



FACULDADE SATC
ENGENHARIA MECÂNICA



DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA DE ACIONAMENTO PARA TANQUE
AGITADOR DE PÁS RETAS E INCLINADAS

Joana Lourenço Pierini

Criciúma,
Julho, 2020



Joana Lourenço Pierini

DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA DE ACIONAMENTO PARA TANQUE AGITADOR DE PÁS RETAS E INCLINADAS

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Joana Lourenço Pierini

Supervisor de Estágio

Reginaldo Rosso Marcello

Reginaldo Rosso Marcello, Me. Eng.

Criciúma,
Julho, 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Soraia Lourenço Pierini e Renato Pierini (em memória), por toda dedicação e apoio recebidos. As minhas irmãs, Sonara Lourenço Pierini e Vanessa Lourenço Pierini, por toda confiança e incentivo.

Sou grata a dedicação e conhecimentos transmitidos dos professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica. E ao apoio dos meus amigos e colegas de trabalho, por depositarem sua confiança em mim.

RESUMO

A utilização de moto redutores, cresce de forma ascendente com a indústria 4.0, sendo aplicado em diversos sistemas para automatização de equipamentos. Dentre as operações beneficiadas pela aplicação de redutores, estão os sistemas que promovem agitação e mistura de fluidos. Os tanques agitadores/ misturadores estão presente em diversos setores da indústria, sendo dimensionados especificamente para cada caso, e, então, fornecidos em diversas dimensões compatíveis ao fluído a ser agitado/ misturado. O estudo apresenta os conceitos de agitação e mistura, os modelos de impelidores comumente comercializados e o equacionamento empírico necessário para determinar a potência de acionamento de um tanque agitado. É relatado então, o dimensionamento de dois tanques agitados, com impelidores de pás retas e inclinadas, e, para diferentes fluidos. Consequinte, é verificado os números adimensionais equacionados com os pré-existente em estudos anteriores, e, então, selecionado o moto redutor coroa/ sem fim ideal para cada aplicação.

Palavras-chave: redutor; tanque; agitação; mistura; potência.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – a) Redutor padrão e b) redutor especial (Baseado em Pierini Redutores, 2007)	9
Figura 2 – Geometria tanque agitador de sabão líquido (da autora, 2020)	11
Figura 3 – Esquema de formação de vórtice central (Baseado em Silva, 2002)	12
Figura 4 – Principais impelidores: (a) propulsor naval, (b) pá, (c) turbina de disco, e, (d) pás curvas (McCabe, 1985)	13
Figura 5 – a) Impelidor quatro pás inclinadas e (b) duas pás retas (da autora, 2020).14	
Figura 6 – Metodologia do dimensionamento da potência de acionamento (Baseado em Silva, 2002)	15
Figura 7 – Representação e relações geométricas tanque agitado (Baseado em UFSC,2004)	16
Figura 8 – Característica geral da curva do Número de Potência em função do Número de Reynolds para tanques sem e com chicanas (Silva, 2002)	19
Figura 9 – Relações entre Número de Potência e Número de Reynolds para fluidos Newtonianos, para diversos tipos de impelidores (Silva, 2002)	19
Figura 10 – Número de Potência para impelidor pás inclinadas (Baseado em Silva, 2002)	22
Figura 11 – Esquema tanque agitador de concreto acionado por moto redutor (da autora, 2020)	24
Figura 12 – Número de potência para impelidor pás retas (Baseado em Silva, 2002)	26
Figura 13 – Esquema tanque agitador de sabão acionado por moto redutor (da autora, 2020)	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características tanque agitador de concreto (da autora, 2020)	10
Tabela 2 – Características tanque agitador de sabão líquido (da autora, 2020)	11
Tabela 3 – Variáveis para cálculo de potência impelidor pás inclinadas (da autora, 2020)	21
Tabela 4 – Variáveis para cálculo de torque impelidor pás inclinadas (da autora, 2020)	23
Tabela 5 – Variáveis para cálculo de potência impelidor pás retas (da autora, 2020)	25
Tabela 6 – Variáveis para cálculo de torque impelidor pás retas (da autora, 2020)	27

LISTA DE ABREVIações

SÍMBOLOS (Exemplos)

A	adm.	Constante de correlação empírica de <i>Nagata</i>
a	m/s ²	Aceleração do impelidor
B	adm.	Constante de correlação empírica de <i>Nagata</i>
C	m	Distância entre o impelidor e o fundo ou parede do tanque
D	m	Diâmetro do impelidor
d	m	Distância eixo e ponta da pá
F	N	Força
g	m/s ²	Constante gravitacional
H	m	Nível do líquido
i	adm.	Relação de transmissão
l	m	Comprimento pá
$m_{pá}$	kg	Massa da pá
N	rps	Velocidade de rotação impelidor
n_1	rpm	Velocidade de rotação de entrada
n_2	rpm	Velocidade de rotação de saída
N_P	adm.	Número de potência
$n_{p1,2}$	adm.	Número de pás
N_{Re}	adm.	Número de Reynolds
p	adm.	Constante de correlação empírica de <i>Nagata</i>
P	W	Potência
Re	adm.	Reynolds
T	m	Diâmetro do tanque
T_q	J	Torque
v_p	m/s	Velocidade periférica
w	m	Largura pá
μ	kg/m. s	Viscosidade
ρ	kg/m ³	Densidade
θ	°	Ângulo de inclinação

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	4
LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE ABREVIações	6
1. INTRODUÇÃO	8
1.2 A Empresa.....	8
2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	10
2.1 Análise do problema	10
2.2 Características do tanque agitado	12
2.3 Desenvolvimento matemático	14
2.3.1 Relações geométricas	16
2.3.2 Dimensionamento potência de acionamento	16
3. RESULTADOS.....	21
3.1 Tanque agitador de concreto	21
3.2 Tanque agitador de sabão líquido	25
4. CONCLUSÃO	29
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

Redutores coroa/ sem fim são normalmente utilizados como soluções simples e efetivas para problemas de transmissão. Estes sistemas foram estudados ao longo de anos e tiveram uma melhora significativa em seu desenvolvimento. Possuem uma excelente resistência e durabilidade, além de grande versatilidade, podendo ser aplicados em diversos ramos da indústria metal mecânica.

Na diversa gama de aplicação de redutores coroa/ sem fim, estão as operações dependentes da mistura e agitação de fluidos. A mistura normalmente refere-se a duas ou mais fases inicialmente separadas e que necessitam de uniformidade. Enquanto a agitação se aplica a uma fase usualmente homogênea.

O equipamento comumente utilizado que realiza a agitação/ mistura é o tanque agitador. Este mecanismo é dimensionado especificamente para cada caso, possuindo como base algumas relações geométricas padrões, características do fluido, velocidade de operação e potência necessária para acionamento do sistema.

Este relatório apresenta dois tanques agitadores com diferentes finalidades e características. Sendo necessário a avaliação e estudo de cada sistema, para assim, caracterizar a velocidade de rotação apropriada a ser fornecida pelo redutor coroa/ sem fim, e, também, a potência de acionamento para um regime de trabalho eficiente.

1.2 A Empresa

A Pierini Redutores possui ampla experiência na fabricação de redutores coroa/ sem fim, tendo iniciado em 1998 o desenvolvimento de sua linha padrão de equipamentos. Possuindo projeto moderno, e fundamentada em conceitos universalmente aceitos, a empresa fabrica suas peças em processos de usinagem de alta qualidade. Garantindo geometrias e peças padronizadas de alto desempenho.

Fabricante de uma completa linha do modelo coroa/ sem fim, a empresa também realiza projetos personalizados de moto redutores para aplicações especiais. Possuindo setor de engenharia, projetos e vendas técnicas especializados no dimensionamento e desenvolvimento de redutores especiais. A Fig. 1 apresenta o modelo tradicional de redutor coroa/ sem fim e um modelo especialmente desenvolvido para aplicação na indústria de construção de civil.

