



Universidade Estadual de São Paulo
Escola de Engenharia de Lorena

Transferência de potência e de oxigênio em sistemas agitados e aerados

Serão estudadas 4 situações envolvendo a transferência de potência:

- Agitação de líquidos Newtonianos
 - Agitação de líquidos Newtonianos submetidos a aeração
 - Agitação de líquidos não-Newtonianos
 - Agitação de líquidos não-Newtonianos aerados
-
- Por fim, será abordada a **Transferência de oxigênio**

AGITAÇÃO E MISTURA

A agitação refere-se ao movimento induzido em um fluido por meios mecânicos em um recipiente. O fluido pode circular no recipiente ou apresentar outro padrão de fluxo.

A mistura está normalmente relacionada a duas ou mais fases inicialmente separadas que são aleatoriamente distribuídas dentro ou através uma da outra.

AGITAÇÃO E MISTURA

“... ao tratarmos de **agitação** iremos considerar **uma única fase** e nos processos de **mistura** consideraremos que os componentes se apresentam em **duas ou mais fases...**”

Nestes processos a mistura resultante podem ainda ser classificada como:

Homogênea: gás-gás, líquido-líquido (miscível);

Heterogênea: sólido-líquido

AGITAÇÃO E MISTURA

Propriedades mais importantes dos materiais, que podem influenciar a facilidade da mistura para fluidos e sólidos...

.

Fluidos: viscosidade, massa específica, relação entre as massas específicas e miscibilidade.

Sólidos: finura, massa específica, relação entre as massas específicas, forma, aderência e molhabilidade.

1. Agitação de líquidos Newtonianos

A capacidade de uma turbina de transferir potência para um meio depende de vários fatores, como, por exemplo:

- Tipo de impelidor
- Diâmetro do impelidor
- Frequência do agitador
- Diâmetro do tanque
- Altura da coluna líquida
- Existência ou não de chicanas e sua largura
- Características do líquido (densidade e viscosidade).

AGITAÇÃO E MISTURA

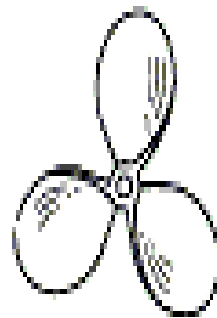
Tipos: propulsores, pás e turbinas...

(a) Propulsor marinho de três pás

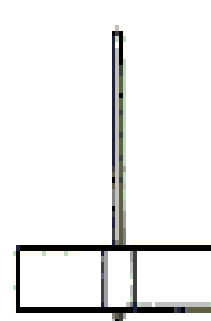
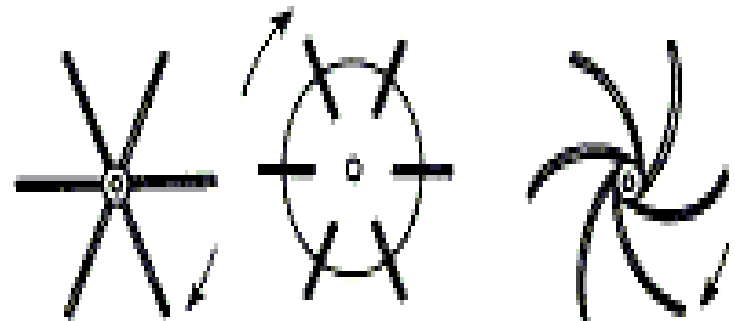
(b) turbina de pá fina aberta

(c) turbina de disco

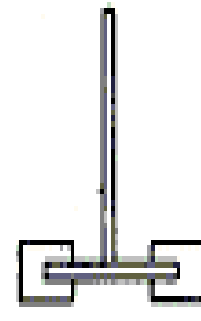
(d) turbina vertical de pás curvas



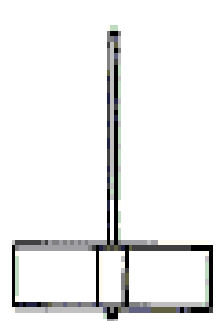
(a)



(b)



(c)

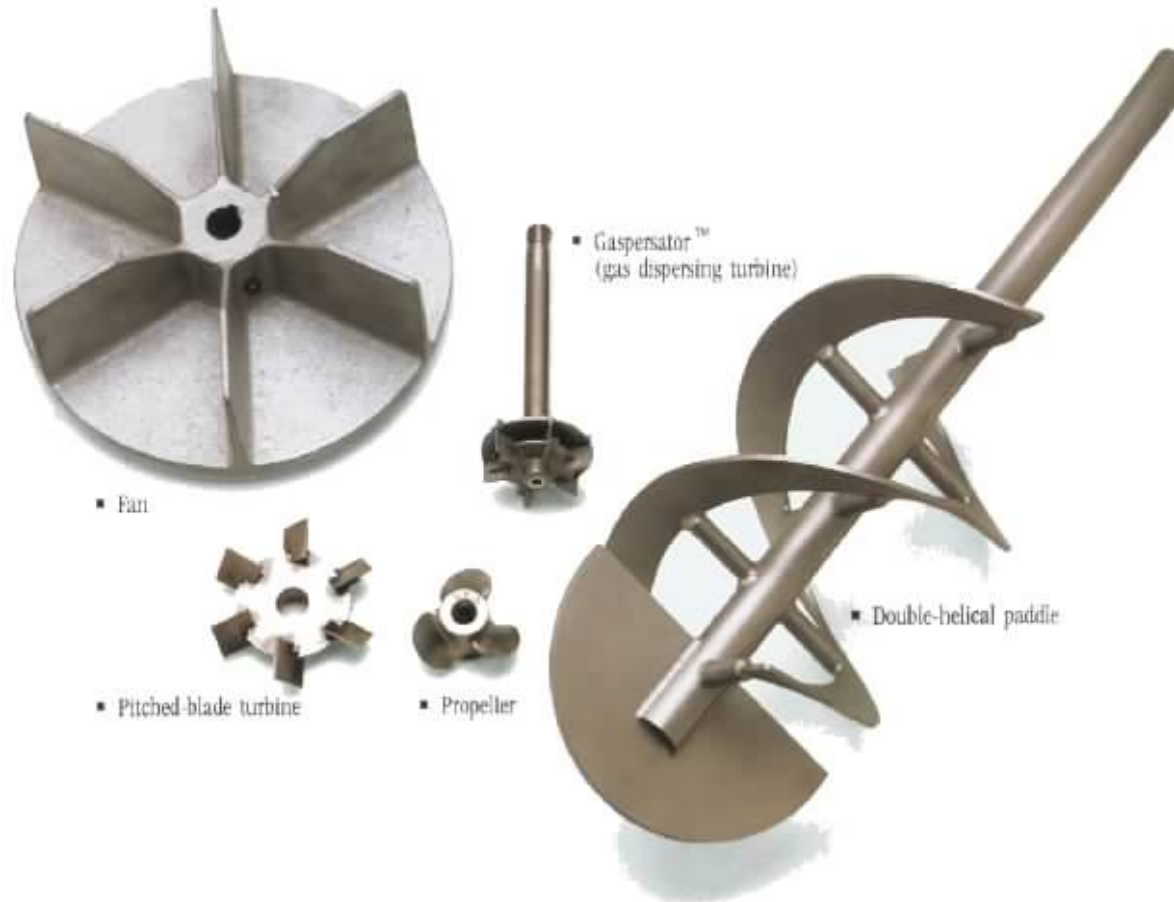


(d)

AGITAÇÃO E MISTURA

Propulsores

Para líquidos muito viscosos, os mais usados são os propulsores tipo hélice e os agitadores âncora



AGITAÇÃO E MISTURA

Propulsores (Propulsor marinho)

Empregado quando se deseja correntes verticais intensas. Ex: manter sólidos em suspensão.

Fluxo axial;

Agitadores de alta velocidade para líquidos de baixa viscosidade;

Pequenos: 1150 ou 1750 rpm;

Grandes: 400 a 800 rpm.

Este tipo de agitador cisalha o líquido vigorosamente

AGITAÇÃO E MISTURA

Agitadores tipo Turbinas

Parecem algumas vezes agitadores de pás com lâminas curtas;

As lâminas podem ser: retas, curvadas, inclinadas ou verticais;

São eficazes para amplo intervalo de viscosidade;

Velocidades elevadas;

Produzem fluxos radiais e verticais;

Bons para mistura de líquidos com aproximadamente a mesma densidade relativa.

Impulsionam o fluido radialmente contra as paredes e ali a corrente se divide em duas, uma para baixo e outra para cima, e ambas retornam para o centro

AGITAÇÃO E MISTURA

Agitadores tipo Turbinas

São eficazes para amplo intervalo de viscosidade;

Velocidades elevadas;

Produzem fluxos radiais e verticais



Fluxo e velocidade em tanques agitados

O **fluxo** depende de fatores como:

Tipo de lâmina, agitador

Características do fluido

Tamanho e proporções do tanque

Existência de placas defletoras (chicanas) e agitadores.

A **velocidade** do fluido tem três componentes:

1. radial : correntes perpendiculares ao eixo do agitador
2. axial ou longitudinal : correntes paralelas ao eixo do agitador
3. tangencial ou rotacional : correntes tangentes ao eixo do agitador; responsável pela formação do **vórtice**.

Agitação

Quando o agitador está disposto no centro a componente tangencial é prejudicial à mistura.

O fluxo tangencial segue uma trajetória circular ao redor do eixo e cria vórtices no tanque de agitação.

PROBLEMAS...

Estratificação permanente em vários níveis. Substâncias sem se misturar, sem fluxo longitudinal de um nível a outro.

Se houver a presença de sólidos, estes poderão ser lançados à parede e descenderem, acumulando-se embaixo do agitador.

Ao invés de se obter mistura haverá concentração de sólidos.

O vórtice pode ser tão grande que o agitador fica descoberto.

