

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE IMPELIDORES ESPECIAIS
EM MISTURA DE FLUIDOS**

NEUSA MARIA PAVÃO BATTAGLINI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP,
para a obtenção do título de Doutor em Agronomia
Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

AGOSTO- 1998

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE IMPELIDORES ESPECIAIS
EM MISTURA DE FLUIDOS**

NEUSA MARIA PAVÃO BATTAGLINI

Orientador: Prof. Dr. PAULO CEZAR RAZUK

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP,
para a obtenção do título de Doutor em Agronomia
Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

AGOSTO- 1998

À memória de meus pais José e Teresa

Agradeço a todos que colaboraram com este trabalho

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	XI
SIMBOLOGIA - GRANDEZAS - UNIDADES - ABREVIATURAS	XIV
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	9
4.1 Agitação e mistura.....	9
4.2 Impelidores usados.....	17
4.2.1 Âncoras.....	18
4.2.2 Helicoidais.....	20
4.3 Potência consumida pelos agitadores.....	23
4.3.1 Efeitos do número de Froude na potência consumida.....	25
4.3.2 Cálculo da potência consumida.....	31
4.3.3 Potência consumida pelos impelidores âncora e helicoidal.....	32
4.4 Tempo de mistura.....	34
5 MATERIAL E MÉTODOS	38
5.1 Material	38
5.2 Métodos	43
5.2.1 Calibração da rotação do motor.....	43

5.2.2 Preparo dos xaropes.....	45
5.2.3 Caracterização do regime de fluxo.....	46
5.2.4. Tempo de mistura.....	47
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
7 CONCLUSÕES	70
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
APÊNDICE	78
APÊNDICE A	79
APÊNDICE B	115

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Nível de agitação.....	13
2 Intensidade de agitação.....	14
3 Geometria do equipamento.....	40
4 Propriedades físicas dos fluidos à temperatura ambiente (28° C).....	42
5 Especificações do Instituto do Açúcar e cool.....	43
6 Composição do xarope.....	46
7 Massas de açúcar e água.....	46
8 Relações entre o número de Potência e o número de Reynolds para vários fluidos agitados com a âncora convencional.....	52
9 Relações entre o número de potência e o número de Reynolds para vários fluidos agitados com a âncora modificada	52
10 Valores experimentais da rotação, em rpm, dos impelidores quando o vórtice atinge o impelidor.....	56
11 Comparação do desempenho do xarope 40° Brix.....	59
12 Comparação desempenho dos impelidores no xarope 60° Brix.....	59
13 Valores máximos obtidos para a massa específica quando a agitação é feita com o impelidor parafuso – Xarope 40° Brix.....	60
14 Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: glicerina.....	79
15 Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: silicone.....	80

16	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: detergente.....	80
17	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 70° Brix.....	81
18	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido Xarope 60° Brix.....	81
19	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 50° Brix.....	82
20	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	83
21	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: água.....	83
22	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: glicerina.....	83
23	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: detergente.....	84
24	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: silicone.....	84
25	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 70° Brix.....	85
26	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 60° Brix.....	85

27	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 50° Brix.....	86
28	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	86
29	Medidas experimentais para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : água.....	87
30	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : glicerina.....	87
31	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : detergente.....	88
32	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : silicone.....	88
33	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : xarope 70° Brix.....	89
34	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : xarope 60° Brix.....	89
35	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : xarope 50° Brix.....	90
36	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : xarope 40° Brix.....	90
37	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido : água.....	91

38	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : glicerina.....	91
39	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : detergente.....	92
40	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : silicone.....	92
41	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : xarope 70° Brix.....	93
42	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : xarope 60° Brix.....	93
43	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : xarope 50° Brix.....	94
44	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : xarope 40° Brix.....	94
45	Medidas experimentais para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido : água.....	94
46	Energia consumida e tempo de mistura para o parafuso operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	95
47	Energia consumida e tempo de mistura para o fita helicoidal operando em tanque de fundo totesférico, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	97
48	Energia consumida e tempo de mistura para o fita helicoidal operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	100

49	Energia consumida e tempo de mistura para o parafuso operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	102
50	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 60° Brix.....	104
51	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 60° Brix.....	106
52	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 60° Brix.....	107
53	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 60° Brix.....	108
54	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	110
55	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	111
56	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora convencional operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	112
57	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora convencional operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	113
58	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora modificada operando em tanque de fundo reto, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix	113
59	Energia consumida e tempo de mistura para a âncora modificada operando em tanque de fundo toro esférico, sem defletores – Fluido: xarope 40° Brix.....	113

- 60 Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos- Âncora convencional – tanque com fundo toro esférico.....115
- 61 Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos- Âncora convencional – tanque com fundo reto.....115
- 62 Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos- Âncora modificada – tanque com fundo toro esférico.....116
- 63 Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos- Âncora modificada – tanque com fundo reto.....116

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Tipos de âncora.....	19
2 Vários modelos do impelidor fita helicoidal.....	21
3 Variações do impelidor parafuso.....	22
4 Potência, viscosidade, rotação, correlacionadas com o número de Reynolds para a hélice operando num tanque sem quebra-ondas. (Rushton et al., 1950).....	27
5 Curvas do número de potência como função do numero de Reynolds para vários sistemas tanque-agiador, com defletores. (Foust,1975).....	31
6 Bancada usada nos experimentos.....	39
7 Impelidores estudados: 1) âncora convencional; 2) âncora modificada; c3) parafuso e 4) fita lelicoidal	39
8 Diagrama esquemático dos impelidores âncora convencional e modificado.....	40
9 Diagrama esquemático dos impelidores parafuso e helicoidal.....	41
10 Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – Âncora convencional – tanque de fundo reto.....	50
11 Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – Âncora convencional – tanque de fundo toroesférico.....	50
12 Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – Âncora modificada – tanque de fundo reto.....	51
13 Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – Âncora modificada – tanque de fundo toroesférico.....	51