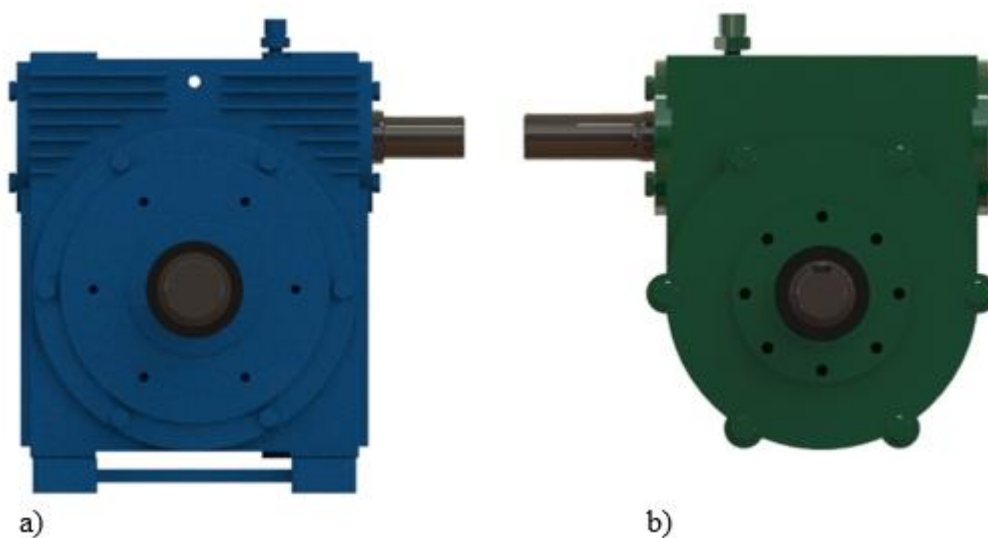


Figura 1: a) Redutor padrão e b) redutor especial (Baseado em Pierini Redutores, 2007).

É possível observar na Fig. 1 (a) o redutor tradicionalmente comercializado e com dimensões padronizadas pelo fabricante. A Fig. 1 (b) apresenta um redutor direcionado para aplicação na construção civil, em guinchos e mini guas. Possuindo características dimensionadas a partir do equipamento utilizado pelo cliente, e com adequação para fornecer o melhor desempenho e custo benefício.

A Pierini Redutores atua em todo território nacional, fornecendo sua ampla linha de equipamentos, com o diferencial de desenvolver e fabricar produtos personalizados, para assim, melhor atender a aplicação de cada sistema mecânico.

2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Neste capítulo serão abordados os princípios de agitação e mistura, as principais características dos tanques agitadores estudados, e, as atividades desenvolvidas para o dimensionamento da potência de acionamento dos mesmos.

2.1 Análise do problema

Um dos tanques agitadores dimensionado é referente a uma empresa fabricante de cimento, e, necessita de um moto redutor em seu acionamento, para ter a velocidade de rotação e potência desejável para seu funcionamento. As características do tanque são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1: Características tanque agitador de concreto (da autora, 2020).

Descrição	Valor	Unidade
Diâmetro impelidor	1	m
Diâmetro do tanque	1,4	m
Número de pás	4	adm.
Inclinação pá	15	°
Rotação pá	39	rpm
Volume fluído	600	L
Altura líquido	0,75	m

O impelidor deste tanque é do tipo pás inclinadas em 15°, Tab. 1, e não possui chicanas, ocasionando assim a formação vórtices. Além das características apresentadas na Tab. 1, é, também, necessário ter conhecimento da densidade e viscosidade do fluido estudado. O tanque é responsável pela agitação de concreto, respectivamente, densidade e viscosidade, 2800 kg/m³ e 800 kg/m.s.

O segundo tanque a ser dimensionado é responsável pela agitação de sabão líquido, e possui suas características geométricas demonstradas na Fig. 2 e propriedades do fluído na Tab. 2.

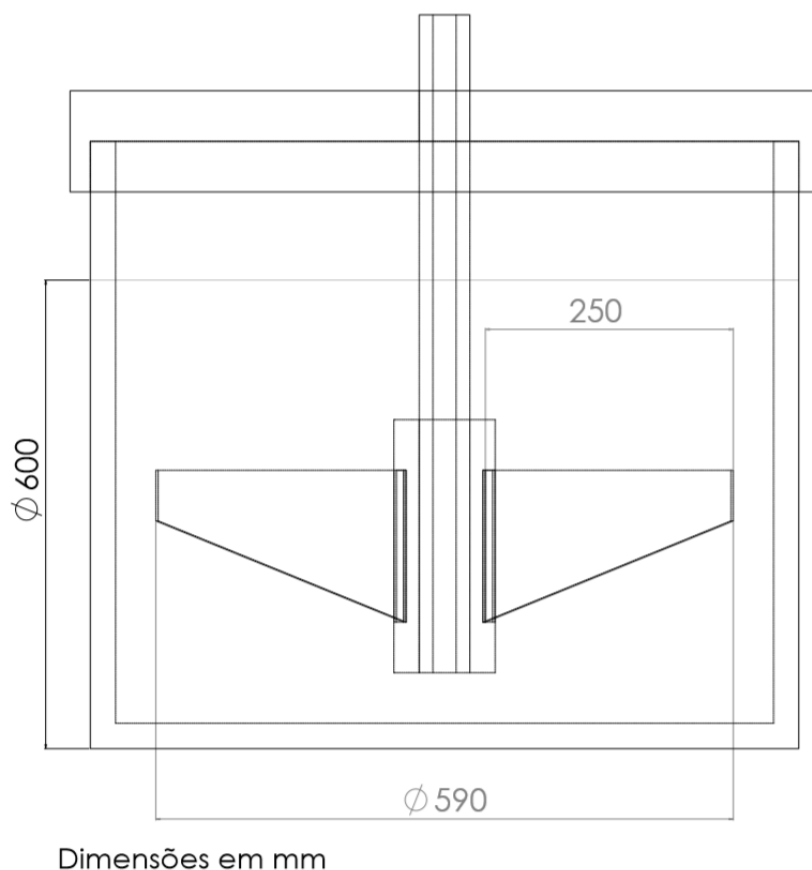


Figura 2: Geometria tanque agitador de sabão líquido (da autora, 2020).

Tabela 2: Características tanque agitador de sabão líquido (da autora, 2020).

Descrição	Valor	Unidade
Viscosidade fluido	0,2	kg/m. s
Densidade fluído	1300	kg/m ³ .
Número de pás	2	adm.
Rotação pá	25	rpm
Volume fluido	100	L

É caracterizado na Fig. 2 a geometria do tanque, essencialmente o dimensionamento das pás, que neste caso são duas pás retas. Este tanque agitado, assim como o apresentado anteriormente, também não possui chicanas.

A Tab. 2 apresenta as particularidades do fluido que são essenciais para cálculo, e, também, a velocidade de rotação desejada pelo fabricante de produtos químicos.

2.2 Características tanque agitado

Diversos processos industriais dependem da agitação e mistura de fluídos, dentre os sistemas que promovem a agitação, o mais utilizado é, conforme Junior et al. (2007), o proporcionado por tanques com impelidores que contem líquidos de viscosidades baixas e moderadas.

O tanque agitado pode realizar dois processos: agitação e mistura. Conforme UFSC (20--), a agitação refere-se ao movimento induzido de um fluido monofásico por meios mecânicos em um recipiente. Enquanto a mistura é relacionada a um fluido com duas ou mais fases heterogêneas, e tende a reduzir qualquer não uniformidade neste composto.

Usualmente um tanque de mistura contém chicanas, de acordo com Silva (2002), estes defletores são chapas metálicas montadas nas paredes do tanque. As chicanas provocam um distúrbio ou redistribuem o fluxo do fluido, evitando assim a formação de vórtices. A Fig. 3 apresenta um tanque sem chicanas e a formação de vórtice central recorrente neste tipo de tanque.

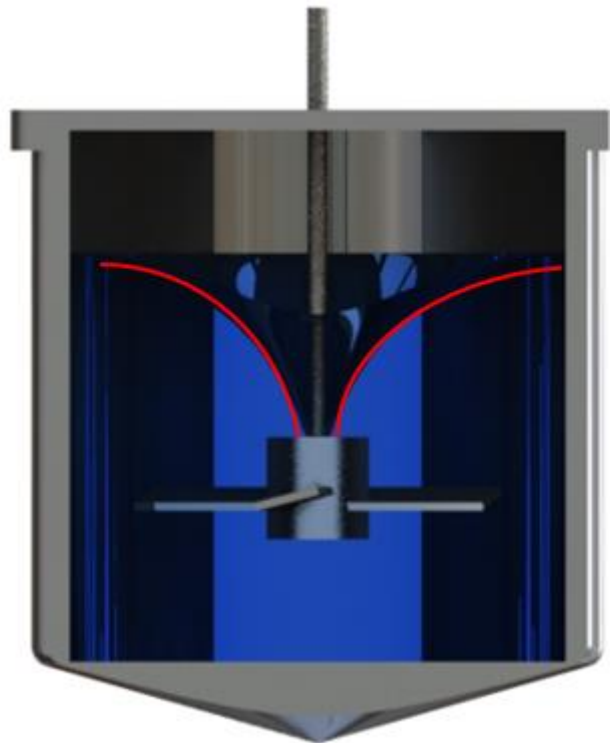


Figura 3: Esquema de formação de vórtice central (Baseado em Silva, 2002).