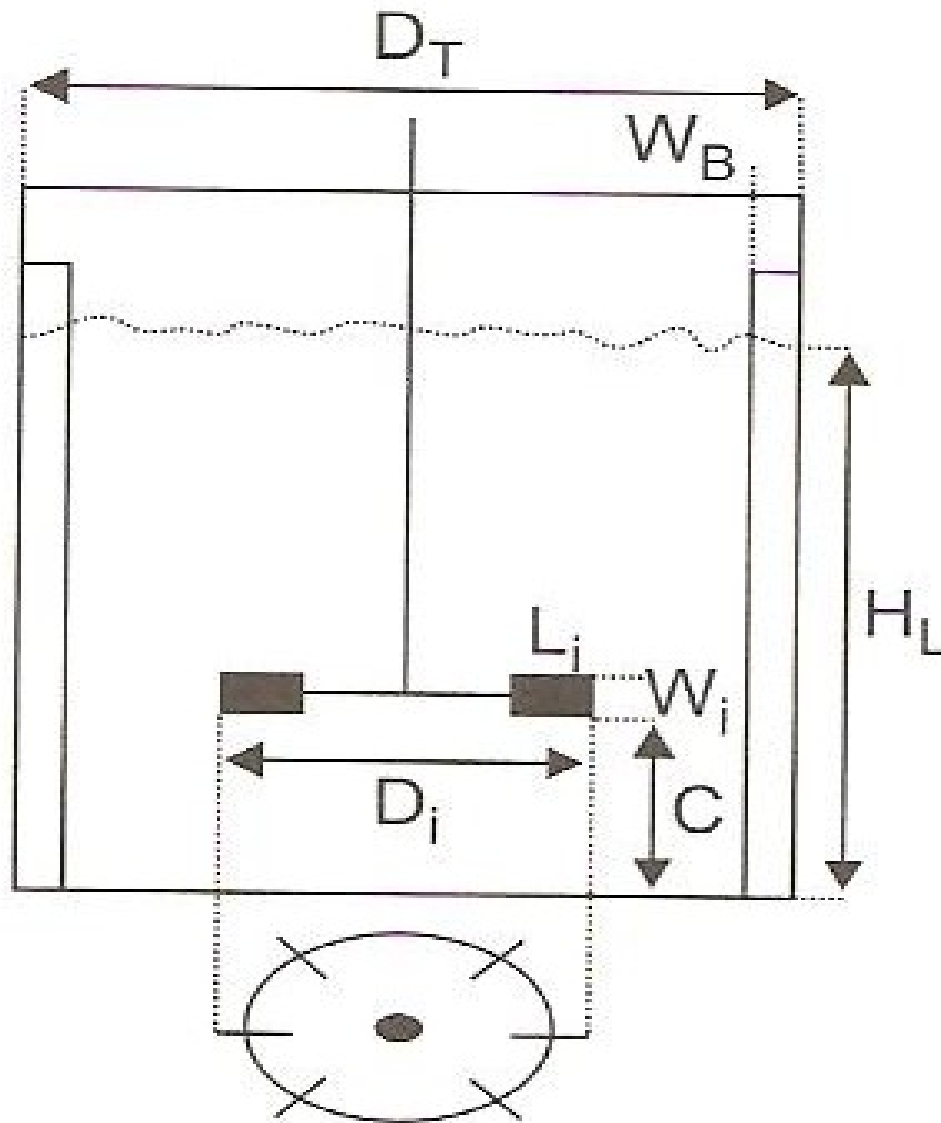
Oscilação de massa flutuante.

Formas de evitar vórtices

Em tanques pequenos, o agitador pode ficar descentralizado e/ou inclinado

Em tanques largos, o agitador pode ser colocado na lateral horizontalmente

Colocar defletores (chicanas) que impedem o escoamento rotacional...



Esquema de um tanque agitado por turbina de pás planas, com indicação de dimensões importantes na transmissão de potência ao líquido.

Consumo de potência

Para estimar a energia necessária utilizam-se correlações empíricas de potência com outras variáveis do sistema.

A forma destas correlações é encontrada através de análise dimensional.

A potência é função das seguintes variáveis... n , D_i , μ , ρ , g .

Potência

Através da análise dimensional....

$$\frac{P}{n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho} = \psi \left(\frac{n \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu}, \frac{n^2 \cdot D_a}{g} \right)$$

Número de potência

$$N_P = \frac{P}{n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho}$$

Número de Reynolds

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

Número de Froude

$$F_r = \frac{n^2 \cdot D_a}{g}$$

Potência

$$N_P = \psi (N_{Re}, N_{Fr}, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6)$$

Fatores de forma

$$S_1: \frac{D_a}{D_t} = 0,33$$

$$S_4: \frac{W}{D_a} = 0,2$$

$$S_2: \frac{C}{D_a} = 1$$

$$S_5: \frac{J}{D_t} = 0,083$$

$$S_3: \frac{L}{D_a} = 0,25$$

$$S_6: \frac{H}{D_t} = 1$$

4 defletores

D_t = diâmetro interno do tanque

D_a = diâmetro do agitador

H = nível do líquido

C = distância da lâmina ao fundo

J = largura do defletor

W = altura da lâmina

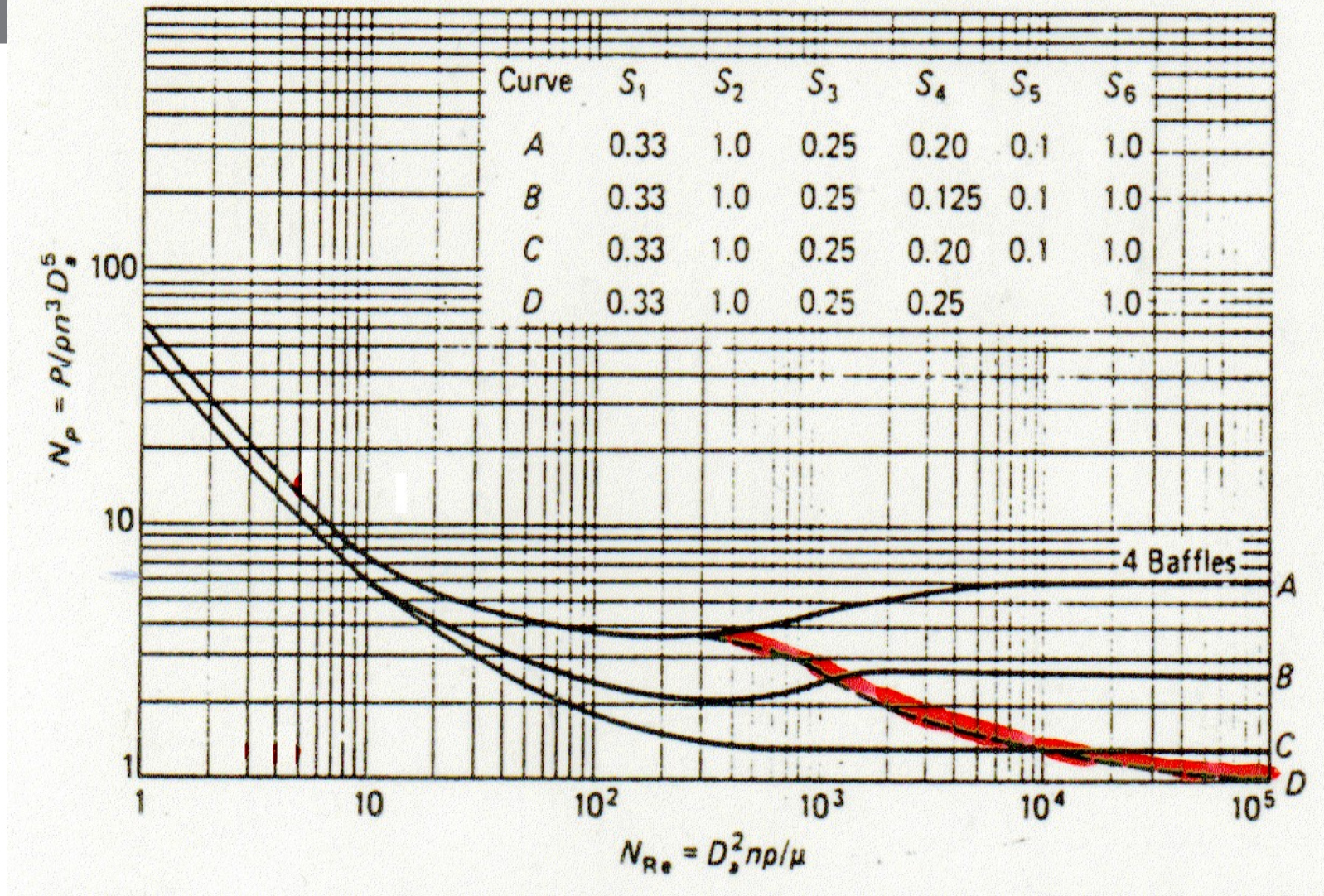
N_P é proporcional a razão da força de arraste agindo sobre unidade de área do impulsor

O Número de Potência (N_P) é análogo ao coeficiente de arraste ou fator de fricção.

Número de Reynolds

$Re < 10$ escoamento viscoso

$Re > 10^4$ escoamento turbulento



Número de potência (N_p) vs N_{Re} para turbinas de 6 pás.

Na porção em vermelho da curva D, o valor de N_p lido na figura deve ser multiplicado pelo N_{Fr}

Curvas: A (Verticais); B (Verticais); C (Inclinadas 45°); D (Verticais – sem chicanas) (McCabe, 1985).

Foi demonstrado (RUSHTON et al., 1950), por análise dimensional, que a potência transmitida está relacionada com as características do sistema da seguinte forma:

$$\frac{P}{N^3 D_i^5 \rho} = f\left(\frac{N D_i^2 \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_i}{g}, \frac{H_L}{D_i}, \frac{D_T}{D_i}, \frac{W_B}{D_i}, \dots\right)$$

$$N_P = f\left(N_{Re}, N_{Fr}, \frac{H_L}{D_i}, \frac{D_T}{D_i}, \frac{W_B}{D_i}, \dots\right)$$

$$\frac{P}{N^3 D_i^5 \rho} = f\left(\frac{N D_i^2 \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_i}{g}, \frac{H_L}{D_i}, \frac{D_T}{D_i}, \frac{W_B}{D_i}, \dots\right) \quad N_P = f\left(N_{Re}, N_{Fr}, \frac{H_L}{D_i}, \frac{D_T}{D_i}, \frac{W_B}{D_i}, \dots\right)$$

onde: N_P = Número de potência ($=P/N^3 D_i^5 \rho$) (adimensional)

N_{Re} = Número de Reynolds ($=N D_i^2 \rho / \mu$) (adimensional)

N_{Fr} = Número de Froude ($=N^2 D_i / g$) (adimensional)

P = potência transmitida na agitação (W)

N = frequência de agitação (rps ou s^{-1})

ρ = densidade do líquido (kg/m^3)

μ = viscosidade do líquido ($kg/m \cdot s$)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

D_i = diâmetro do impelidor (m)

$H_L/D_i, D_T/D_i, W_B/D_i, \dots$ = adimensionais ligados à geometria do reator

H_L = altura da coluna de líquido (m)