14	Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – Âncora convencional– tanque de fundo reto.....	54
15	Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – Âncora convencional– tanque de fundo toroeférico.....	54
16	Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – âncora modificada – tanque de fundo reto.....	55
17	Número de potência em função do número de Reynolds para diversos fluidos a várias rotações – âncora modificada – tanque de fundo toroesférico.....	55
18	Comparação do desempenho da âncoras convencional e modificada – xarope 40° Brix.....	57
19	Comparação do desempenho da âncoras convencional e modificada – xarope 60° Brix.....	58
20	Comparação do desempenho dos impelidores parafuso e fita helicoidal operando no xarope 40° Brix.....	58
21	Comparação do desempenho dos impelidores âncora convencional e fita helicoidal operando em vaso com fundo reto no xarope 40° Brix.....	59
22	Modelo de fluxo obtido usando a âncora convencional operando em tanque com fundo reto.....	62
23	Modelo de fluxo obtido usando a âncora convencional operando em tanque com fundo toroesférico.....	63
24	Modelo de fluxo obtido usando a âncora modificada operando em tanque com fundo reto.....	64

25	Modelo de fluxo obtido usando a âncora modificada operando em tanque com fundo toroesférico.....	65
26	Modelo de fluxo obtido usando o parafuso operando em tanque com fundo reto.....	66
27	Modelo de fluxo obtido usando o parafuso operando em tanque com fundo toroesférico.....	67
28	Modelo de fluxo obtido com a fita helicoidal operando em tanque com fundo reto.....	68
29	Modelo de fluxo obtido com a fita helicoidal operando em tanque com fundo toroesférico.....	69

SÍMBOLOGIA - GRANDEZAS - UNIDADES - ABREVIATURAS

Símbolo	Grandeza	Unidade	Abreviatura
A	área da seção reta do tanque	metro quadrado	m ²
a	expoente do número de Reynolds		
A', A	constantes		
b	expoente do número de Froude		
C, C ₁ e C ₂	constantes		
c	espaço entre a parede do tanque e o impelidor	metro	m
d	diâmetro do impelidor	metro	m
D	diâmetro do tanque	metro	m
d _s	diâmetro do parafuso	metro	m
E*	força contra-eletromotriz do motor	volt	V
E	energia requerida para homogeneização	joule	J
E _F	força contra-eletromotriz do motor, com o impelidor girando no fluido	volt	V
E _{ar}	força contra-eletromotriz do motor, com o impelidor girando no ar	volt	V
Fμ	fator de viscosidade		
g	aceleração da gravidade	metro / (segundo) ²	m s ⁻²
H	altura do fluido no tanque	metro	m
I	corrente elétrica na armadura do motor	ampère	A
I _a	nível, índice ou intensidade de agitação		

L	comprimento do impelidor	metro	m
N	rotação do impelidor	rotações por minuto	rpm
N _{ar}	rotação do impelidor girando no ar	rotações por minuto	rpm
N _F	rotação do impelidor girando no fluido	rotações por minuto	rpm
N _{Fr}	$N_{FR} = (N^2 d) / (g)$	número de Froude	
N _p	$N_p = (P) / (\rho N^3 d^5)$	número de potência do impelidor	
N _Q	$N_Q = (Q) / (Nd^3)$	número de bombeamento do impelidor	
N _{Re}	$N_{Re} = (Nd^2 \rho) / (\mu)$	número de Reynolds do impelidor	
P	potência	watt	W
P _u	potência mecânica entregue ao eixo do motor	watt	W
Q	capacidade efetiva de bombeamento	metro cúbico / seg.	m ³ s ⁻¹
R	resistência ôhmica da armadura do motor	ohm	Ω
s	passo do parafuso	metro	m
t _C	taxa de circulação s ⁻¹	hertz	s ⁻¹
U	tensão aplicada nos terminais do motor	volt	V
W	largura da pá	metro	m
v _b	velocidade média da corrente de fluido	metro / segundo	m s ⁻¹
μ	viscosidade do fluido	newton.seg. / (m ²)	N s m ⁻²
ρ	densidade do fluido	quilograma / (m ³)	kg m ⁻³
θ	tempo de mistura	segundo	s
Π ₁	número de circulações do produto		

Π_2 número de revoluções do agitador

$1/\beta$ inclinação da reta

α/β interseção da reta

1. RESUMO

Fluidos de viscosidade entre $0,874 \cdot 10^{-3}$ e $787 \cdot 10^{-3} \text{ N m s}^{-2}$ foram agitados pelos impelidores tipos âncora convencional, âncora modificada, fita helicoidal e parafuso em tanques cilíndricos de fundos reto e toro esférico para determinação da potência requerida e do tempo de mistura. Na agitação efetuada com os impelidores centrados houve o aparecimento de vórtices em algumas rotações. As medidas de potência foram efetuadas na região em que o número de Reynolds (N_{Re}) variou de 16 a 70.000 com a âncora convencional e modificada. Os diagramas do número de potência (N_p) em função do número de Reynolds, construídos com os dados experimentais, mostraram que, para todos os fluidos usados, ocorreu um desvio na curva quando o vórtice, formado na superfície do fluido, alcançou os impelidores e teve início a dispersão de ar no interior da massa fluida. A presença de bolhas de ar desenvolveu, no tanque, um sistema de duas fases (líquido-gás), alterando as características dos fluidos agitados. Nos cálculos do número de potência e do número de Reynolds foram utilizados os valores de viscosidade e densidade do fluido, e não os correspondentes ao

sistema líquido-gás o que provocou, provavelmente, o desvio nas curvas. Na região em que o número de Reynolds fica entre 16 e 300 não houve formação de vórtices acentuados com aeração e a curva foi definida pela correlação $N_p = A(N_{Re})^a$, onde A é função do tipo de impelidor e das dimensões do vaso e o expoente a , um valor empírico que varia com o número de Reynolds obtendo a relação $N_p = 19.953(N_{Re})^{-1.7}$. O desempenho dos impelidores na homogeneização foi analisado pela energia requerida para se obter uma mistura de açúcar e água com concentrações correspondentes a 40 e 60° Brix. O método desenvolvido foi baseado na verificação da quantidade de açúcar dissolvida a partir da determinação da massa específica. O tempo de mistura foi definido como sendo o tempo gasto para dissolver uma dada quantidade de açúcar num dado volume de água e a relação $\rho = f(P_v \theta)$ foi usada para comparar a eficiência dos quatro impelidores. O impelidor âncora convencional teve um melhor desempenho no tempo de mistura devido ao tipo de fluxo desenvolvido no fluido atingindo a homogeneização desejada nos tempos: 50 s para o xarope 40° Brix quando agitado no tanque com fundo reto e 95° Brix em tanque de fundo toro esférico; 75 s para o xarope 60° Brix quando agitado em tanque com fundo reto e 260 s em tanque com fundo toro esférico. O impelidor tipo parafuso não alcançou a homogeneização pré-determinada num intervalo de tempo que satisfizesse as condições práticas de operação não sendo, portanto, sua aplicação indicada para as condições previstas nos ensaios.