A Fig. 3 apresenta a formação de vórtice em um tanque sem chicanas, tendo o fluido expulso para as paredes do tanque. Este modelo de tanque é o recorrente em ambos os dimensionamentos apresentados neste relatório. Conforme Silva (2002), a formação deste turbilhão central introduz o mecanismo das forças que agem no fluido devido ao efeito da gravidade. Podendo então, conforme Silva e Sabioni (2013), não gerar a mistura/ agitação necessária no fluido.

Os impelidores são classificados de acordo com o regime de mistura, Silva (2002), laminar, turbulento ou transicional. A partir da determinação do regime, é possível dimensionar algumas características do tanque agitado, de acordo com as necessidades do projeto.

Os impelidores mais comuns para os escoamentos turbulento e laminar são representados na Fig. 4.

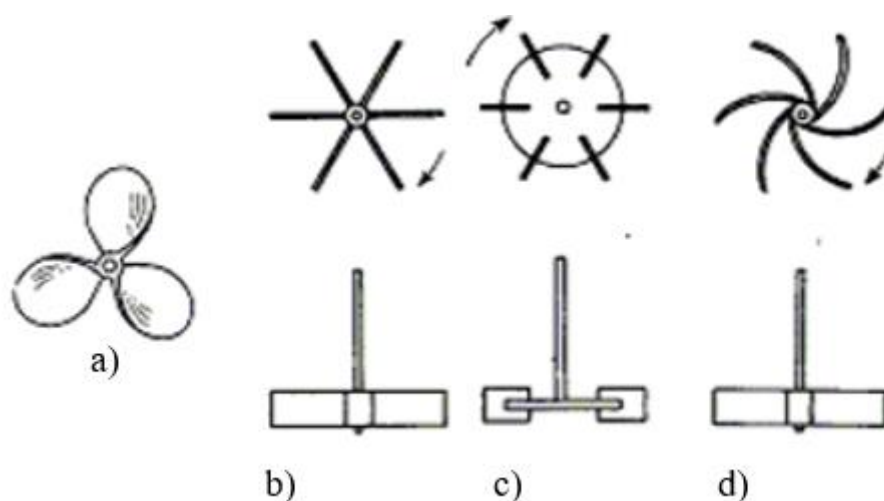


Figura 4: Principais impelidores: a) propulsor naval, b) pá, c) turbina de disco, e, d) pás curvas (McCabe, 1985).

Pode ser observado na Fig. 4 (a) o propulsor do tipo naval, conforme Junior et al. (2007), é indicado para fluxo axial e líquidos de baixa viscosidade. Fig. 4 (b) apresenta o propulsor tipo pá, que podem ser de pás retas ou inclinadas. As Fig. 4 (c) e Fig. 4 (d) representam turbinas de disco e pás curvas, estes impelidores trabalham com viscosidades menores, e geram velocidades tangenciais e radiais. As turbinas são utilizadas em processos que necessitam de alta turbulência.

O impelidor responsável pela agitação do concreto é do modelo pás inclinadas e pode ser melhor observado na Fig. 5 (a), e, o presente na agitação do

sabão líquido é de pás retas, Fig. 5 (b).

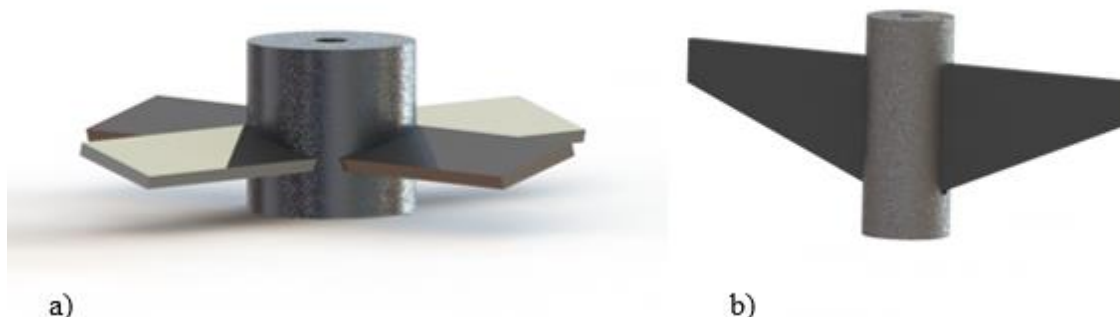


Figura 5: a) Impelidor quatro pás inclinadas e b) duas pás retas (da autora, 2020).

A Fig. 5 (a) apresenta o impelidor do tanque agitador de concreto, com quatro pás dispostas na horizontal à uma inclinação de 15° . Conforme Nerry (2017), a inclinação das pás provoca um fluxo predominantemente axial, sendo útil ao trabalhar com suspensão de sólidos. A Fig. 5 (b) representa pás retas, presente no tanque agitador de sabão líquido, que de acordo com Silva (2002), são os que melhor desenvolvem um fluxo radial, indicado para a mistura de líquidos miscíveis.

2.3 Desenvolvimento matemático

Esta secção apresenta o equacionamento necessário para dimensionar a potência ideal para o acionamento do tanque agitador. Para estimar a energia necessária para movimentar os impelidores, é utilizado correlações empíricas em conjunto com algumas variáveis do sistema.

Conforme Silva (2002), o dimensionamento das características de um tanque agitador, segue uma sequência de análises, apresentadas na Fig. 6.