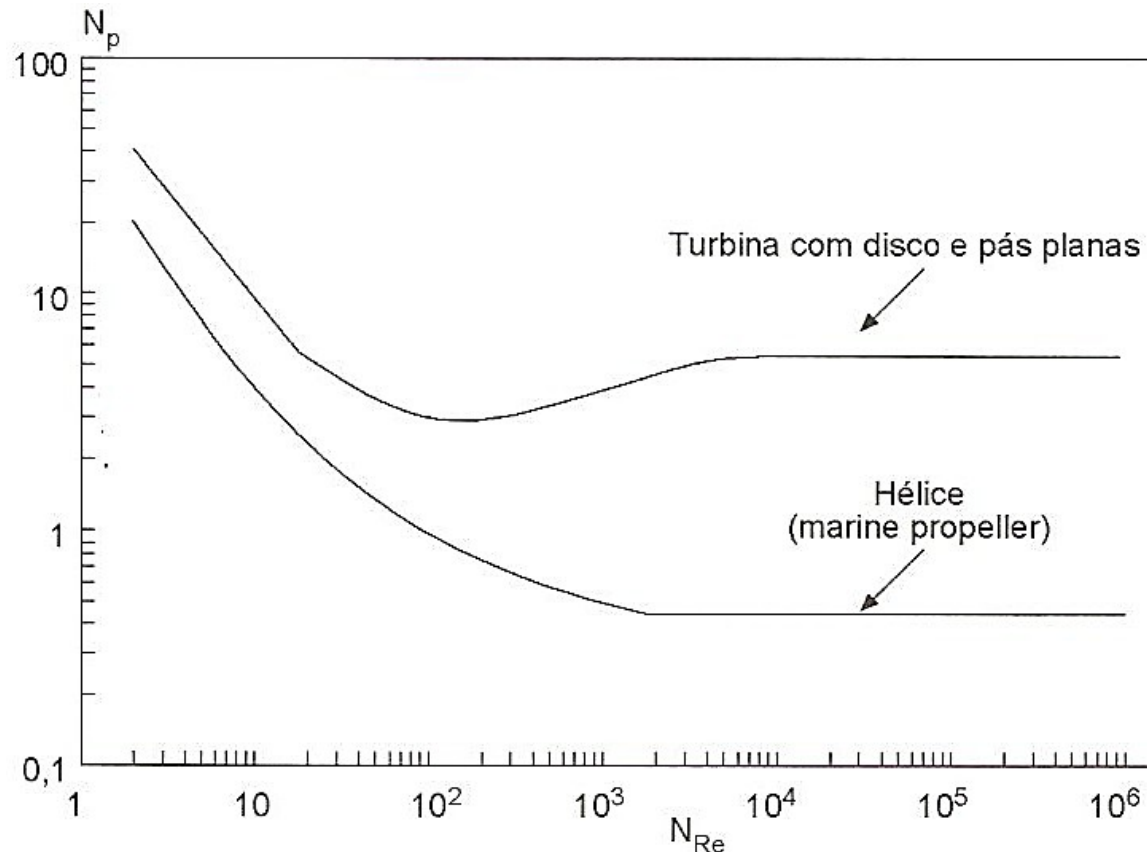
D_T = diâmetro do tanque (m)

W_B = largura da chicana (m)

C = distância do impelidor ao fundo do reator (m)

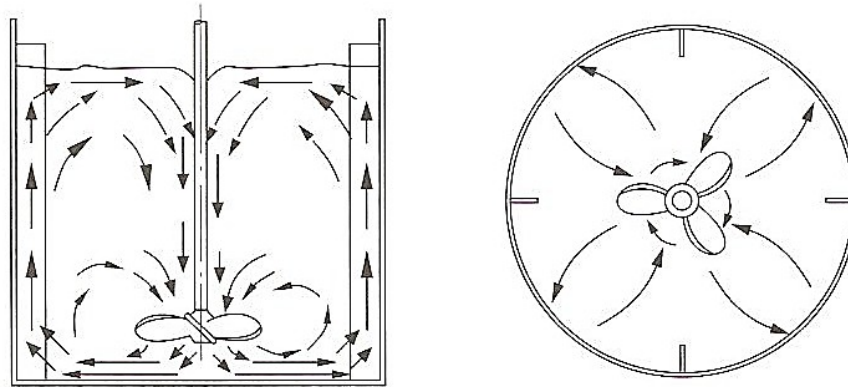
W_i = altura da pá da turbina (m)

RUSHTON et al. (1950) efetuaram determinações de potência para várias turbinas e em diferentes geometrias. No gráfico abaixo encontram-se dois dos principais resultados.

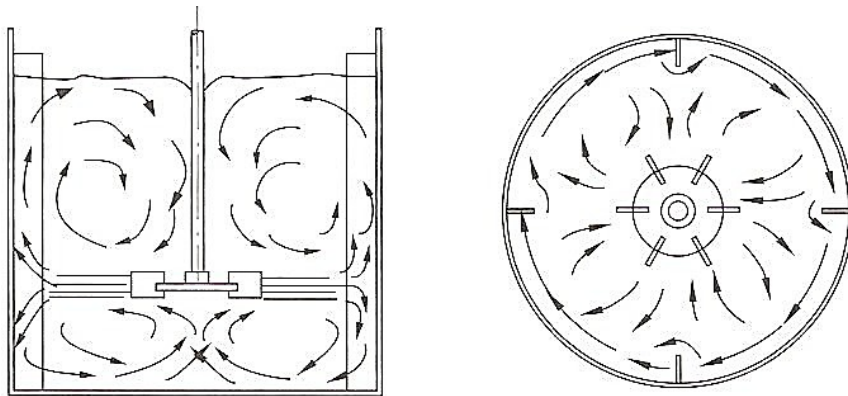


Número de potência em função do Número de Reynolds para impelidores tipo pás planas e tipo hélice.

As diferenças observadas devem-se às diferentes direções de escoamento do líquido provocadas pelas diferentes turbinas



Escoamento **axial** para turbinas tipo **hélice** em tanque com chicanas.



Escoamento **radial** para turbinas tipo **disco e pás planas** em tanque com chicanas.

Pelo gráfico observa-se a existência de três regiões:

1º) Laminar

2º) Transição

3º) Turbulenta.

Para o **regime laminar** tem-se:

$$N_P = K_1 (N_{Re})^{-1} \quad \longrightarrow \quad P = K_1 N^2 D_i^3 \mu$$

Para o **regime turbulento** tem-se:

$$N_P = K_2 = cte. \quad \longrightarrow \quad P = K_2 N^3 D_i^5 \rho$$

Expressões que permitem obter a **potência transmitida** em líquidos Newtonianos *apenas agitados*.

Observações sobre o gráfico $N_p = f(N_{Re})$ de Rushton:

- A turbina de pás planas é mais eficiente para transmissão de potência.
- Os dados foram obtidos com uma turbina.
- As relações geométricas empregadas foram aquelas da tabela abaixo:

Tipo de turbina	D_T/D_i	H_L/D_i	C/D_i	L_i/D_i	W_i/D_i	W_B/D_T
Pás planas (6)	3	3	1	0,25	0,2	0,10
Hélice	3	3	1			0,10

○ Para sistemas com relações geométricas diferentes das usadas para a obtenção do gráfico, multiplica-se a potência por um fator de correção:

$$f_c = \sqrt{\frac{(D_T/D_i)^* \cdot (H_L/D_i)^*}{(D_T/D_i) \cdot (H_L/D_i)}}$$

$(D_T/D_i)^*$ e $(H_L/D_i)^*$ são as relações distintas das de RUSHTON.

(D_T/D_i) e (H_L/D_i) são as relações geométricas de RUSHTON.

- Para o emprego de maior número de turbinas usam-se as relações:

$$D_i < H_i < 2.D_i \text{ e } (H_L/D_i) - 1 > \text{nº de turbinas} > (H_L/D_i) - 2,$$

Onde:

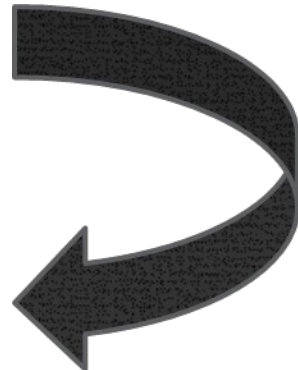
H_i é a distância entre os impelidores (turbinas)

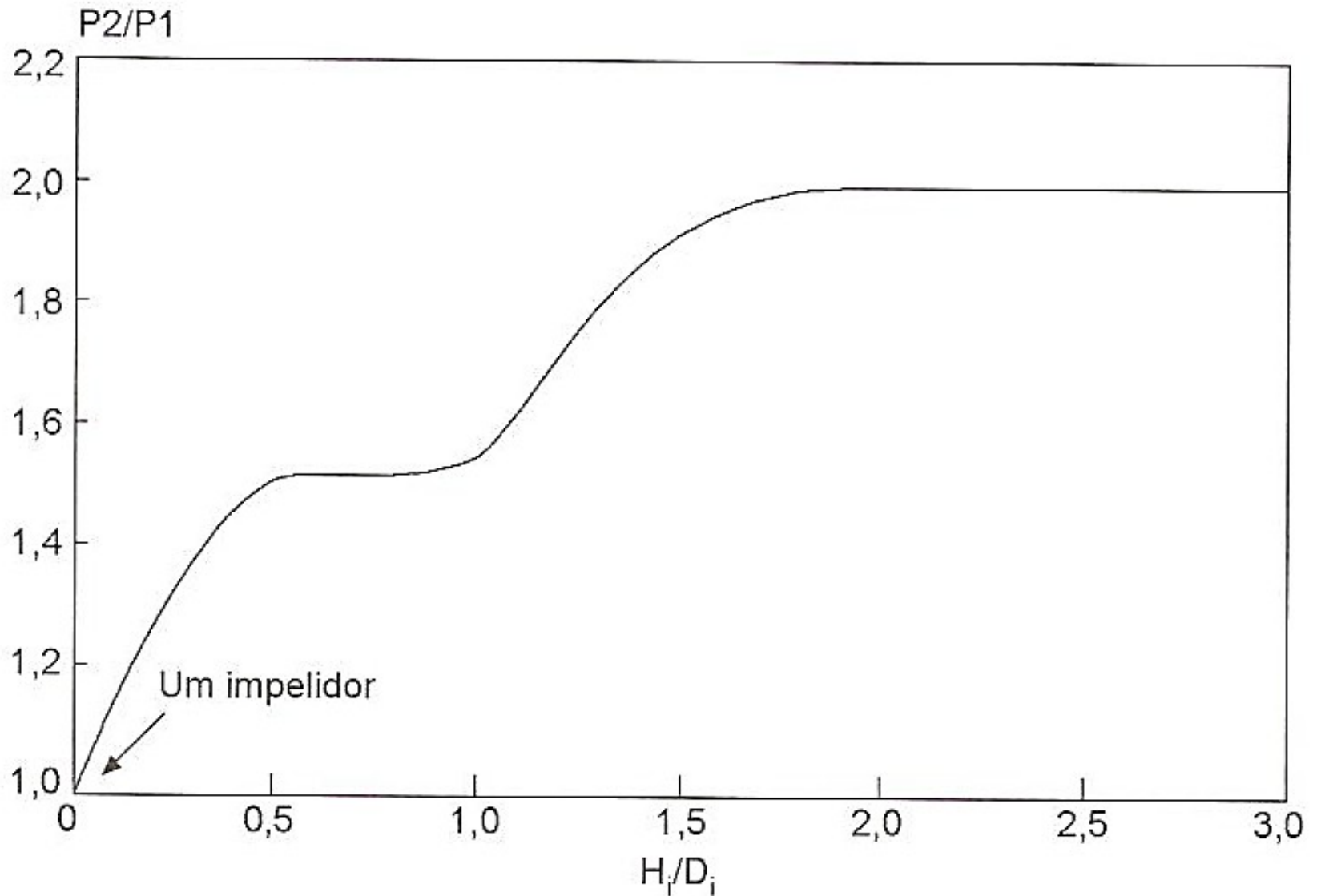
- Para duas ou mais turbinas, há uma distância mínima entre as mesmas para que se obtenha como resultado o somatório do efeito de cada uma.