EVALUATION OF SPECIAL IMPELLERS BEHAVIOUR IN THE MIXTURE OF FLUIDS

Botucatu, 1998. 115 p.

Tese Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura - Faculdade de Ciências
Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista

Author: NEUSA MARIA PAVÃO BATTAGLINI

Adviser: PAULO CEZAR RAZUK

2. SUMMARY

Fluids with viscosity between $(0,874 \text{ and } 787 \cdot 10^{-3} \text{ Nm s}^{-2})$ were agitated by conventional anchor, modified anchor, helicoidal ribbon and screw impellers in cilindric tanks straight and concave (torospheric) bottoms for the measurement of power and time of mixture. The arisal of vortex occurred when agitation was accomplished with centred impellers and in some rotations. The measures of power were obtained in the interval where the number of Reynolds (N_{Re}) varied from 16 to 70.000 with conventional and modified anchor. The diagrams of number of Reynolds in function of number of Froude constructed with experimental data showed that, to all fluids employed, a deflection in the curve occurred when the vortex formed at the surface of the fluid reached the impellers and the dispersion of air inside the fluid mass started. The presence of air bubbles develops in the tank a system of two phases altering the characteristics of the agitated fluids. In the calculations of the number of Reynolds were used the values of the fluid viscosity and density and not ones corresponding to the liquid-gas system, provoking a deflection in the curves. In the interval where the number of Reynolds remains between 16 and 300 the formation of a well developed

vortex with aeration did not occur and the curve was defined by the correlation $N_{Re} = AN_{RE}^A$, where A is function of the type of the impeller and of the dimensions of the tank, and the exponent a , an empirical value, varies with the number of Reynolds. The performance of the impellers in the homogenization was analysed in terms of the energy required in order to obtain a mixture of sugar and water with concentrations corresponding to 40 and 60° Brix. The method developed was based on the verification of the quantity of sugar dissolved from determination of specific mass. The time of mixture was defined, as the time spent to dissolve a quantity of sugar in a given volume of water and the correlation $\rho = f(P_U \theta)$ was used in order to compare the efficiency of the four impellers. The conventional anchor had a better performance in the time of mixture because the flow patterns developed in the fluid and screw did not reach the homogenization at an interval of time that could satisfy the practical conditions of the operation, therefore, its use is not indicated to the conditions foreseen in the experimental practices.

Keywords: agitation, anchor impeller, screw impeller, helicoidal impeller.

3. INTRODUÇÃO

Vários tipos de impelidores podem ser usados para produzir agitação ou mistura em fluidos, fornecendo energia ao sistema por meio da rotação. A energia fornecida, ou a potência, não depende somente do tipo de impelidor e de sua rotação, mas também das características físicas do fluido, da geometria do vaso e da posição relativa de todos os componentes do sistema de agitação. Então, para caracterizar o comportamento de um impelidor é fundamental o conhecimento da interação entre as propriedades do fluido, a geometria do equipamento e as condições de operação.

A rotação de um impelidor dentro de um fluido contido em um vaso movimenta a massa fluida produzindo correntes de circulação. Uma vez que, o modelo de fluxo é estabelecido pelo impelidor, fluido e vaso, qualquer outra alteração na energia ocorrida no sistema é causada pela rotação do impelidor. Portanto, independentemente da capacidade do motor ou de outro mecanismo de fornecimento de energia, a potência consumida pelo impelidor, devido a sua rotação e suas condições de operação em conjunto com a qualidade da mistura produzida, é o principal parâmetro ligado aos processos de agitação ou mistura.

A relação entre a potência consumida pelo impelidor e as propriedades físicas, geométricas e operacionais pode ser representada pela equação $N_p = A (N_{Re})^a (N_{Fr})^b$. O número de Reynolds explica o efeito da viscosidade quando forças viscosas são predominantes e o número de Froude (N_{Fr}), o efeito das forças gravitacionais.

Nos tanques sem defletores, a rotação do impelidor em fluidos de baixa viscosidade, produz o movimento do fluido ao redor do eixo-árvore formando um vórtice cuja profundidade e forma são funções das forças gravitacional e centrífuga. O conteúdo do tanque gira sem produzir quase nenhuma ação de mistura. Além disso, quando a rotação aumenta, há um maior consumo de potência e o vórtice torna-se mais profundo podendo atingir o impelidor. Quando isso acontece parte do impelidor gira no ar e a potência transferida ao fluido diminui. Existe então, um limite para o aproveitamento da energia transferida pelo impelidor. Isso constitui um inconveniente não só do ponto de vista econômico como também na eficiência do processo. A formação do vórtice pode ser evitada com algumas modificações no sistema como o deslocamento do impelidor ou a colocação de quebra-correntes no tanque.

Os estudos dos efeitos do vórtice na potência consumida, durante o processo de agitação, têm sido muito raros durante esses últimos anos e os poucos dados disponíveis na literatura sobre o assunto não se referem a ensaios com impelidores âncora e helicoidal.

O levantamento de algumas características da âncora contribuirá para o estudo da influência do número de Froude, esclarecendo a interação entre os parâmetros experimentais na formação de vórtice.

Atualmente, o fator mais importante no estudo da agitação é a escolha do impelidor que utilizará de forma mais eficiente a potência útil introduzida no sistema. A eficiência é avaliada pela relação entre o tempo de mistura e a potência. Para definir o tempo de mistura é necessário estabelecer o grau de homogeneização desejado no processo, para tanto, as técnicas empregadas, geralmente, consistem em acompanhar a trajetória de uma quantidade de líquido adicionado ao conteúdo do tanque. Dependendo do método, diferentes critérios de avaliação podem ser usados como, por exemplo, a observação visual da mistura de um corante adicionado ao fluido ou a obtenção de informações quantitativas da temperatura em diversas posições no tanque.

As diferentes técnicas de medidas e definições do tempo de mistura podem causar discrepância entre os valores obtidos. Especificamente, neste trabalho, a comparação do desempenho dos impelidores foi baseada na energia requerida, expressa pelo produto entre o tempo de mistura e a potência útil, para atingir o grau de homogeneização desejado pela massa específica. Neste caso, foi usada a relação $\rho = f(P_v \theta)$

Os impelidores especiais como a âncora, fita helicoidal e parafuso são freqüentemente usados na mistura e ou agitação de fluidos altamente viscosos. A aplicação desses impelidores na mistura de fluidos de baixa viscosidade não é prevista na literatura, mas, atualmente, tem sido utilizados em tanque, onde fluidos de viscosidade relativamente baixa, exigem o impelidor tipo âncora para raspar a superfície de troca térmica e ou para diminuir a resistência convectiva interna assim aumentando a transferência de calor.