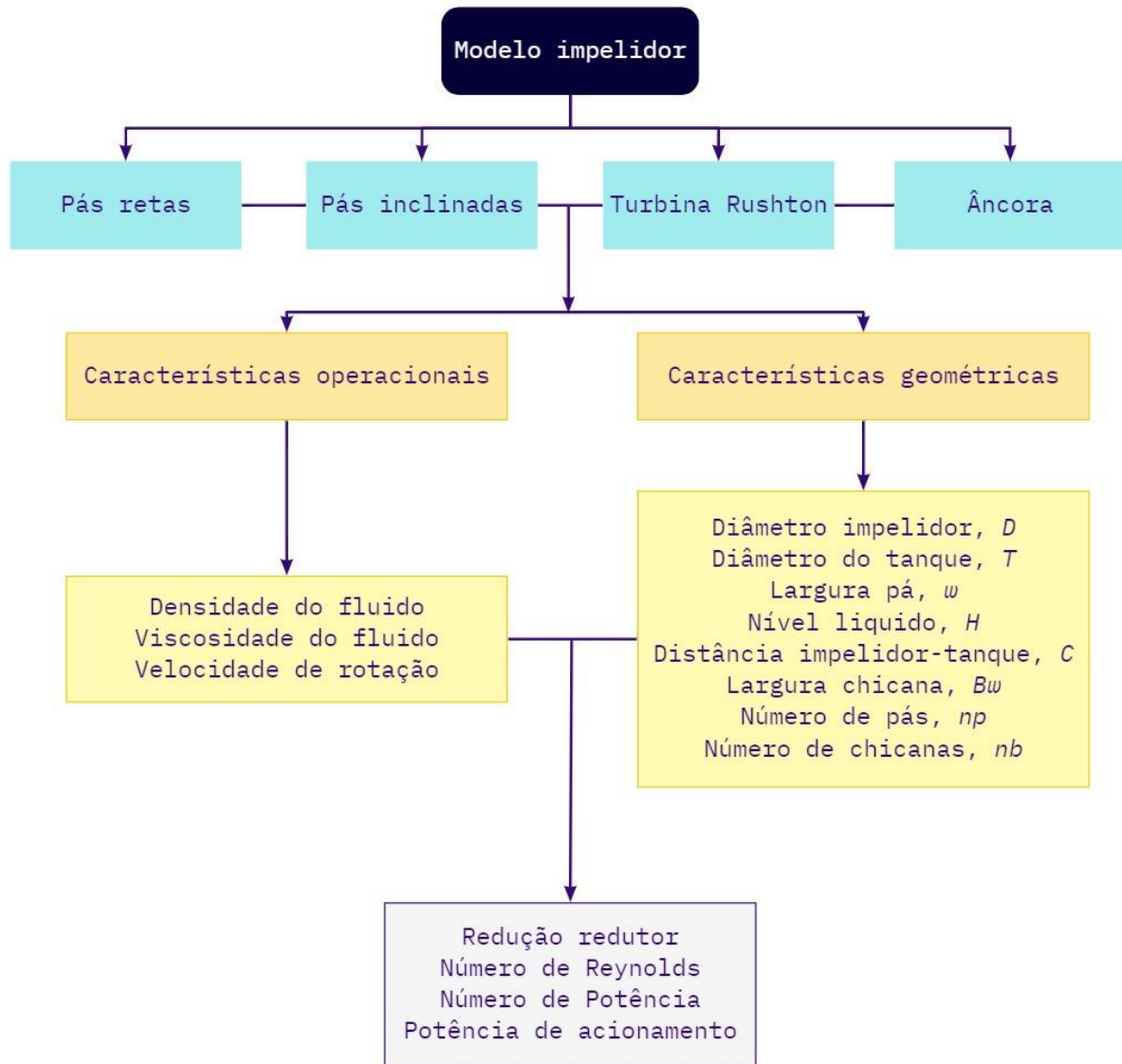


Figura 6: Metodologia do dimensionamento da potência de acionamento (Baseado em Silva, 2002).

Para a escolha do moto redutor, é necessário inicialmente analisar o tipo de impelidor presente no tanque agitador, conforme metodologia apresentada na Fig. 6. Em seguida é essencial estudar o fluido a ser misturado/ agitado, obter as relações geométricas e características operacionais, dimensionar a redução do redutor, e, então, equacionar o Número de Reynolds, Número de Potência e potência de acionamento. É importante considerar se a velocidade de rotação desejada pelo fabricante do tanque consta nas reduções existente do redutor coroa/ sem fim, caso o equipamento não possua tal redução, é necessário redimensionar para uma rotação existente no redutor.

2.3.1 Relações geométricas

Tanques agitadores possuem relações geométricas padronizadas, podendo também apresentar particularidades para cada caso estudado. As relações utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho são apresentadas a seguir e melhor visualmente projetadas na Fig. 7.

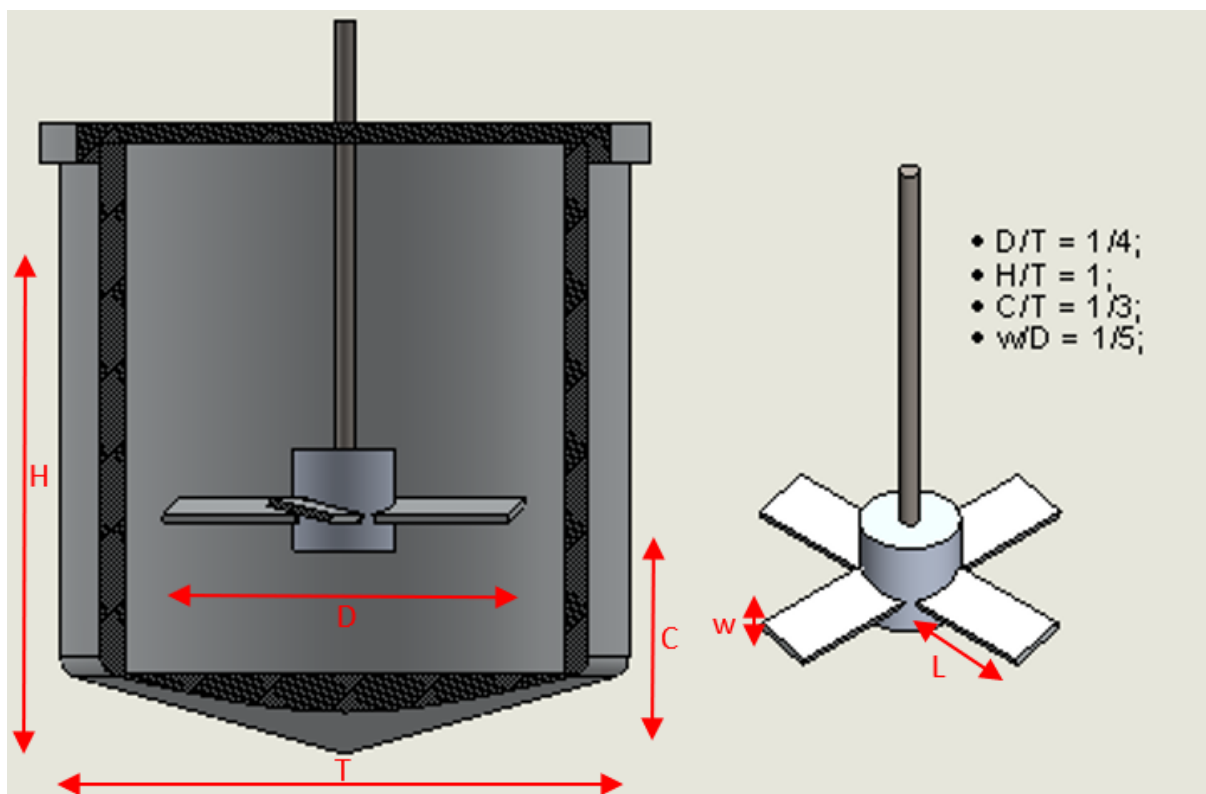


Figura 7: Representação e relações geométricas tanque agitado (Baseado em UFSC, 20--).

A Fig. 7 apresenta as condições adotadas para a determinação do moto redutor a ser aplicado. Conforme Silva (2002), estas relações geométricas não são essencialmente as melhores para todos os tipos de tanque. As diferentes geometrias aplicadas aos tanques influenciam no fluxo e velocidade do sistema, podendo então, serem adotadas condições diferentes dos padrões que beneficiem o mecanismo.

2.3.2 Dimensionamento potência de acionamento

A velocidade de rotação é uma das variáveis mais importantes do sistema,

para determinar a redução do redutor, conforme Niemann (1971), é utilizada a Eq. 1. Caso não se obtenha uma redução admitida pelo fabricante, é importante recalculer a rotação de saída para uma redução já existente.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

A potência é usualmente determinada a partir de medidas de torque ou por análise dimensional, Silva (2002). A Eq. 2 apresenta a equação geral da potência do impelidor e é definida em função da geometria do tanque, propriedades dos fluidos, rotação do impelidor e força gravitacional. O teorema pi de Buckingham define esta relação, conforme Uhl e Gray (1966).

$$f\left(\frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu}, \frac{N^2 \cdot D}{g}, \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5}, \frac{D}{T}, \frac{D}{H}, \frac{D}{C}, \frac{D}{p}, \frac{D}{w}, \frac{D}{l}, \frac{D}{np_1}, \frac{D}{np_2}\right) = 0 \quad (2)$$

Os sete últimos termos da Eq. 2, conforme Silva (2002), representam uma condição de similaridade geométrica, o qual requer que todas as dimensões do sistema correspondam a tais condições.

A maneira mais prática de dimensionar a potência do tanque agitador é a partir determinação do Número de Potência, N_p , e, é estimada pela Eq. 3.

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (3)$$

A Eq. 3 é comumente utilizada para regime turbulento, quando o fluido se encontra em regime laminar a Eq. 4 é adotada.

$$P = N_p \cdot \mu \cdot N^2 \cdot D^3 \quad (4)$$

Em seu estudo, Silva (2002), afirma que o torque é definido como o produto de uma força aplicada sobre o fluido em relação a distância da pá do impelidor. A distribuição dessa força ao longo do impelidor produz torção e flexão no eixo do tanque. A Eq. 5 apresenta a relação entre torque e potência em um tanque agitador.

$$T_q = \frac{P}{2.\pi.N} \quad (5)$$

Considerando o dimensionamento do tanque a partir do torque necessário para realização do movimento, é então necessário o conhecimento da força, Eq. 6, para movimentar o fluido, e a partir da mesma, conforme Melconian (2008), o torque recorrente no sistema, Eq. 7.

$$F = m_{pá}.a \quad (6)$$

$$T_q = F.d \quad (7)$$

A Eq. 6 considera a massa da pá, que pode ser determinada através do volume da pá do impelidor e a densidade do fluido. A aceleração do sistema para velocidade constante, recorrente nos dois tanques estudados, é considerada a velocidade periférica da pá, Eq. 8. O torque, Eq. 7, considera como a distância que separa o ponto de aplicação da força ao polo, o comprimento da pá, l .