Assim, HUDCOVA *et al.* encontraram $H_i > 1,8 \cdot D_i$

BATES *et al.* encontraram $H_i > 1,3 \cdot D_i$

Depende do tipo de turbina empregada





Relação entre a potência transmitida por duas turbinas e a transferida por uma turbina (P_2/P_1), em função da relação H_i/D_i , para turbinas de pás planas.

2. Agitação de líquidos Newtonianos submetidos a aeração

- Para fins de transferência de oxigênio há necessidade de se aerar o líquido submetido a agitação, o que provoca modificações sensíveis na potência transmitida.
- A presença de bolhas no líquido causa diminuição da sua densidade aparente, provocando redução da potência transmitida.
- A abordagem do problema foi feita definindo-se um número adimensional, chamado Número de Aeração (N_A):

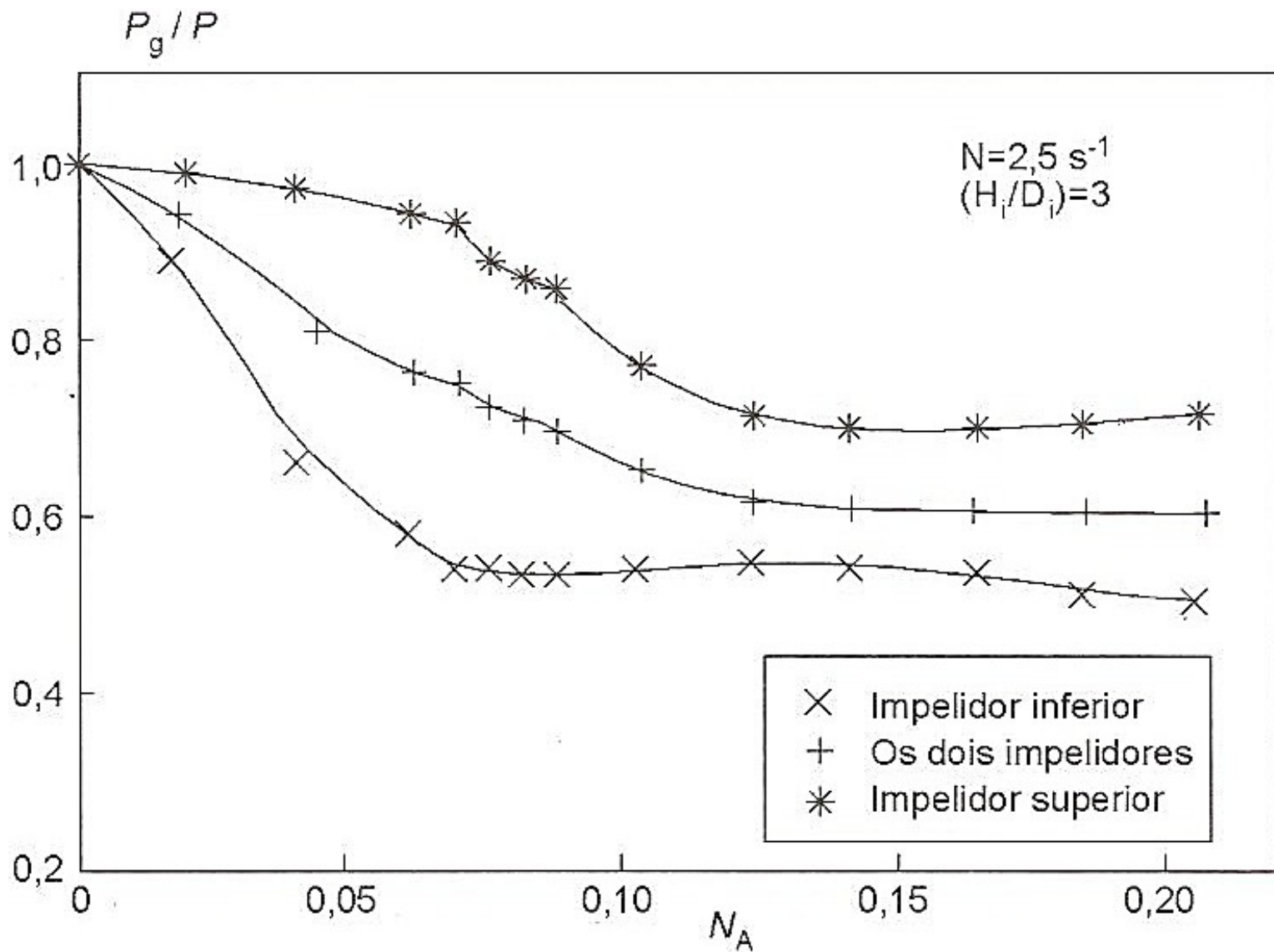
$$N_A = \frac{Q / D_i^2}{ND_i} = \frac{Q}{ND_i^3}$$

onde: N_A = Número de Aeração (adimensional)

Q = vazão de ar (m^3/s)

ND_i = velocidade da extremidade do impelidor (m/s)

Medindo-se os valores de potência transmitida para o meio, empregando-se as relações geométricas de RUSHTON, HUDCOVA et al. construíram um gráfico da relação entre a potência transmitida no sistema aerado e a potência sem aeração (P_g/P) em função de NA.



P_g/P em função de N_A ($Q/N.D_i^3$) para sistema de agitação com duas turbinas de pás planas.

Com o número de aeração e a potência transmitida no meio submetido apenas a agitação, obtém-se a potência transmitida ao meio aerado:

$$\frac{P_g}{P} = X$$

Outra forma de se obter a potência transmitida para o meio aerado foi proposta por MICHEL e MILLER, a partir de seus resultados experimentais:

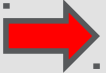
$$P_g \propto \left(\frac{P^2 N D_i^3}{Q^{0,56}} \right)^{0,45}$$

A constante de proporcionalidade é função da geometria, e para esse caso, foi de 0,706.

$$P_g = 0,706 \left(\frac{P^2 N D_i^3}{Q^{0,56}} \right)^{0,45}$$



com: P_g e P em W
 N em s^{-1}
 D_i em m
 Q em m^3/s .

- A potência do motor deve ser igual a P_g mais a potência correspondente à perda no selo mecânico. 
- Atenção ao se agitar o meio, em tanque cheio, quando este não estiver sendo aerado, pois neste caso a potência transmitida será P e não P_g .

Usar dobradiças em algumas lâminas das turbinas é uma alternativa para contornar o problema.

- Caso seja possível um sistema com variação de frequência de agitação, usar uma frequência suficientemente baixa para não comprometer o motor.

Exercício 1

Um meio de fermentação (tipo Newtoniano) com viscosidade igual a 10^{-2} Pa.s e densidade igual a 1000 kg/m^3 deverá ser agitado num biorreator provido de chicanas, usando-se uma turbina tipo hélice marinha de $1,3 \text{ m}$ de diâmetro. As características geométricas do biorreator são: $D_T/D_i = 3$; $H_L/D_i = 3$. (a) Calcule a potência (em HP) necessária para agitar o meio com uma velocidade de 4 s^{-1} . (b) Com este sistema é possível realizar uma fermentação com células que não suportam uma velocidade da extremidade da turbina maior que 10 m/s ? Comprove. Dado: $1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ kg/m.s}$.

Exercício 2

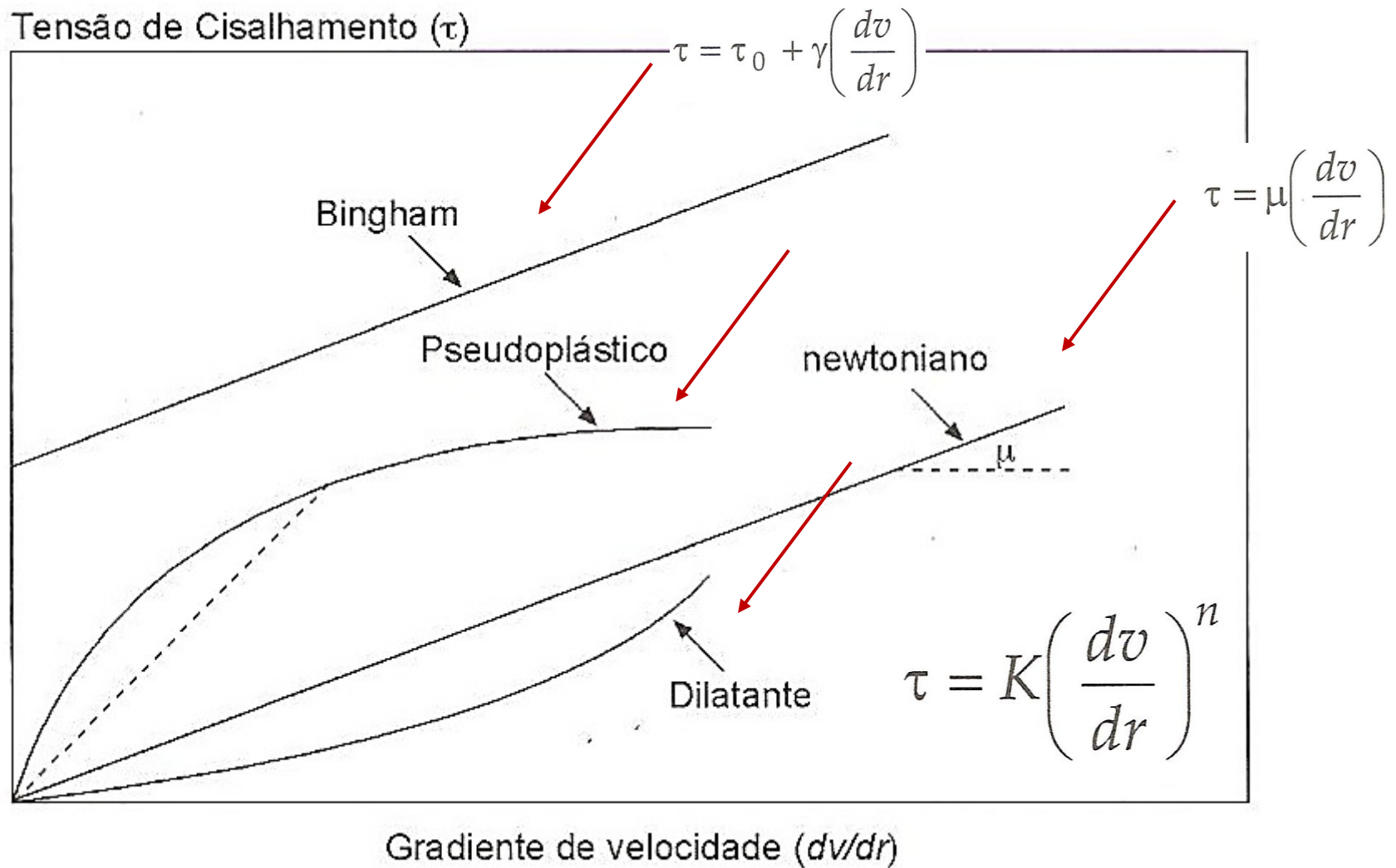
O cultivo de um microrganismo será realizado a 30 °C, num biorreator de 100 m³, com meio não aerado e com as características abaixo. Sabe-se que o sistema deve operar com fluxo turbulento e que a velocidade da extremidade da turbina não pode ultrapassar 6,3 m/s, devido a sensibilidade do microrganismo. Calcule a potência (em HP) máxima que pode ser transmitida ao meio quando se opera o sistema nas condições mencionadas.