A prática atual de se utilizar esses impelidores em condições diferentes daquelas normalmente empregadas e a ausência de informações qualitativas e quantitativas

que mostrem a viabilidade do seu emprego foram os fatores principais que motivaram esse trabalho a:

- a) Projetar e construir uma âncora modificada para minimizar o fluxo tangencial.
- b) Levantar as características das âncora convencional e modificada na região em que o número de Reynolds varia de 16 a 70. 000.
- c) Verificar a influência da formação do vórtice no cálculo da potência.
- d) Comparar o desempenho dos impelidores especiais na homogeneização de produtos de baixa viscosidade.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4. 1. Agitação e mistura

Embora os termos agitação e mistura sejam, freqüentemente, usados para identificar a mesma operação, alguns pesquisadores preferem diferenciá-los de acordo com o processo desenvolvido.

O termo mistura é usado por Dumont (1972, p.1810-1), como significando *a combinação uniforme de duas ou mais substâncias para se obter um produto homogêneo* e por Dichey & Fenic (1976, p.144), *para explicar o processo que envolve a produção de uniformidade entre fluidos miscíveis ou imiscíveis*. Para esses autores, a agitação é um termo mais geral, envolvendo *a produção de movimentos no fluido para facilitar a transferência de calor, transferência de massa etc.*

MacCabe & Smith (1967, p.241) referem-se à agitação como *a produção de movimento de um fluido homogêneo dentro de um tanque e, como mistura, a distribuição aleatória de duas ou mais fases inicialmente separadas.*

Para Hixson, segundo Milon & Masson (1972, p.1820-1) agitação é *a operação pela qual se transfere, de uma região para outra, partículas de diferentes fluidos para se obter o resultado desejado o mais rápido possível e com o menor consumo de potência.*

Independentemente dos termos usados, para o entendimento de um ou outro processo são aplicadas as idéias e princípios da mecânica dos fluidos.

Transferência de massa em sistemas heterogêneos, mistura de líquidos, formação de emulsões, transferência de calor e uniformização de temperatura são alguns dos vários processos obtidos com o emprego das operações de agitação ou mistura.

A densidade, a viscosidade do fluido na temperatura de operação e a geometria do tanque são fatores importantes na determinação do melhor sistema de agitação para efetuar uma dessas operações.

O movimento das lâminas no fluido e o fluxo resultante nas paredes do tanque provocam o aparecimento de um atrito característico e de uma força resistente chamada de arraste. A natureza desse arraste são forças internas cuja causa é a viscosidade do fluido.

A viscosidade, considerada pela maioria dos pesquisadores como variável primária no problema de agitação, assim como a densidade, tem influência no valor do número de Reynolds, grupo adimensional que caracteriza o regime de fluxo do fluido.

Segundo Rushton & Oldshue (1953) o número de Reynolds pode ser usado como um critério de estabilidade de fluxo e implica na existência de uma relação entre a tensão cisalhante e a viscosidade que mostra o limite do gradiente de velocidade acima do qual flutuações na intensidade de velocidades de fluxo podem não somente ocorrer como também

persistir. Se, essas flutuações resultam na formação de redemoinhos e na transferência de massa e momento em direções perpendiculares ao fluxo principal do fluido agitado, o fluxo obtido é turbulento. Independentemente de como a turbulência pode ser formada, ela irá persistir somente se as deformações no fluido forem suficientemente intensas para superar o efeito da viscosidade.

Quando o sistema opera na região de fluxo laminar a viscosidade do fluido afeta de maneira direta a potência consumida. Na região turbulenta, é a densidade que mais influi na potência.

Estudos da geometria do tanque realizados por Souza & Razuk (1996) indicam que a relação entre a altura do costado e o diâmetro da tanque deve variar de 0,5 a 1,5, recomendando-se o valor 1,0 para a maioria das aplicações, o que atende aos critérios de estabilidade estrutural. Em tanques altos é necessário um elemento agitador para cada diâmetro de altura do recipiente.

O projeto do sistema de agitação desenvolvido por Dickey (1984) é baseado em “cargas geometricamente quadradas” ou seja, a altura do fluido é igual ao diâmetro do tanque que o contém. Para geometrias diferentes da “carga quadrada” devem ser feitos ajustes convenientes para determinação do número e da localização dos impelidores.

Intensidade de agitação é definida por Rey (1970, p.138) como *a potência dirigida a cada unidade de volume* e é classificada em:

débil : 0 a 96 W/ m³ ; média : 96 a 192 W/ m³ e
 muito grande : superior a 486 W/ m³

Os fabricantes de sistemas de agitação referem-se, normalmente, à potência requerida considerando a água como fluido de trabalho. Entretanto, quando dois agitadores operando em fluidos diferentes e consumindo a mesma potência têm normalmente intensidade de agitação diferentes.

Para quantificar a intensidade de agitação Hicks et al (1976) estabelecem uma escala de 0 a 10, fixando a velocidade imprimida aos fluidos pelas pás na faixa de 6 a 60 ft / min (3,05 a 30,5 10^{-2} m/s). Os índices de agitação de 3 a 6 da escala, segundo os autores, caracterizam, em grande parte, as aplicações industriais.

Os valores da escala de agitação são denominados por Dickey (1984) como níveis ou intensidade de agitação e calculados pela relação:

$$I_a = v_b / 6 \quad (1)$$

Como I_a deve ser expresso sempre por um número inteiro, considera para efeito de cálculo:

$$I_a = \text{int} [(v_b / 6) + 0,5] \quad (2)$$

Assim, estabelecendo uma faixa de valores de v_b que reproduzem a intensidade de agitação requerida.

Embora a escala para a intensidade de agitação seja definida de 1 a 10, existem situações práticas em que ocorrem valores menores que 1 ou maiores que 10.

Um exemplo é dado por Weber citado por Howell et Al (1963) em que a mistura de querosene contida num tanque de capacidade igual a 420.000 gal (aproximadamente $1,6 \cdot 10^6$ l) executa uma volta completa a cada 3 minutos utilizando-se uma hélice fixada lateralmente na parede do tanque. Sendo a carga quadrada e a velocidade média do fluido igual a 1,4 ft/min ($7,1 \cdot 10^{-3}$ m/s) resulta um índice de agitação igual a 0,23.