Conforme Fonseca (2019), a velocidade periférica da pá, Eq. 8, é a velocidade calculada na ponta das pás do agitador. Considerando a rotação do sistema e o diâmetro do impelidor.

$$v_p = \pi.D.N \quad (8)$$

Para determinar o Número de potência, é necessário conhecer o regime em que o fluido atua. O mesmo pode ser determinado a partir do Número de Reynolds, Eq. 9, conforme Silva (2002), o qual relaciona a razão das forças inerciais com as forças viscosas.

$$Re = \frac{\rho.N.D^2}{\mu} \quad (9)$$

Conforme Edwards et al (1972), o escoamento é considerado laminar quando Reynolds é inferior a 300 e turbulento quando é superior a 1×10^4 , entre ambos valores o regime é considerado transitório.

O número de Potência, é, conforme Silva (2002), o coeficiente de arraste nos sistemas de agitação. Uma das maneiras de determinar este número adimensional é a partir de gráfico, como apresentado nas Fig. 8 e Fig. 9.

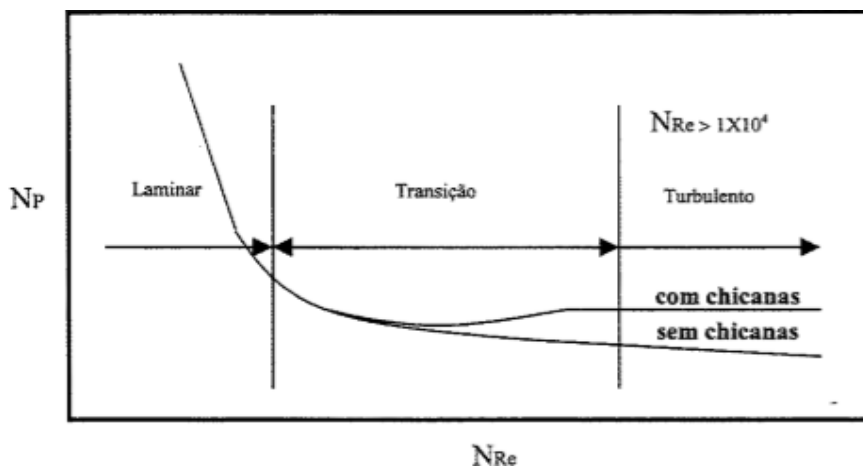


Figura 8: Característica geral da curva do Número de Potência em função do Número de Reynolds para tanques sem e com chicanas (Silva, 2002).

A Fig. 8 apresenta a correlação entre Número de Reynolds e Número de Potência em um gráfico log-log. Para baixos número de Reynolds, região laminar, existe o domínio das forças viscosas, sendo assim, o Número de Potência é inversamente proporcional ao de Reynolds. Porém para elevados números de Reynolds, principalmente quando se trata de regime turbulento, o Número de Potência se torna constante, possuindo então pouco influência no cálculo de potência.

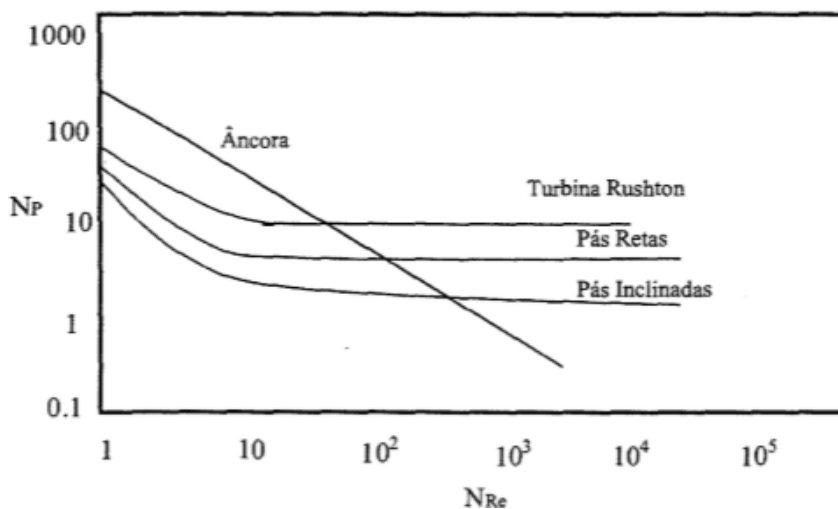


Figura 9: Relação entre número de Potência e número de Reynolds para fluidos Newtonianos, para diversos tipos de impelidores (Silva, 2002).

Pode ser observado na Fig. 9 que na região laminar o Número de Potência aumenta inversamente ao Número de Reynolds para os impelidores do tipo pás retas, inclinadas e turbina Rushton, tornando-se constante no regime turbulento para ambos impelidores. O impelidor tipo âncora possui um comportamento diferente dos anteriores, pois o mesmo só atinge valores constantes para o Número de Potência em elevado Número de Reynolds.

O Número de Potência também pode ser dimensionado a partir das características de cada impelidor. Para impelidor tipo pás inclinadas para tanques sem chicanas, é equacionado a partir de Nagata (1975) o número de potência, Eq. 10, e suas correlações de forma, Eq. 11, Eq. 12 e Eq. 13.

$$N_p = \frac{A}{R_e} + B \cdot \left(\frac{10^3 + 1,2 \cdot R_e^{0,66}}{10^3 + 3,2 \cdot R_e^{0,66}} \right)^p \cdot \left(\frac{H}{T} \right)^{\left(0,35 + \frac{w}{T}\right)} \cdot (\sin \theta)^{1,2} \quad (10)$$

$$A = 14 + \frac{w}{T} \cdot \left\{ 670 \cdot \left(\frac{D}{T} - 0,6 \right)^2 + 185 \right\} \quad (11)$$

$$B = 10^{\left[1,3 - 4 \cdot \left(\frac{w}{T} - 0,5 \right)^2 - 1,14 \cdot \left(\frac{D}{T} \right) \right]} \quad (12)$$

$$p = 1,1 + 4 \cdot \left(\frac{w}{T} \right) - 2,5 \cdot \left(\frac{D}{T} - 0,5 \right)^2 - 7 \cdot \left(\frac{w}{T} \right)^4 \quad (13)$$

O equacionamento do Número de Potência para tanque agitador com impelidor de pás retas e sem chicanas, é apresentado na Eq. (14).

$$N_p = \frac{A}{R_e} + B \cdot \left(\frac{10^3 + 1,2 \cdot R_e^{0,66}}{10^3 + 3,2 \cdot R_e^{0,66}} \right)^p \cdot \left(\frac{H}{T} \right)^{\left(0,35 + \frac{w}{T}\right)} \quad (14)$$

As condições existentes na Eq. 14, A , B e p , são constantes de correlações empíricas de Nagata (1975), e estão explícitas nas Eq. 11, Eq. 12 e Eq. 13. Importante observar que a única diferença para o cálculo do número de potência entra pás inclinadas, Eq. 10, e retas, Eq. 14, é a influência do ângulo de inclinação do impelidor.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos empiricamente serão apresentados e discutidos nesta etapa, realizando uma análise das características de cada tanque agitador e propondo a melhor opção de moto redutor para os sistemas apresentados.

3.1 Tanque agitador de concreto

Previamente ao dimensionamento da potência de acionamento, foi estipulada a redução do redutor coroa/ sem fim que atenda a necessidade do fabricante do tanque. Conforme Eq. 1, para rotação de entrada de 1740 rpm e rotação de saída de 39 rpm, a redução necessária é de 44,61:1, porém esta redução não é fornecida pela Pierini Redutores. Atendendo requisitos do fabricante do tanque, que deseja operar em menor velocidade, foi adotado um redutor 50:1, com rotação no estágio final de 34,8 rpm.

