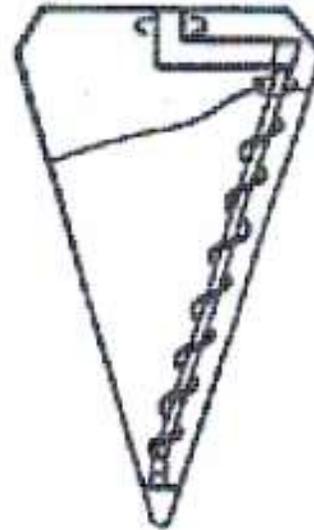
Eles não criam corrente de fluxo ou misturam à distância como fazem os impulsores.

O agitador movimenta-se através da massa de material, ou o material é trazido ao agitador.

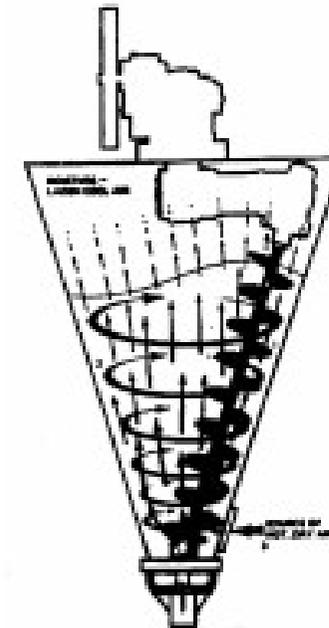
MISTURADORES DE EIXO VERTICAL



(a) Eixo central



Eixo orbital



em misturador em espiral (Neotomic)
em, 1986



EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



MISTURADORES PARA PÓS SECOS MISTURADORES CÔNICOS DE PARAFUSO OU FITA





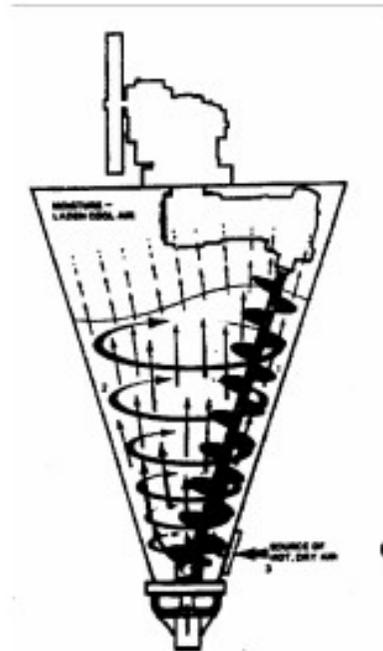
EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Misturadores para pastas de grande viscosidade

Misturador em Espiral



m misturador em espiral (Nautamix)
in, 1986



EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



MISTURADORES PARA PASTAS



MISTURADORES PLANETÁRIOS



EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Misturador industrial





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Detalhe de misturador industrial