Biorreator: $D_T = 4,6 \text{ m}$ $D_i = 1,53 \text{ m}$ Turbina pá plana

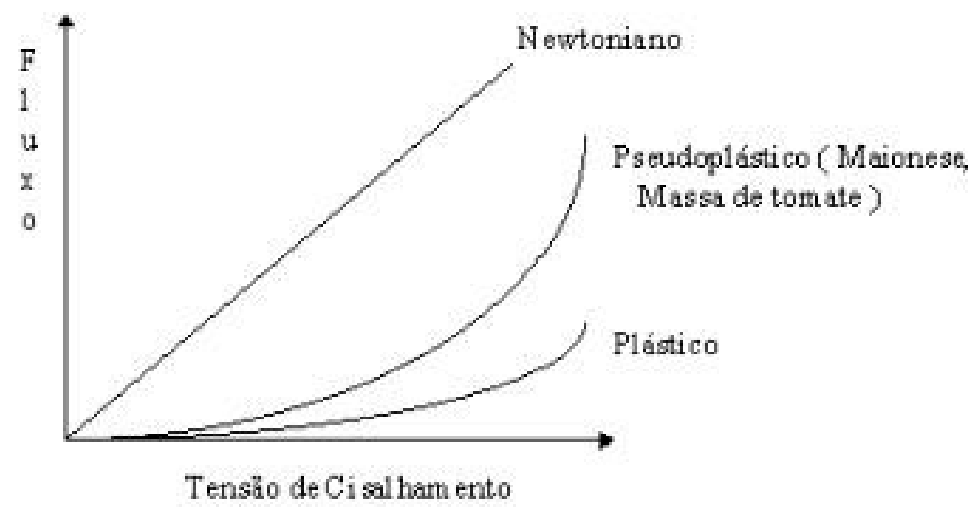
Meio: $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ Fluido Newtoniano

3. Agitação de líquidos não-Newtonianos

- Durante uma fermentação é possível ocorrerem alterações significativas no meio, o qual pode passar à condição de **não-Newtoniano**.
- Esta situação é bem mais complexa e exige um tratamento especial.
- O mais comum é o meio passar a um comportamento **pseudoplástico**.
- Há também o comportamento **Binghamiano**.



Tensão de cisalhamento (τ) em função do gradiente de velocidade (dv/dr), para líquido Newtoniano e para não-Newtonianos.



Para líquidos

Newtonianos tem-se:

$$\tau = \mu \left(\frac{dv}{dr} \right)$$

onde: τ = tensão de cisalhamento (kg/m.s^2 , Pa)

μ = viscosidade do líquido (kg/m.s , Pa.s)

(dv/dr) = gradiente de velocidade na direção radial (s^{-1})

Para o líquido

Binghamiano tem-se:

$$\tau = \tau_0 + \gamma \left(\frac{dv}{dr} \right)$$

onde: γ = coeficiente de rigidez (kg/m.s)

Para alguns fluidos

Não-Newtonianos

é comum se empregar:

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dr} \right)^n$$

onde: K = índice de consistência ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{n-2}$ ou $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{n-2}$)

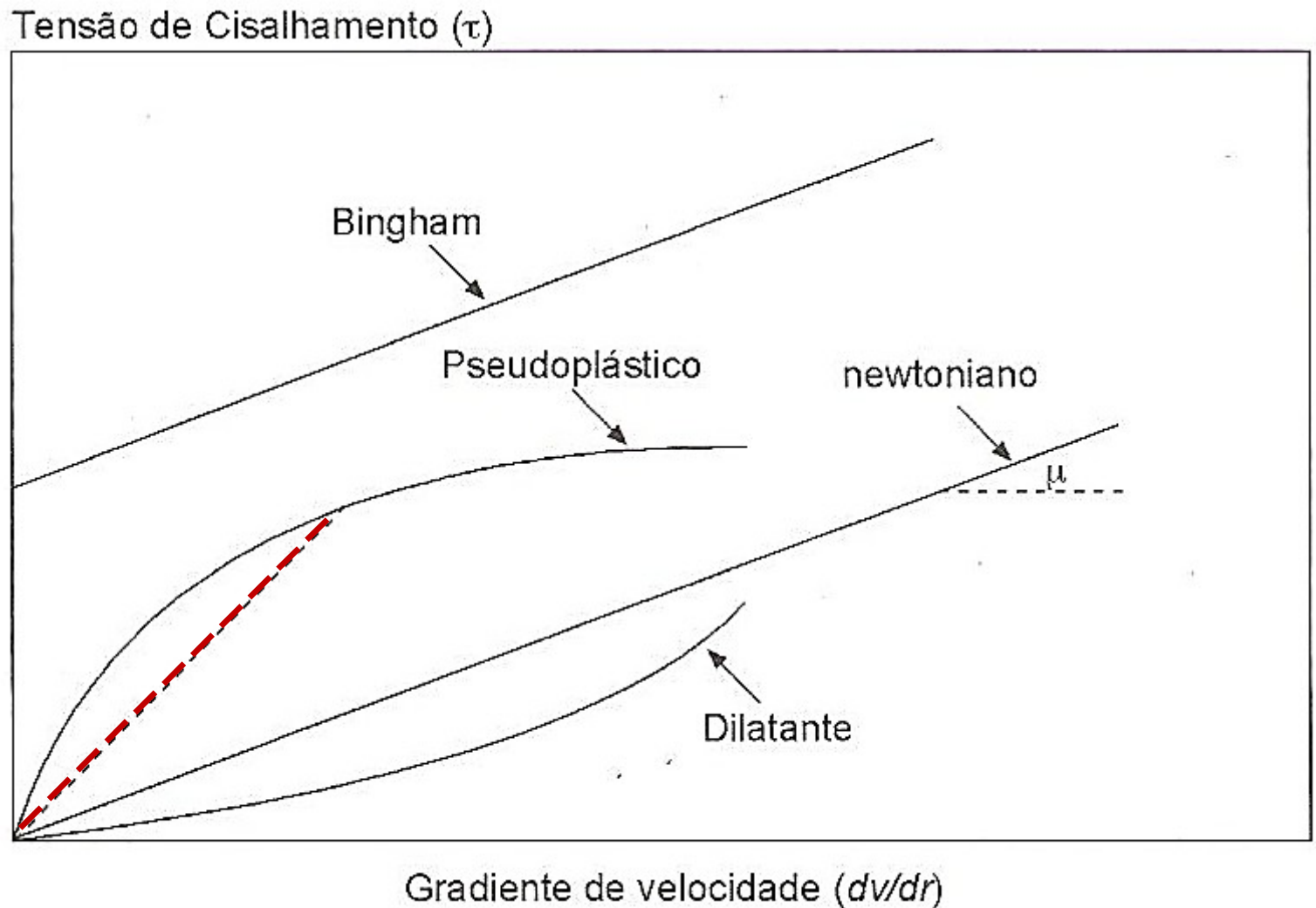
n = índice de comportamento do fluxo (adimensional)

$n = 1 \rightarrow$ Newtoniano

$0 < n < 1 \rightarrow$ Pseudoplástico

$n > 1 \rightarrow$ Dilatante

Voltando ao pseudoplástico, traçando-se uma reta da origem até um ponto na curva, pode-se definir uma viscosidade aparente, que seria o coeficiente angular desta reta:



Assim, tem-se: $\tau = \mu_{ap} \left(\frac{dv}{dr} \right)$ ou ainda $\mu_{ap} = K \left(\frac{dv}{dr} \right)^{n-1}$

onde: μ_{ap} = viscosidade aparente (kg/m · s)

Com uma série de dados de experimentais de viscosidade aparente em função do gradiente de velocidade (obtidos para um líquido pseudoplástico com um viscosímetro) pode-se determinar os parâmetros K e n de acordo com a equação:

$$\log \mu_{ap} = \log K + (n - 1) \log(dv/dr)$$

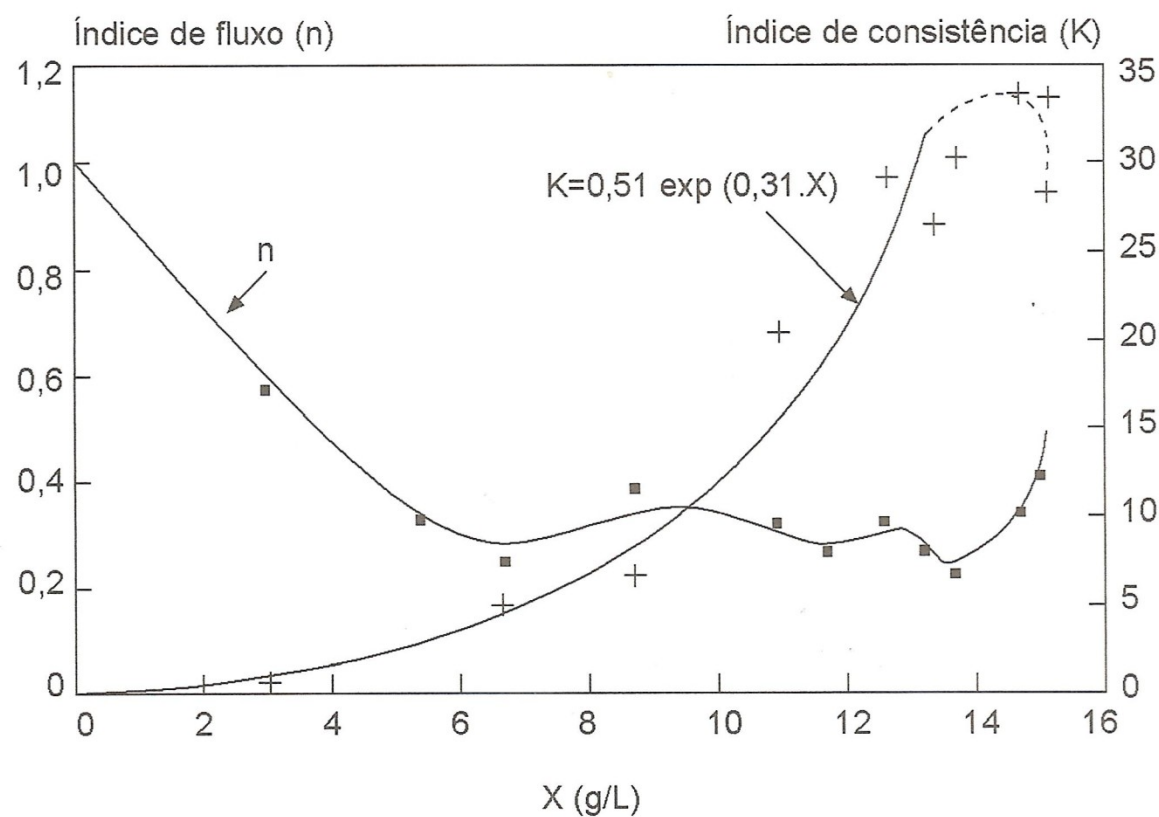


Figura 14.16 – Valores do índice de comportamento do fluxo (n , adimensional) e do índice de consistência (K , em $\text{g.cm}^{-1}.\text{s}^{n-2}$) em função da concentração celular (X), durante cultivo de *Aspergillus awamori*.³⁰

Dada a dificuldade de se definir um número de Reynolds que permita obter o número de potência pelo gráfico de Rushton, define-se um número de Reynolds modificado (N_{Rem}), que considera as mencionadas características do meio, ou seja, índice de consistência (K) e índice de comportamento do fluxo (n), e sua **viscosidade aparente**.

$$N_{Re\ m} = \frac{ND_i^2 \rho}{\mu_{ap}}$$

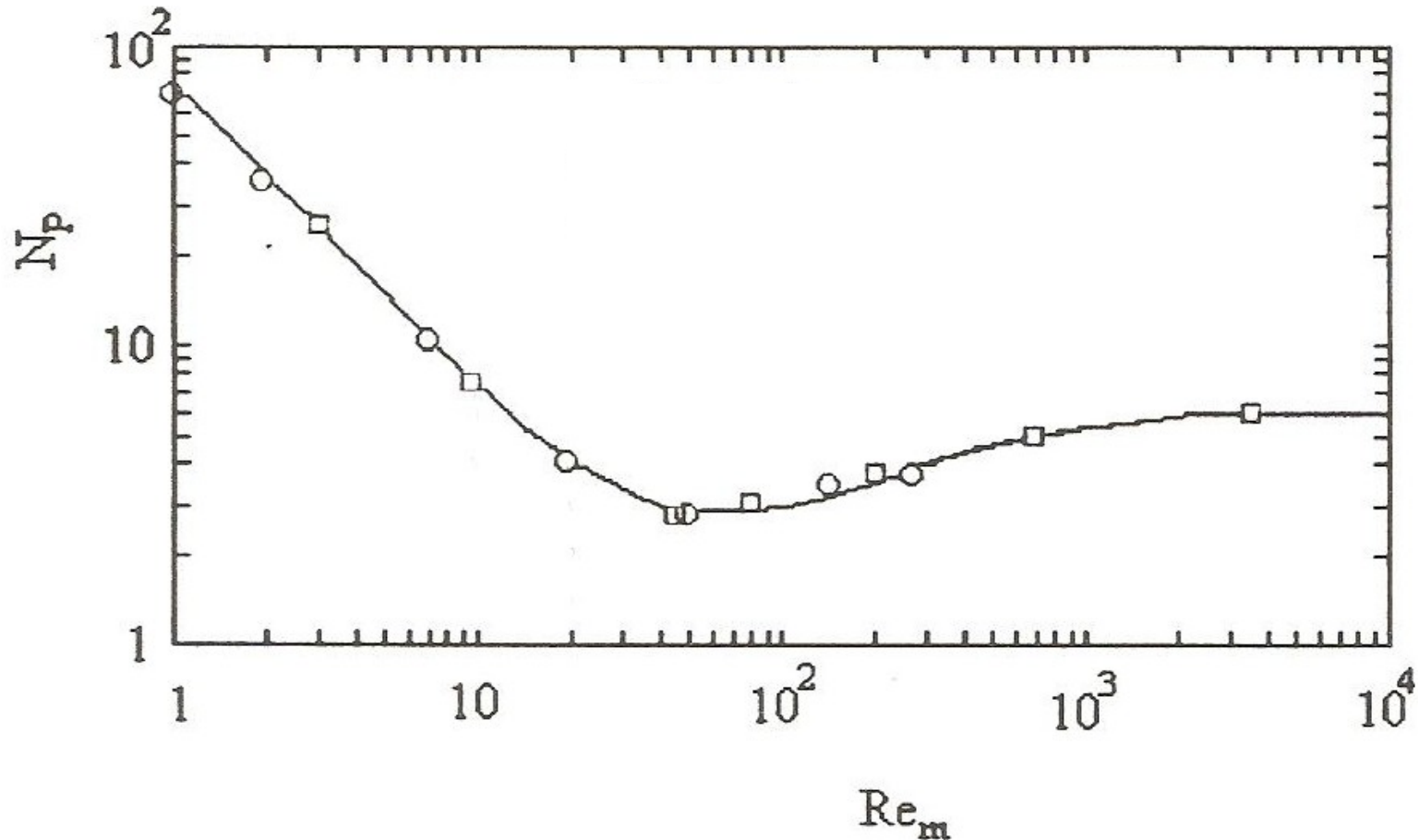
Calderbank; Moo-Young estudaram experimentalmente líquidos não-newtonianos, chegando à seguinte expressão de viscosidade aparente para um líquido pseudoplástico:

$$\mu_{ap} = \frac{K}{10N^{1-n}} \left(\frac{6n+2}{n} \right)^n$$

Chegando à seguinte forma para o número de Reynolds modificado:

$$N_{Re\,m} = \frac{D_i^2 N^{2-n} \rho}{0,1K} \left(\frac{n}{6n+2} \right)^n$$

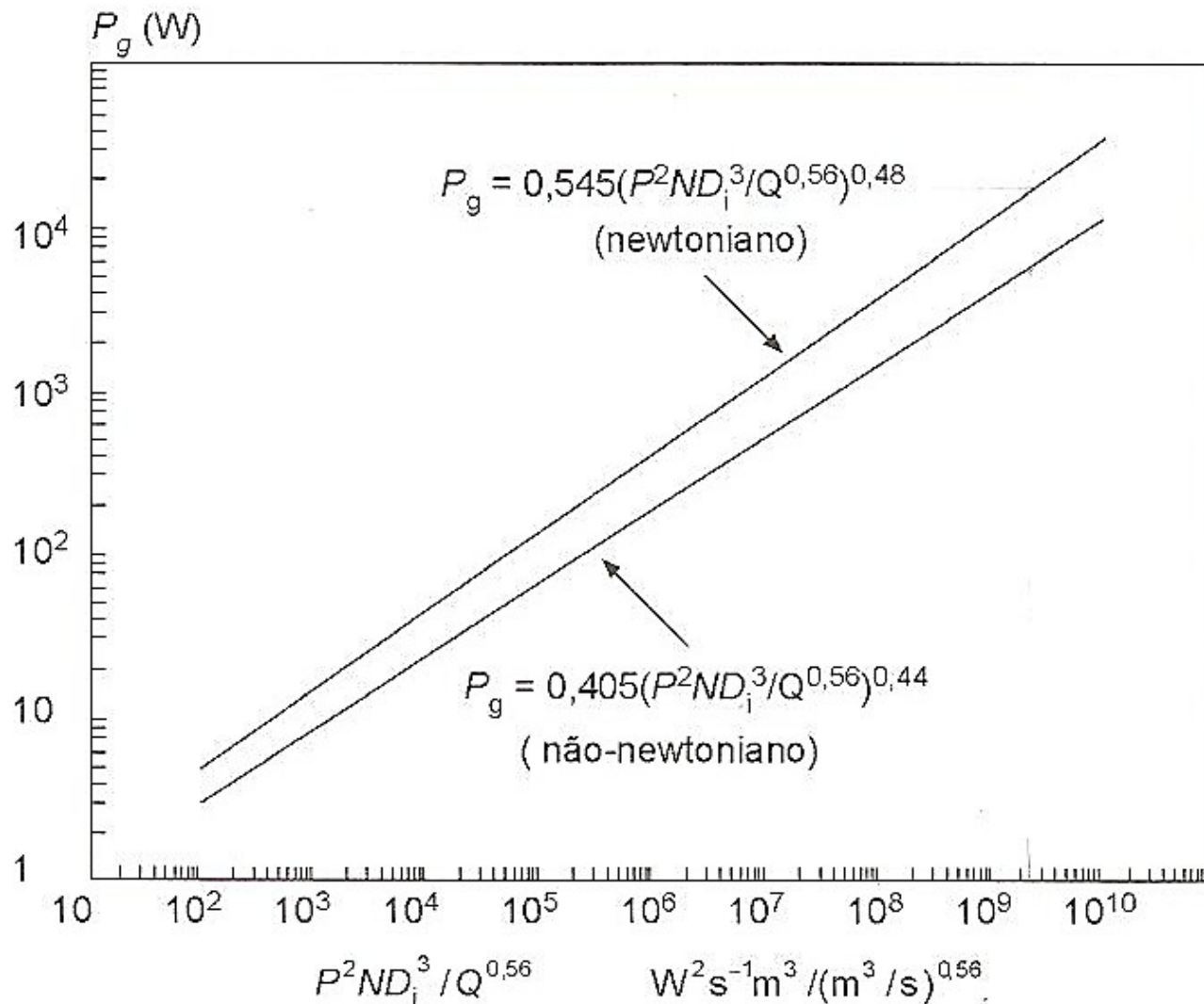
A curva obtida tem semelhança com a de Rushton para líquido Newtoniano.



Número de potência em função do Número de Reynolds **modificado**, para líquido pseudoplástico e emprego de turbina tipo pás planas.