Possuindo o conhecimento das propriedades do fluido a ser agitado e da velocidade de rotação ideal para cálculo, foi então, equacionado o Número de Reynolds, Eq. 9. Devido a elevada viscosidade do fluido, o Número de Reynolds forneceu um valor de pequena magnitude, apresentado na Tab. 3, coincidindo em um fluxo de regime laminar.

Consequente ao Número de Reynolds, foi necessário determinar algumas relações geométricas exemplificadas na Fig. 7, as quais foram dimensionadas a partir das informações presentes na Tab. 1. Em seguida, foi, então, equacionado as variáveis influentes para o número de potência, Eq. 11, Eq. 12 e Eq. 13. As quais podem ser analisadas na Tab.3.

Tabela 3: Variáveis cálculo de potência impelidor pás inclinadas (da autora, 2020).

Descrição	Valor	Unidade
Número de Reynolds	2,03	adm.
<i>A</i>	41,68	adm.
<i>B</i>	0,94	adm.
<i>p</i>	1,55	adm.
Número de Potência	20,67	adm.

O número de potência, Eq. 10, é influenciado pelas relações geométricas do tanque, e pelas constantes A , B e p . Devido ao baixo valor do Número de Reynolds, o Número de Potência exerce elevada influência no dimensionamento da potência, como pode ser observado na Fig. 8. Além de ser determinado a partir das equações apresentadas, o número de potência também pode ser analisado a partir de gráficos pré existentes de tanques com características semelhantes ao estudado, Fig. 10.

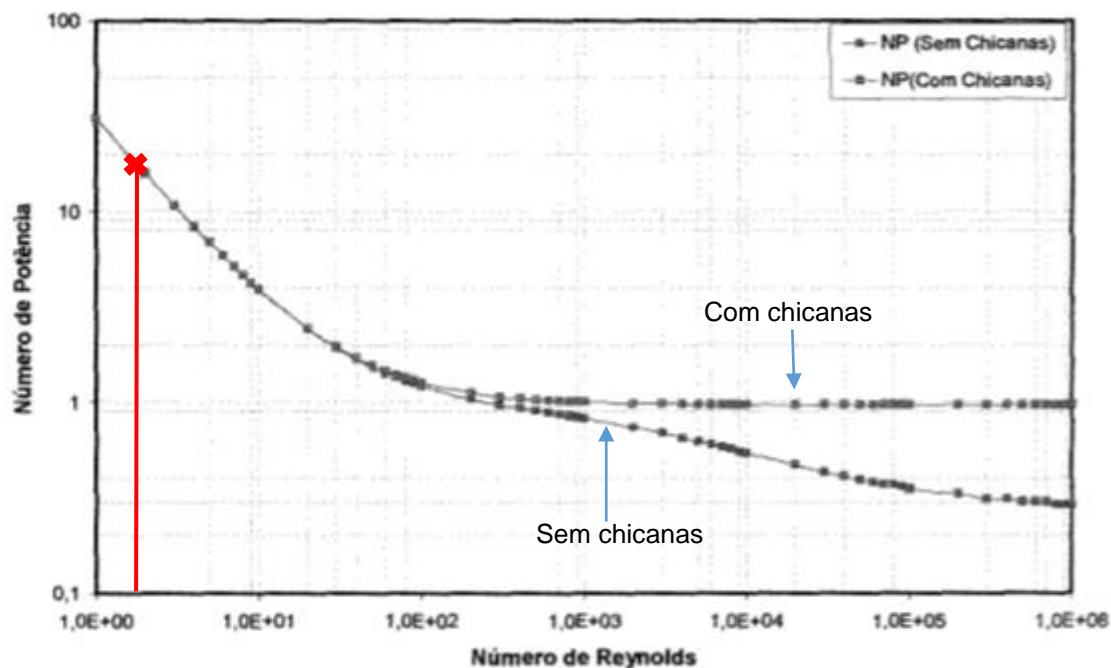


Figura 10: Número de Potência para impelidor pás inclinadas (Baseado em Silva, 2002).

A Fig. 10 apresenta a curva do Número de Potência em relação ao Número de Reynolds para um tanque agitado do tipo pás inclinadas em 45° , e, com as relações geométricas utilizadas neste trabalho. Nota-se a semelhança de valor indicado no gráfico para o então calculado e apresentado na Tab. 3. Portanto comprava-se o Número de Potência, e, é então equacionado a potência necessária para acionamento do tanque, Eq. 4.

Influente ao baixo valor do Número de Reynolds, a potência é influenciada pela viscosidade do fluido, resultando então a um valor de 5562,23 W. Devido ao fato de o redutor ser do modelo coroa/ sem fim, existem, portanto, perdas tribológicas significativas, resultando em um rendimento de 70%. Considerando as perdas, o

acionamento ideal para o tanque agitador de concreto é de 10,8 cv, como esta potência não é comumente comercializada, é então adotado um motor de 12,5cv.

Após a seleção da potência ideal para acionamento, foi também equacionado o torque existente no sistema, Eq. 7. Os fatores que influenciam o torque estão demonstrados na Tab. 4, e, foram determinados a partir das Eq. 6, Eq. 8, e outras relações.

Tabela 4: Variáveis cálculo de torque impelidor pás inclinadas (da autora, 2020).

Descrição	Valor	Unidade
Volume pá	0,157	m ³
Massa pá	1759,29	kg
Força	3205,65	N
Velocidade periférica pá	1,82	m/s

A partir das relações apresentadas na Tab. 4, é possível obter o valor do torque em 1602,82 Nm. Conforme a Eq. 5, a potência dimensionada relacionada ao torque é de 5841,09 W, conferindo a um valor de 7,94 cv. Após a aplicação do rendimento de 70% do redutor coroa/ sem fim, é admitido 11,34 cv. Este valor é próximo ao determinado a partir do Número de Potência, e condiz com o acionamento selecionado de 12,5 cv para o tanque agitador. O conjunto moto redutor utilizado é melhor exemplificado na Fig. 11.