Souza & Razuk (1996) no Quadro 1 fazem uma comparação entre os níveis de agitação definidos a partir da Eq. (1) com a classificação usada inicialmente, ou seja, baixo, médio e alto.

Quadro 1- Nível de agitação. (Souza & Razuk, 1996)

Baixo		Médio		Alto	
escala de agitação	velocidade média do fluido (m / min)	escala de agitação	velocidade média do fluido (m / min)	escala de agitação	velocidade média do fluido (m / min)
		3	5,4	7	12,6
		4	7,2	8	14,6
1	1,8	5	9,0	9	16,2
2	3,6	6	10,8	10	18,0

Dickey & Hemrajami (1992) definem a intensidade de agitação por meio de uma relação onde estão envolvidas as características do fluido, a rotação e o diâmetro do impelidor :

$$I_a = [6,9 \cdot 10^{-4}] F_\mu [N(D^{*2}/V^{*3})] \quad (3)$$

Sob o ponto de vista de Bowen (1985), praticamente, todas as equações envolvidas no projeto de um agitador são estabelecidas a partir do fato que os resultados do processo ficam determinados pela intensidade de agitação ou pela velocidade média da corrente do fluido, definida em função da capacidade efetiva do agitador:

$$v_b = Q / A \quad (4)$$

A capacidade efetiva do agitador, Q , é uma grandeza que segundo Hicks et Al (1976) representa o volume de fluido deslocado na unidade de tempo. Pode ser

determinada por meio de gráficos que estabelecem as correlações entre o número de Reynolds, N_{RE} , e o grupo adimensional N_Q :

$$Q = N_Q N d^3 \quad (5)$$

O grupo adimensional, N_Q , conhecido por coeficiente de descarga, número de bombeamento ou ainda, número de agitação é interpretado como a eficiência associada à capacidade efetiva do agitador e depende do tipo e modelo geométrico do agitador, da razão entre os diâmetros do agitador e do tanque e também do número de Reynolds.

Freitas (1993) verificou que a viscosidade do fluido altera a capacidade efetiva de bombeamento do sistema. Entretanto, para valores de N_Q compreendidos entre 0,45 e 0,60, impelidores de diâmetros diferentes apresentam a mesma capacidade efetiva de bombeamento e portanto, a mesma intensidade de agitação se operados com rotações diferentes. O autor conclui então, que impelidores de pequenas dimensões girando a altas rotações podem produzir intensidades de agitação iguais aos impelidores grandes e lentos.

O tempo para revolver o conteúdo do tanque, chamado de tempo de circulação também é usado para classificar a intensidade de agitação. Razuk (1992) apresenta no Quadro 2 os seguintes valores:

Quadro 2- Intensidade de agitação. (Razuk, 1992)

agitação	suave	média	violenta
t(s)	180 a 3600	30 a 180	10 a 30

A taxa de circulação é definida pela relação entre a capacidade efetiva do agitador e o volume útil do tanque:

$$t_c = Q/V_0 \quad (6)$$

É importante observar que a velocidade varia muito no interior do tanque de agitação. Apresentando um máximo nas proximidades das partes externas do impelidor, podendo chegar até quase zero nos pontos mais afastados dependendo da geometria do tanque, da viscosidade do produto e da proximidade com a parede.

Multiplicando-se a taxa de circulação do fluido (t_c) pelo tempo de mistura (θ), tem-se o adimensional:

$$\Pi_1 = \theta (Q/V_0) \quad (7)$$

que indica o número o número de circulações do produto no tanque para completa mistura .

Pode-se também relacionar a rotação do agitador com o tempo de mistura através de outro adimensional, obtido pela relação:

$$\Pi_2 = \theta N \quad (8)$$

que fornece o número de revoluções do agitador durante a mistura.

A velocidade do fluido admite três componentes que, por definição, dão o modelo de fluxo no tanque. De acordo com Nagata (1975) as componentes são:

- a) componente longitudinal que atua na direção paralela ao eixo do impelidor e origina o fluxo axial com efeito típico de bombeamento;
- b) componente radial que atua na direção perpendicular ao eixo do impelidor e que produz turbulência no fluido e

c) componente tangencial ou rotacional com direção tangente ao círculo descrito pelo impelidor em rotação e origina um fluxo rotatório.

Tanto a componente radial como a longitudinal contribuem efetivamente para a mistura o que não acontece com a tangencial.

A componente tangencial pode dar lugar à formação de vórtice na superfície livre do líquido e na extremidade das pás que será cada vez mais profundo à medida que aumenta a rotação do impelidor.

O vórtice pode ocorrer durante a agitação de fluidos de baixa viscosidade e, segundo Razuk (1992), é formado quando a componente tangencial da velocidade de fluxo do fluido produz uma camada de fluxo ao redor do eixo árvore, em geral, em escoamento laminar e que praticamente impede a movimentação longitudinal. O fluido quase não sofre tensões de cisalhamento e a única aceleração existente é a radial, dirigida para o eixo de rotação. O conteúdo do tanque gira sem produzir quase nenhuma ação de mistura e uma depressão é formada na superfície livre do fluido podendo avançar ao longo do impelidor caracterizando-se o vórtice.

A formação do vórtice pode ocorrer, segundo Razuk (1992), dependendo das condições de rotação, quando o impelidor está colocado no centro de um tanque sem defletores ou quando aparece muito próximo da superfície do fluido.

Quando o impelidor gira a altas velocidades e seu eixo coincide com o tanque, o vórtice pode alcançá-lo e o gás sobre o fluido é aspirado originando inúmeras bolhas. O tempo necessário para atingir o impelidor decresce com o aumento da rotação e o diâmetro do impelidor.

No caso em que não há formação de vórtice o modelo de fluxo , em tanques agitados, depende do tipo do impelidor. São exemplos de impelidores de fluxo axial a hélice naval e o impelidor de pás retas inclinadas de 45° . Produzem fluxo radial os impelidores turbinas com múltiplas pás retas ou curvas.

Se a altura do costado é maior que o diâmetro, dois ou mais impelidores são montados num mesmo eixo e cada impelidor age como um misturador separado. Duas correntes de circulação são geradas para cada impelidor.

4. 2. Impelidores usados

Muitos são os métodos utilizados para produzir o movimento de fluidos dentro de tanques. O mais comum deles utiliza os impelidores rotativos cujos principais tipos são hélice naval, turbinas de fluxo radial e pás planas.