4. Agitação de líquidos não-Newtonianos aerados

- Neste caso, é de utilidade a equação proposta por MICHEL e MILLER, com diferentes valores das constantes empíricas.
- Para líquidos **Newtonianos**, a equação foi testada com dados experimentais provenientes de reatores de volumes de 3,5 até 42.000 litros, havendo, portanto, variação das relações geométricas e número de turbinas.
- Para líquidos **não-Newtonianos**, a equação foi testada com dados experimentais provenientes de reatores de volumes de 20 até 30.000 litros, havendo, também, variação das relações geométricas e número de turbinas.



Correlação do tipo proposta por MICHEL e MILLER, entre a potência transmitida sob aeração (P_g) e a grandeza $P^2.N.D_i^3/Q^{0,56}$, para líquidos Newtonianos e não-Newtonianos (sistema de unidades SI).

5. Transferência de oxigênio

- A principal importância relativa ao estudo da transferência de potência reside no fato de que a agitação e a aeração devem permitir a transferência de oxigênio para o meio, de modo a atender à **demanda** das células.
- Assim, procura-se quantificar a influência da transferência de potência, assim como da aeração, sobre a capacidade de **transferência de oxigênio** do sistema de agitação e aeração, permitindo o **dimensionamento** deste.
- Um dos trabalhos clássicos, neste sentido, é o de COOPER et al., que estudaram a transferência de oxigênio em soluções de sulfito de sódio, quantificando-a na forma do coeficiente de absorção, **K_v** .

A correlação obtida foi:

$$K_V = K_3 \left(\frac{P_g}{V} \right)^\alpha (V_s)^\beta$$

onde:

K_3 = constante que depende da geometria do sistema, assim como do sistema de unidades empregado.

V = volume de líquido submetido à agitação e aeração (m^3)

V_s = velocidade superficial do ar ($= Q/S$) (m/s)

Q = vazão de ar (m^3/s)

$S = \pi D_T^2 / 4$

α, β = constantes empíricas

Para os dados experimentais destes autores, a expressão obtida foi:

$$K_V = 25,306 \left(\frac{P_g}{V} \right)^{0,95} (V_S)^{0,67}$$

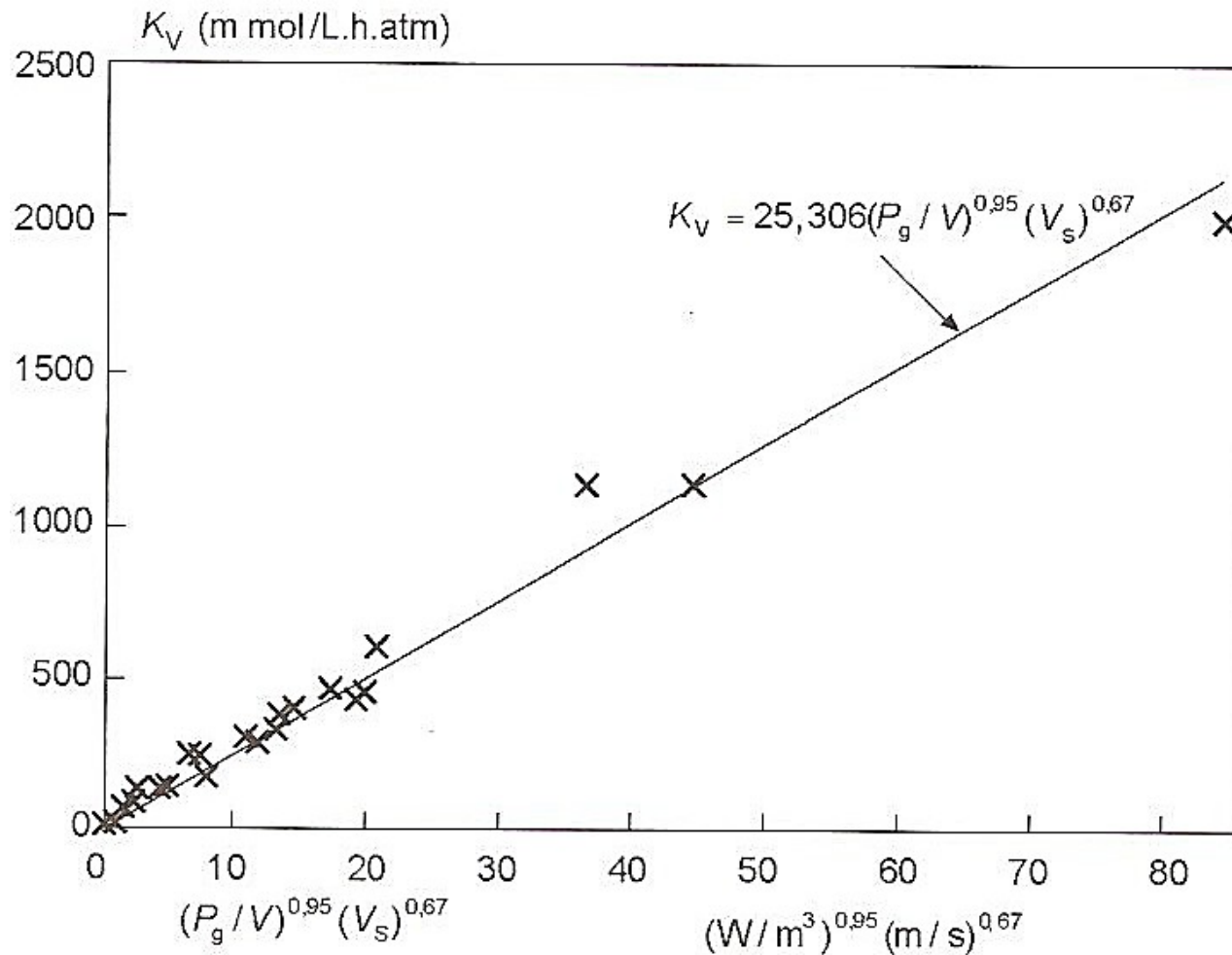
desde que: K_V em $\text{mmolO}_2/\text{L} \cdot \text{h} \cdot \text{atm}$

P_g/V em W/m^3

V_S em m/s

$(H_L/D_T) = 1$

Impelidor tipo disco ranhurado (“vaned disk”)



Dados de transferência de oxigênio (K_v) para solução de sulfito de sódio, submetida a diferentes condições de agitação e aeração, com impelidor tipo disco ranhurado.

- A ordem de grandeza dos coeficientes de (P_g/V) e V_s são de grande importância.
- Estes variam com as características do sistema* e do meio** e com a escala de trabalho.
- Outras interferências, como número de turbinas, frequência de agitação e coalescência, não são explicitadas na equação de Cooper.

Tabela 14.3 – Expoentes α e β da Eq. 14.6 I segundo a escala de trabalho.³⁵

Volume do reator (m ³)	α	β	Sistema
0,005	0,95	0,67	não coalescente
0,5	0,6 – 0,7	0,67	
50	0,4 – 0,5	0,50	
0,002 – 2,6	0,4	0,50	coalescente

Assim, outras correlações foram propostas:

$$K_V \propto \left(\frac{P_g}{V} \right)^{0,4} (V_S)^{0,5} (N)^{0,5}$$

$$K_V = (p + qN_i) \left(\frac{P_g}{V} \right)^{0,77} (V_S)^{0,67}$$

onde: N_i = número de turbinas no eixo de agitação

p, q = constantes empíricas

Obs.: Correlações obtidas para solução de sulfito de sódio.

Para meios fermentados, pode-se citar o trabalho de TAGUSHI et al., para o cultivo de *Endomyces*, cujo meio torna-se pseudoplástico ao longo do processo.

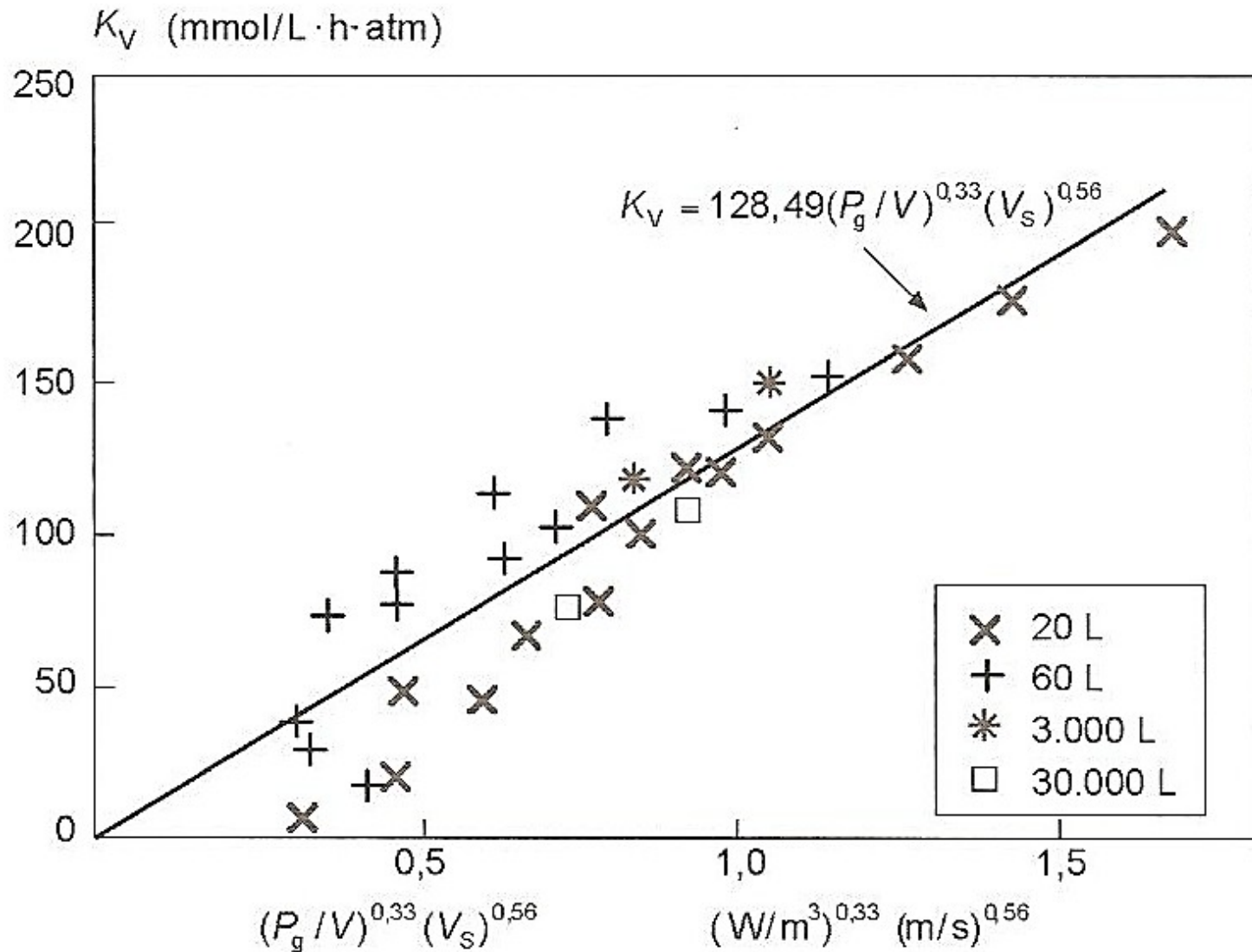
Neste caso, uma correlação do tipo da equação de COOPER foi adequada:

$$K_V = 128,49 \left(\frac{P_g}{V} \right)^{0,33} (V_s)^{0,56}$$

onde: (P_g/V) em W/m^3

(V_s) em m/s

(K_V) em $mmolO_2/L \cdot h \cdot atm$



Dados de transferência de oxigênio (K_V) em líquidos pseudoplásticos (cultivo de *Endomyces*), obtidos em reatores de 20 a 30.000 litros.