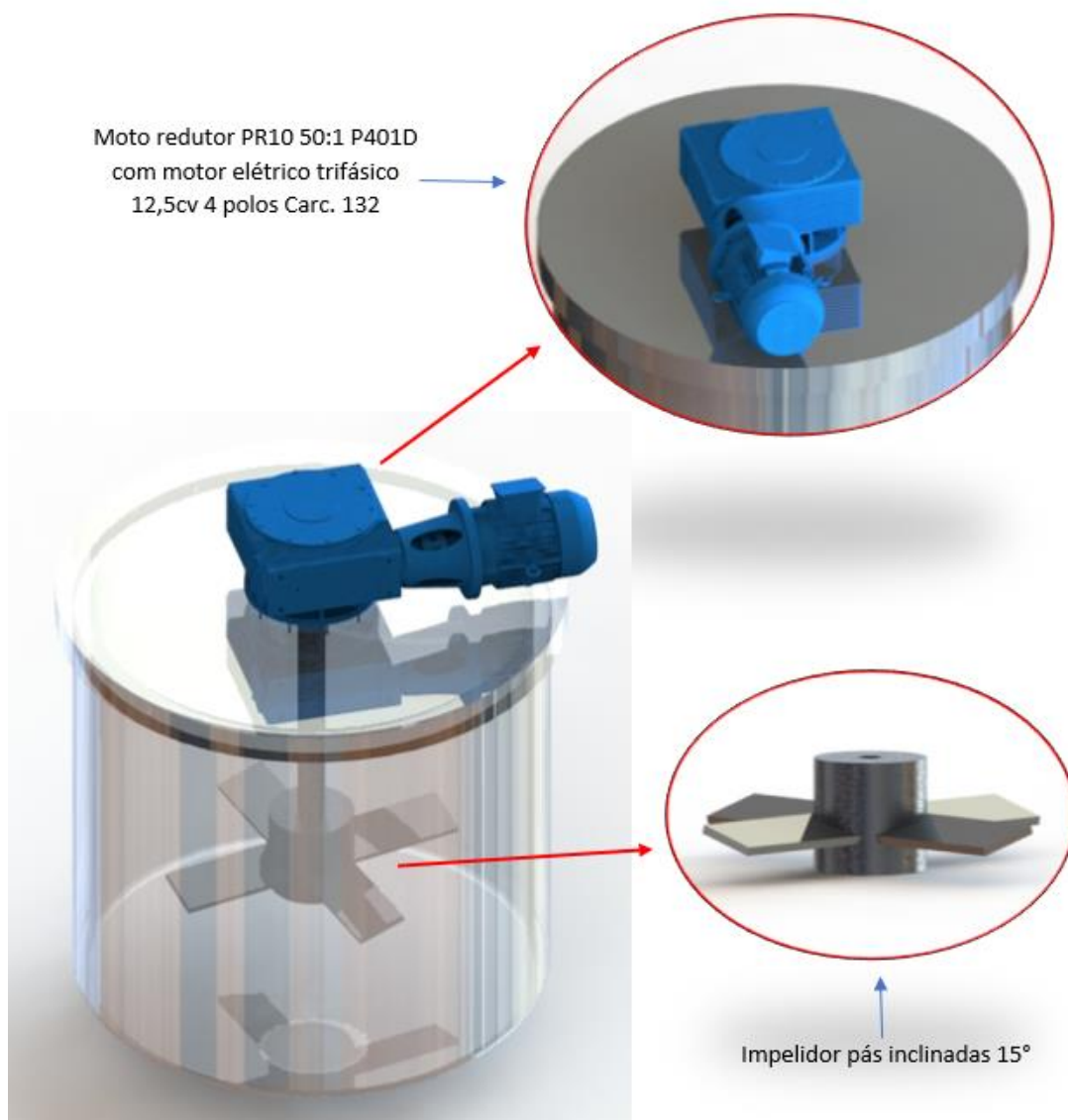


Figura 11: Esquema tanque agitador de concreto acionado por moto redutor (da autora, 2020).

O equipamento dimensionado para atender os requisitos do tanque agitador é o moto redutor PR10 P401D 50:1 acionado por um motor elétrico trifásico 12,5cv 4 polos carcaça 132. Importante analisar que o torque existente no sistema é de 1602,82 Nm e que o moto redutor selecionado atende equipamentos com torque de até 2169,68 Nm. A Fig. 11 apresenta o tanque agitador em transparência para melhor visualização do mecanismo, exaltando então, o modelo do impelidor de pás inclinadas, e o conjunto redutor e motor. Também pode ser observado que o redutor possui eixo de saída maciço que se conecta ao eixo do impelidor, e, flange para fixação no equipamento.

3.2 Tanque agitador de sabão líquido

A velocidade de rotação fornecida pelo fabricante do tanque agitador de sabão líquido, Tab. 2, não é aplicável às reduções fornecidas pela Pierini Redutores. Portanto a velocidade de rotação da saída do redutor que mais se aproxima a desejada pelo cliente, é de 29 rpm, redução 60:1.

Estabelecida a redução do redutor, e tendo o conhecimento das condições geométricas impostas, Fig. 2, e das características do sabão líquido, Tab. 2, é, então, determinado o regime da operação a partir do Número de Reynolds, Eq. 9. A Tab. 5 apresenta os valores do Número de Reynolds, A , B , p , e, Número de Potência.

Tabela 5: Variáveis para cálculo de potência impelidor pás retas (da autora, 2020).

Descrição	Valor	Unidade
Número de Reynolds	1093,61	adm.
A	27,35	adm.
B	1,60	adm.
p	1,14	adm.
Número de Potência	0,79	adm.

O Número de Reynolds, Tab. 5, é inferior a 10×10^4 e superior a 300, sendo classificado no regime transitório. Recorrente ao seu valor a Eq. 3 é adotada para determinar a potência do sistema, pois o fluido encontra-se próximo do regime turbulento. Esta equação considera a densidade do sabão para o cálculo da potência, diferente do realizado para o tanque agitador de concreto, que considera a viscosidade.

As variáveis A , Eq. 11, B , Eq. 12, p , Eq. 13, são influenciadas pelas relações geométricas do tanque, entre elas, diâmetro do tanque, T , diâmetro do impelidor, D , e espessura da pá, w . Estas relações denominam o Número de Potência, em conjunto com o Número de Reynolds.

O Número de Potência, Eq. 14, é caracterizado para um tanque agitado com impelidor tipo pás retas e sem chicanas. Devido ao comportamento do fluido, em regime próximo a turbulento, o Número de Potência não exerce muita influência na potência de acionamento, quanto quando comparado ao regime laminar. Pode ser observado os diferentes valores do Número de Potência para o tanque agitador de

concreto e para o tanque com sabão, considerando em conjunto seus diferentes valores de Reynolds.

A Fig. 8 representa o diferente comportamento do Número de Potência para o Número de Reynolds, e, é então comprovado essa diferente caracterização para os dois tanques. Importante observar que a diferença de viscosidade dos fluidos a serem agitados é uma das maiores responsáveis pela discrepância dos valores de Reynolds e Número de Potência equacionados. A Fig. 12 comprova o Número de Potência equacionado para o tanque de sabão.

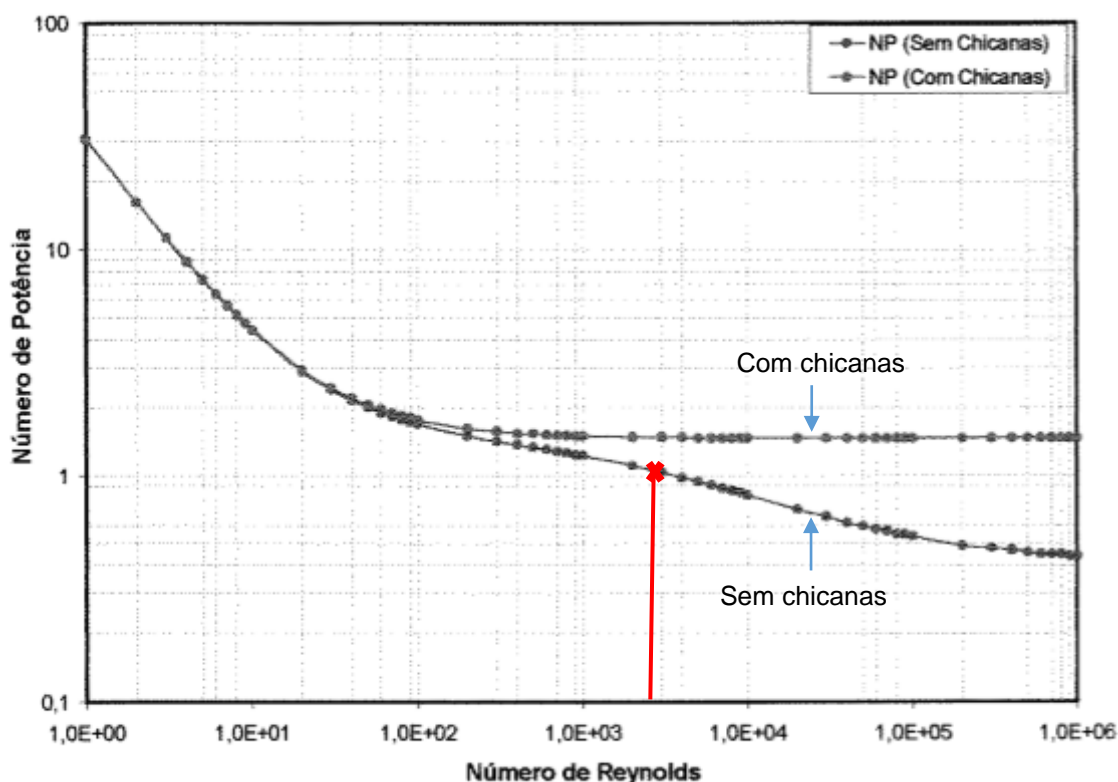


Figura 12: Número de Potência para impelidor pás retas (Baseado em Silva, 2002).

A Fig. 12 apresenta o Número de Reynolds para um impelidor tipo pás retas, com relações geométricas, $D/T = 1/3$, $w = 1/5D$, duas pás e rotação de 180 rpm. Possuindo relações geométricas semelhantes e diferenciando apenas na rotação do impelidor, o gráfico pode ser utilizado para comparar e confirmar o Número de Potência equacionado.

Em consequência do Número de Potência, e das condições pré estabelecidas, é, então, dimensionado a potência ideal para o acionamento do tanque. Considerando as perdas tribológicas do redutor coroa/ sem fim, a potência

dimensionada é de 0,016cv. Devido ao não conhecimento do regime de trabalho e acionamento do tanque, optou-se por utilizar acionamento por motor elétrico de 0,25cv.