A escolha do equipamento, para uma dada aplicação, deve estar baseada no conhecimento das propriedades físicas do fluido, do tempo de mistura, da potência consumida durante a operação e de considerações econômicas.

Como as características das misturas de fluidos diferem amplamente, não existe um tipo de impelidor para uso geral. De acordo com Su & Holland (1968) dois grupos de agitadores mecânicos são empregados na mistura de fluidos:

- a) impelidores com pás de pequena área e altas rotações: neste grupo estão incluídos os de pás planas, turbinas com pás curvas e hélices navais e
- b) impelidores com pás de grandes áreas e baixas rotações: neste caso estão a âncora, parafuso helicoidal, pás e grades. Este segundo grupo é mais eficiente que o primeiro na mistura de fluidos de alta viscosidade.

A seleção de impelidores é, de acordo com Ho & Kwong (1973), baseada principalmente na viscosidade do fluido e, em menor grau, no tamanho do tanque. Para fluidos com viscosidade inferior a 1.000.000 centiPoise (cp) existem quatro tipos básicos de impelidores:

- a) hélices, quando a viscosidade é inferior a 3.000 cp;
- b) turbinas, quando a viscosidade está entre 3.000 e 50.000 cp;
- c) pás, quando a viscosidade está entre 50.000 e 90.000 cp ;
- d) pás modificadas (âncoras, helicoidal e parafuso helicoidal) quando a viscosidade está entre 90.000 e 1.000.000 cp e

Os impelidores “Z- blade “ ou Sigma - blade” são as melhores escolhas para fluidos com viscosidade acima de 1 milhão cp.

4.2.1. Âncoras

As âncoras trabalham a baixa rotação. Produzem fluxo tangencial sem interação entre as camadas do fluido agitado. O fluxo axial é produzido adaptando-se chicanas verticais no interior dos tanques. A potência consumida aumenta rapidamente com a rotação e requerem mais energia que os impelidores navais e turbinas. O diâmetro, segundo Milon & Masson (1972), corresponde 0,9 a 0,98 do diâmetro do tanque.

Os impelidores âncoras, segundo esses autores, são empregadas na misturas de produtos pastosos muito viscosos sem limitação de tempo e para dissolver lentamente sólidos que não se depositam muito rápido. São também aconselháveis nas operações de aquecimento ou resfriamento para evitar a formação de depósitos nas paredes do tanque.

Segundo Ho & Kwong (1973) a âncora é encontrado na indústria em quatro tipos: plana; âncora com quebra-ondas; plana com raspador e âncora com raspador e quebra-ondas. Os vários modelos são mostrados na Figura 1.

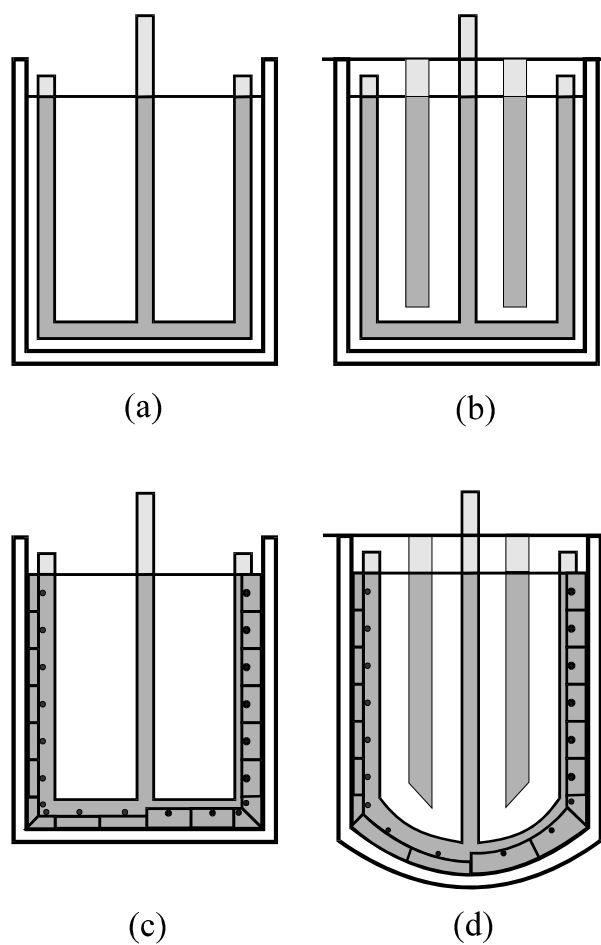


Figura 1. Tipos de âncora. a) plana; b) âncora com quebra-ondas; c) plana com raspador e d) âncora com raspador e quebra-ondas. (Ho & Kwong, 1973).

Ho & Kwong (1973) observam que o impelidor âncora plano sozinho é ineficiente para misturas de fluidos viscosos, particularmente na região laminar, pois, o fluido

gira com o agitador formando uma única massa. Além disso, o agitador produz pouco movimento vertical. A introdução de quebra-ondas entre as pás e o eixo do agitador melhora a circulação vertical do fluido.

Estudos feitos por Beckener & Smith (1966) mostram que o uso desses quebra-ondas, em sistemas com fluido newtoniano aumenta o consumo de potência. Entretanto, não há diferença significativa na potência consumida quando um, dois ou três defletores são usados.

A posição dos quebra-ondas, de acordo com Ho & Kwong (1973), também afeta a potência requerida pelo sistema, em geral, diminui quando são deslocadas para o centro do tanque.

Os raspadores são utilizados quando há necessidade de se evitar estagnação e a queima de produto junto ao costado ou superfície de troca de calor. Removem o fluido quente da parede do tanque para que o fluido frio entre em contato com a superfície aquecida, melhorando as características de transferência de calor do sistema. Segundo Ho & Kwong (1973) o uso do raspador em um sistema de agitação aumenta o consumo de potência devido ao atrito entre a parede do tanque e o raspador.

4.2. 2. Helicoidais

Os impelidores helicoidais podem ser divididos em fita helicoidal e parafuso helicoidal.

As características da fita helicoidal são de ação suave e alta movimentação vertical do fluido a baixas rotações. A mistura ocorre na região laminar com o fluido movendo-se através de caminhos tortuosos.

Existem quatro tipos de fita helicoidal, como mostra a Figura 2: fita simples; fita dupla; simples helicoidal com parafuso no centro e fita quádrupla.