EXERCÍCIO 3

Em uma indústria de geleias, suco de amora concentrado (58°Brix) deve ser mantido, sob agitação, a 22°C . O tanque de agitação é equipado com um agitador do tipo turbina, com seis pás retas, correspondente ao impulsor 11 da figura a seguir ($K_s = 11,5$). A frequência rotacional do impulsor é de 110 rpm e capacidade do tanque deve ser adequada para armazenar 215 kg de suco. Nas condições de agitação, o suco apresenta as seguintes propriedades: $\rho = 1277 \text{ kg/m}^3$; $K = 26,4 \text{ Pa s}^n$; $n = 0,62$. Determine:

- As dimensões do tanque, considerando as dimensões padrão com defletores
- A potência necessária para a agitação

Dados:

$$T = 22^\circ \text{C}$$

Turbina de 6 pás $\rightarrow$ curva 11 ($K_s = 11,5$)

$$N = 110 \text{ rpm} = 1,83 \text{ rps}$$

Capacidade: $m_f = 215 \text{ kg}$

$$\rho = 1277 \text{ kg/m}^3$$

$$K = 26,4 \text{ Pa s}^n$$

$$n = 0,62 \text{ (fluido pseudoplástico)}$$

Fatores de forma

$$S_1: \frac{D_t}{D_t} = 0,33$$

$$S_4: \frac{W}{D_a} = 0,2$$

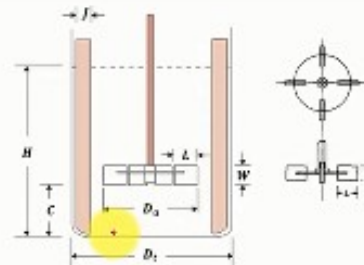
$$S_2: \frac{C}{D_a} = 1$$

$$S_5: \frac{J}{D_t} = 0,083$$

$$S_3: \frac{L}{D_a} = 0,25$$

$$S_6: \frac{H}{D_t} = 1$$

a) Dimensões do tanque padrão:



4 defletores

D_t = diâmetro interno do tanque

D_a = diâmetro do agitador

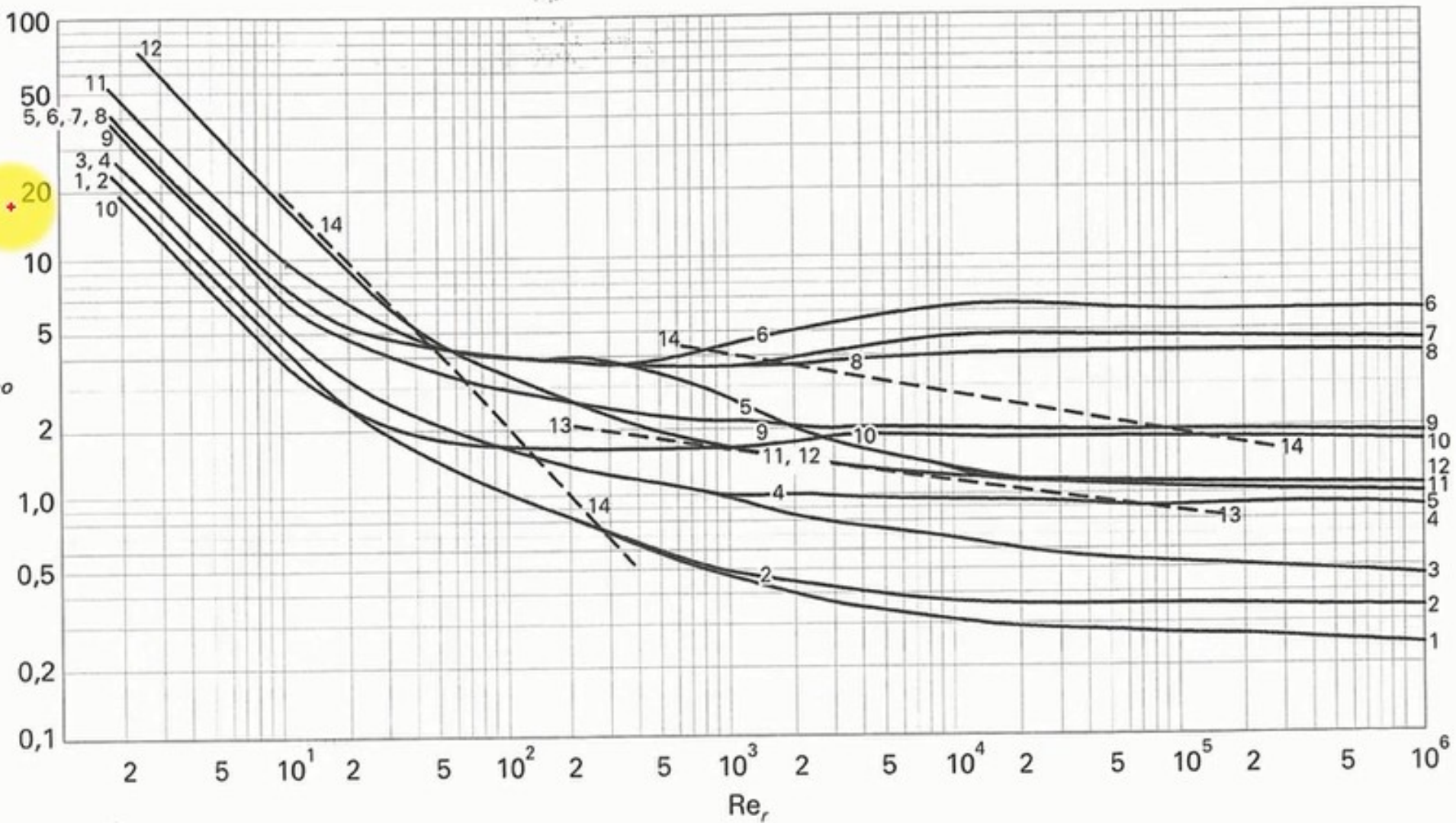
H = nível do líquido

C = distância da lâmina ao fundo

J = largura do defletor

W = altura da lâmina

L = comprimento da lâmina



EXERCÍCIO 4

Um cultivo de um microrganismo será realizado, a 30 °C, num biorreator aerado com as características apresentadas abaixo. Sabe-se que o sistema deve operar com fluxo turbulento e que a velocidade da extremidade da turbina não pode ultrapassar 9,45 m/s.

(a) Calcule a potência (em HP) necessária para operar o sistema. (b) calcule a potência necessária para agitar o meio sem aeração.

Características: $D_T = 3 \text{ m}$ $D_i = 1 \text{ m}$ $H_L = 3 \text{ m}$

Turbina tipo pás planas

Dados: Aeração = 0,6 vvm $k_L a = 100 \text{ h}^{-1}$

Fluido Newtoniano não coalescente

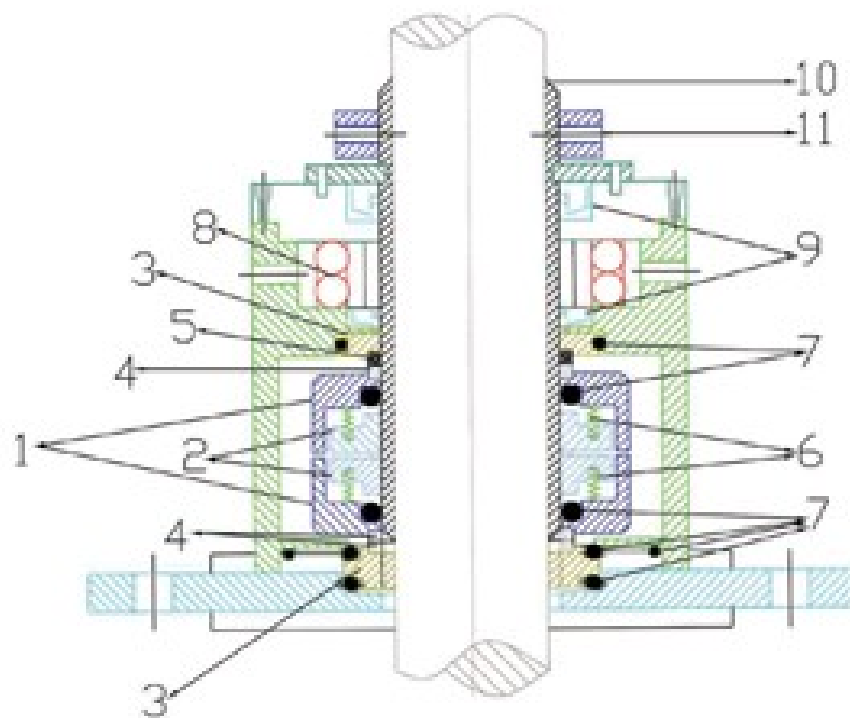
EXERCÍCIO 5

Uma fermentação será realizada (a 25 °C) num biorreator aerado, com as características apresentadas abaixo. Sabe-se que o meio é um fluido Newtoniano não coalescente. Calcule o coeficiente volumétrico de transferência de oxigênio resultante desta configuração/operação do sistema.

Características: $D_T = 2,4 \text{ m}$ $D_i = 0,8 \text{ m}$ $H_L = 2,4 \text{ m}$

Turbina tipo pás planas

Dados: $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 10^{-2} \text{ kg/m.s}$
aeração = 0,4 vvm $N = 180 \text{ rpm}$



Item	Composição
01	Suporte anel deslizante
02	Anel de arraste
03	Anel de encosto
04	Pastilhas de tungstênio
05	Pastilha de carvão
06	Molas múltiplas
07	Anel O-ring Viton
08	Rolamento autocompensador
09	Retentores
10	Luva
11	Anel de arraste

Desenho de um selo mecânico com a relação dos seus componentes.



Foto de um tipo de selo mecânico.