Para fornecer maior confiabilidade ao dimensionamento do conjunto moto redutor, foi, também, calculada a potência de acionamento a partir do torque existente no sistema, Eq. 7. As condições essenciais para cálculo estão apresentadas na Tab. 6.

Tabela 6: Variáveis para cálculo de torque impelidor pás retas (da autora, 2020).

Descrição	Valor	Unidade
Volume pá	0,023	m ³
Massa pá	30,12	kg
Força	53,97	N
Velocidade periférica pá	0,896	m/s

O torque equacionado é de 13,49 Nm, conferindo a partir da Eq. 6, uma potência de 40,97 W, aproximadamente 0,0557 cv. Relacionando a eficiência do redutor, obtém-se então, potência de 0,0796 cv. Observa-se novamente valores próximos aos determinadas a partir do Número de Potência, conferindo confiabilidade ao sistema e a escolha do acionamento. A estrutura do tanque agitador de sabão é apresentada na Fig. 13.

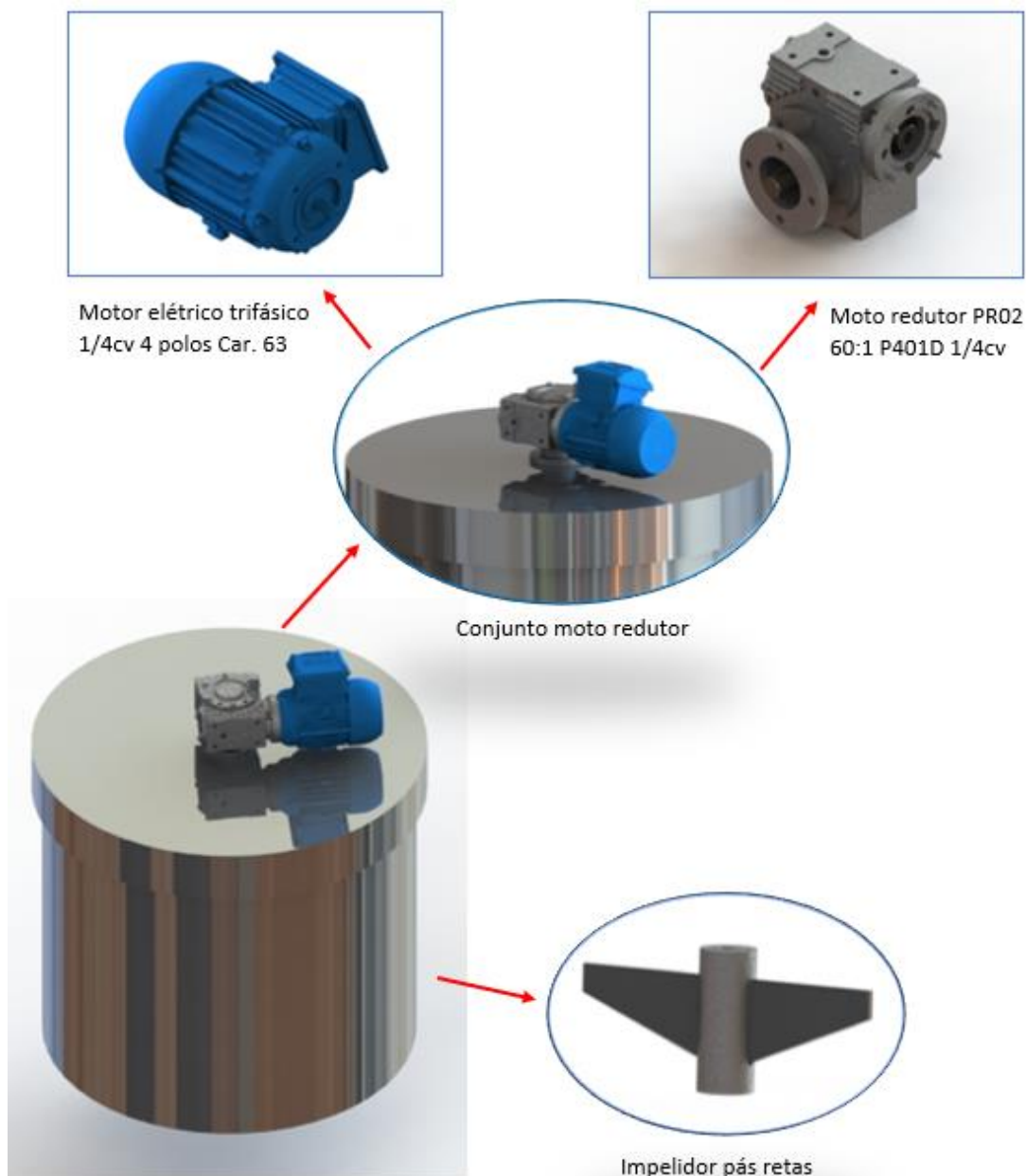


Figura 13: Esquema tanque agitador de sabão acionado por moto redutor (da Autora, 2020).

O redutor apresentado na Fig. 13 é referente ao modelo PR02 60:1 P401D com Flange B14 para fixação de motor elétrico trifásico 0,25cv 4 polos carcaça 63. O torque máximo admitido pelo redutor é de 43,36 Nm, possuindo então capacidade para acionar o sistema. O redutor coroa/ sem fim apresenta os flanges, tanto para fixação do motor quanto para fixação no tanque agitador. Sua carcaça é em alumínio, possuindo então, melhor dissipação de calor. As pás do impelidor são retas, e o eixo do mesmo, é adaptado ao diâmetro do eixo de saída do redutor, para conecta-los e então ter o acionamento do sistema.

4. CONCLUSÃO

Conforme os cálculos realizados a partir de equações empíricas e características dos tanques agitados, foi possível obter valores para a potência de acionamento necessária para realizar a agitação do sistema. Confere-se em estudos previamente realizados a relação entre os números adimensionais de Potência e de Reynolds, que confirmam os valores dimensionados neste trabalho.

Nota-se a influência das propriedades dos fluidos, concreto e sabão líquido, essencialmente a caracterização de suas viscosidades. Componentes em viscosidade elevada possuem pequenos valores para Reynolds, resultando em um regime laminar. Em contrapartida, o sabão líquido, possuindo baixa viscosidade concentrou-se em regime transitório, adotando equações para regime turbulento. Estas diferenças nos tanques estudados comprovaram a partir de gráficos pré existentes a influência do Número de Potência no cálculo da potência de acionamento. Convergindo em menor influência do Número de Potência para elevados valores de Reynolds

A análise do torque referente ao sistema eleva a confiabilidade do equacionamento da potência de acionamento, garantindo a seleção de um mecanismo seguro e eficiente. A partir dos valores determinados foi possível selecionar o moto redutor adequado para cada situação, realizando uma análise completa de todo o sistema e preferências do fabricante.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EDWARDS, M. F. et al. **Heat transfer in agitated vessels**. V. 1. The Chemical Engineer, 1972.

FONSECA, C. C. **Agitação e mistura**. Apostila de operações unitárias I. Universidade de São Paulo – Escola de engenharia de Lorena, SP. Brasil, 2019.

JUNIOR, C. et al. **Agitação e mistura na indústria**. V. único. Rio de Janeiro: Ltc, 2007.

MCCABE, W. L. **Unit operations of chemical Engineering**. Ed. Subsequente. McGraw-Hill College, 1985.

MELCONIAN, S. **Elementos de máquinas**. Ed. 9. São Paulo: Érica, 2008.

NAGATA, S. **Mixing – Principle and Applications**. Kodansha Scientific Books, 1975.

NERY, Leonardo. **Concepção e dimensionamento de um eixo para um tanque agitado industrial**. 2017. 55p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. V. 3. Alemanha: Edgard Blucher, 1971.

PIERINI REDUTORES. **Catálogo técnico**. Criciúma: 2007, 59 p.

SILVA, Ezequias, SABIONI, Lucas. **Sistemas de agitação e mistura**. 2013. 19p. Artigo científico – Faculdade de Tecnologia de Garça – FATEC. Garça, 2013.

SILVA, Jefferson. **Análise crítica das correlações e parâmetros fundamentais em sistemas de agitação**. 2002. 193p. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. **Agitação e mistura**: EQA 5313. Operação unitária de quantidade de movimento. Departamento de engenharia química e de alimentos, SC. Brasil, 20--.

UHL, V. W. GRAY, J. B. **Mixing – Theory and practice**. V. 1. Nova Yorque: Academic Press-New York, 1996.