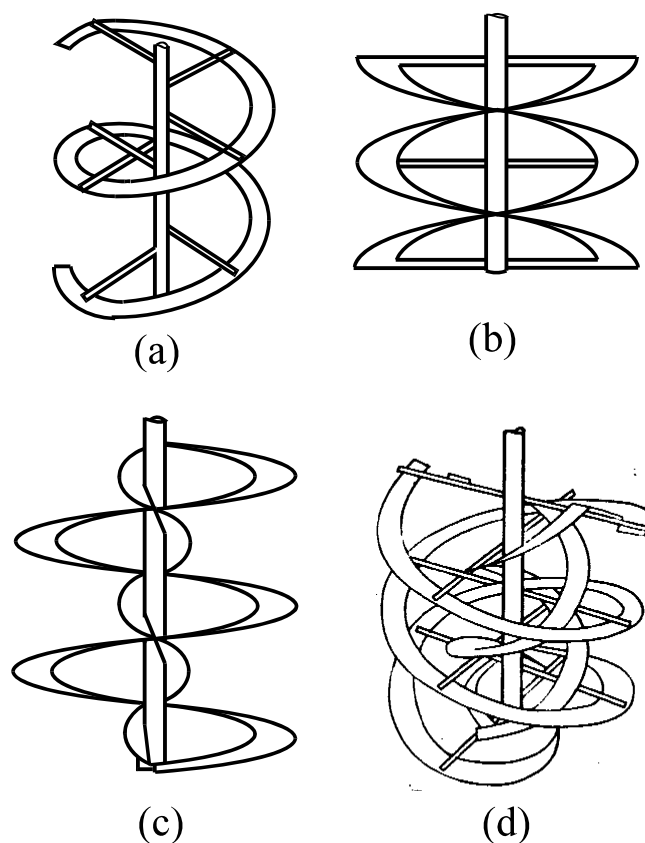


Figura 2. Modelos do impelidor helicoidal. a) fita simples; b) fita dupla; c) fita com parafuso e d) fita quádrupla. (Ho & Kwong, 1973).

Da análise do desempenho dos impelidores fita helicoidal, Ho & Kwong (1973) concluíram que, para o mesmo número de Reynolds, o impelidor de maior diâmetro requer um menor consumo de potência e os helicoidais de quatro faixas consomem a mesma potência que o de duas faixas.

O impelidor parafuso é uma alternativa ao de fitas helicoidais para fluidos de alta viscosidade. A ação de mistura produzida pelo parafuso é devido ao fluxo do líquido à baixa velocidade dentro da massa fluida. Embora somente uma configuração seja possível, muitas variações podem ser obtidas deslocando-se o impelidor dentro do tanque ou incorporando componentes auxiliares tais como quebra correntes e tubos de fluxos. A Figura 3 mostra algumas variações possíveis com este sistema de agitação.

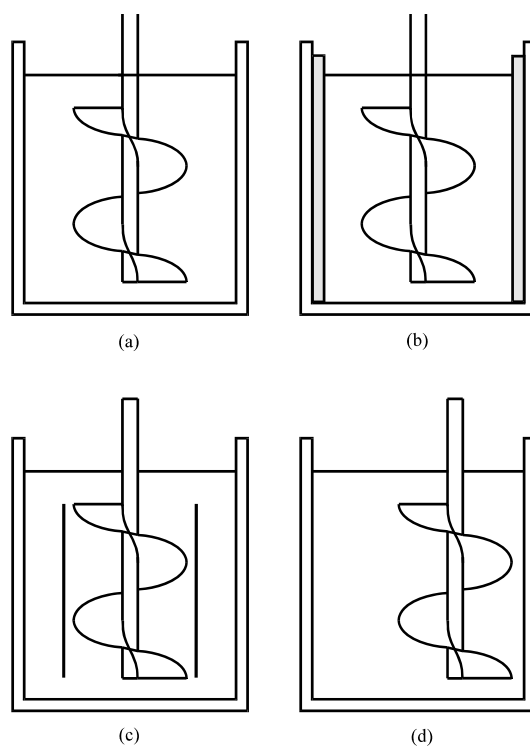


Figura 3. Variações do parafuso: a) sem quebra-ondas; b) com quebra-ondas; c) com tubo e d) deslocado do centro. (Ho & Kwong, 1973).

4. 3. Potência consumida pelos agitadores

A relação entre a potência consumida por um agitador, as propriedades físicas do líquido, a rotação do agitador e suas características dimensionais, segundo vários investigadores entre eles Brown et al. (1963), Novák & Rieger (1974), Foust et al. (1975) e Deák et al. (1985), é expressa por uma função do tipo:

$$P/(\rho N^3 d^5) = f[(Nd^2 \rho)/\mu] \quad (9)$$

O termo $P/(\rho N^3 d^5)$, coeficiente de arraste nos sistemas em agitação, é conhecido como número de potência (N_p) e o segundo termo da Eq.(9), é chamado número de Reynolds (N_{Re}) e é um indicador da presença ou ausência de turbulência em sistemas agitados. Assim, a Eq.(9) pode ser escrita:

$$N_p = f(N_{Re}) \quad (10)$$

Para Perry & Chilton (1973), o fluxo no tanque de agitação é turbulento quando o número de Reynolds é maior que 10.000. Para o número de Reynolds entre 10.000 e aproximadamente 10 tem-se uma região de transição na qual o fluxo é turbulento próximo ao agitador e laminar na região afastada. Se o número de Reynolds for menor que 10 o fluxo é laminar.

Os valores do número de Reynolds usados para classificar o regime de fluxo em sistemas agitados nem sempre são os mesmos para diferentes autores. Para Fasano & Penney (1991) a operação de mistura é turbulenta para $N_{Re} \geq 5.000$. Para Leveau & Bouix (1985) o regime turbulento é caracterizado por um número de Reynolds maior que 10.000.

Dickey & Hemrajani (1992) fazem a seguinte classificação:

a) para $N_{Re} < 10$: escoamento laminar

b) para $10 < N_{Re} < 20\,000$: o escoamento é turbulento nas proximidades do impelidor . Nas regiões mais afastadas a turbulência tende a diminuir, prevalecendo as condições laminares nas vizinhanças das paredes do recipiente.

c) para $N_{Re} > 20\,000$: escoamento turbulento

Ao número de Reynolds, também estão associadas outras características do desempenho dos processos de agitação, tais como: tempo de mistura, razão de bombeamento do impelidor e coeficientes de transferência de calor e massa.

A Eq.(9) não é geral, para sua aplicação, as únicas forças admissíveis no sistema são as forças de inércia e de viscosidade dos fluidos.

Os efeitos gravitacionais adicionais num sistema de agitação sem defletores podem ser incluídos na correlação por um grupo adimensional, chamado número de Froude:

$$N_p = f(N_{Re})(N_{Fr}) \quad (11)$$

O número de Froude representa a relação entre as forças associadas com a energia cinética e as forças associadas com a gravidade. A Eq. (11) é, então é escrita como:

$$N_p = f(N d^2 \rho / \mu)(N^2 d / g) \quad (12)$$

De acordo com McCabe & Smith (1967) os efeitos do número de Froude aparecem quando há formação de vórtice.

Whithe e Brenner, segundo Gluz & Pavlushenko (1967) foram os primeiros pesquisadores que, com a ajuda da análise adimensional formularam uma equação geral mostrando a dependência entre a potência consumida na agitação e os principais

parâmetros envolvidos no processo. Entretanto, não confirmaram experimentalmente a relação proposta:

$$N_p = C \left\{ \left[(\rho N d^2) / \mu \right]^a \left[(N^2 d) / g \right]^b \right\} \quad (13)$$

Rushton et al. (1950) formularam uma equação análoga a Eq. (13), determinando os valores da constante C e dos expoentes “a” e “b” para diversos tipos de agitadores a partir de dados experimentais.

4. 3. 1. Efeitos do número de Froude na potência consumida

A potência consumida mostrada em gráficos por vários autores antes de 1950 segundo Tettamanti et al. (1970) tem uma característica comum que pode ser representada pela Eq.(14) indicando que a potência não é uma função do número de Froude.

$$N_p = A N_{Re}^{-a} \quad (14)$$

Rushton et al. (1950) foram os primeiros a explicar a influência da força gravitacional no cálculo da potência consumida pelos impelidores. Usando a análise adimensional propuseram a correlação:

$$N_p = A N_{Re}^{-a} N_{Fr}^{-b} \quad (15)$$

Para determinar o expoente do número de Froude (b), Rushton et al (1950) consideraram uma função dimensional ϕ , onde :

$$\phi = N_p / N_{Fr}^{-b} \quad (16)$$

e portanto:

$$\log N_p = b \log N_{Fr} + \log \phi \quad (17)$$

O gráfico de $\log N_p$ x $\log N_{Re}$ resulta em uma série de retas correspondendo cada uma delas a um valor do N_{Re} com os valores da inclinação, b , de cada uma dessas retas, colocados em um gráfico em função do número de Reynolds, obtém-se uma reta com inclinação $-1/\beta$ e, para a intersecção da reta quando $N_{Re} = 1$, a constante α/β .

Rusthon et al (1950) então, expressaram o expoente do número de Froude por:

$$b = (\alpha - \log N_{Re})/\beta \quad (18)$$

e o número de potência pela Eq. (19):

$$N_p = C N_{Re}^a N_{Fr}^{[(\alpha - \log N_{Re})/(\beta)]} \quad (19)$$

Em seus experimentos esses autores usando vários tipos de impelidores, notaram que para $N_{Re} < 300$ o vórtice no líquido é pequeno e os números de potência calculados para todos os fluidos pertencem a uma mesma curva, portanto o vórtice não afeta o número de potência. Na região correspondente ao $N_{Re} > 300$ os valores do número de potência para vários líquidos colocados no gráfico N_p x N_{Re} não se alinham a uma curva comum, mesmo que os números de Reynolds sejam iguais. Rusthon et al (1950) uniram os pontos que apresentaram o mesmo número de Froude, e obtiveram as linhas as quais chamaram de iso- Froude.

O diagrama da Figura 4 ilustra com detalhes as curvas iso- Froude correspondentes as várias rotações e as retas inclinadas representando o comportamento dos fluidos.

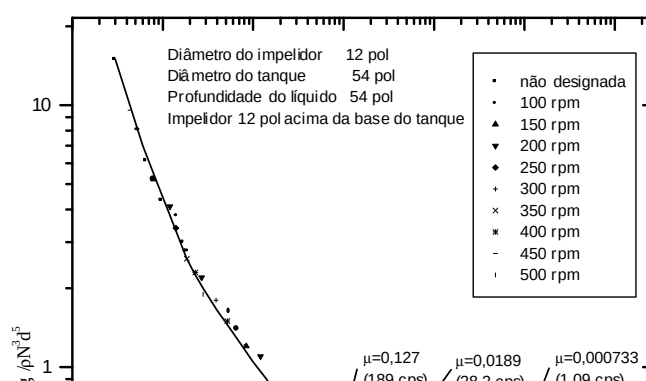


Figura 4. Potência, viscosidade, rotação, correlacionados com o número de Reynolds para o impelidor hélice operando num vaso sem quebra-correntes. (Rushton et al,1950).

Nagata segundo Tettamanti et al. (1970) foi o primeiro, em 1956, a discordar de Rushton et al. (1950) Nagata analisando os resultados de Rushton et al. (1950) concluiu que perdas por fricção no sistema de medidas provavelmente tiveram influência na deformação da curva $N_p \times N_{Re}$.

Nagata (1975) submeteu essa hipótese a um teste cuidadoso usando as mesmas substâncias e um dinamômetro com grande fricção estática e encontrou resultados semelhantes ao de Rushton et al. (1950). Isso levou-o a concluir que os valores observados por Rushton et al. (1950) poderiam incluir erros causados pela fricção estática e assim o termo de correção com a inclusão do número de Froude pode estar errado

Embora Nagata (1975) tenha justificado suas críticas, o conceito de Rusthon et al. (1950) é, segundo Tettamanti et al. (1970), aceito por vários pesquisadores como Uhl & Gra; . Steberback & Johnstone.

É necessário, porém, afirmar que Nagata repetiu os experimentos com tipos de impelidores similares e não exatamente iguais aos de Rusthon et al. (1950).

Tettamanti et al.(1974) investigaram a exatidão da afirmação encontrada muitas vezes na literatura, segundo a qual a potência requerida pelos impelidores nos processos de agitação e ou mistura depende do número de Froude. Eles mostraram que, quando tais efeitos existem, representam menos que 5% da potência consumida e, portanto, no cálculo do número de potência de um sistema de agitação, o efeito do Número de Froude pode ser desprezado.

Os ensaios realizados por esses pesquisadores na região $1 < N_{Re} < 10^5$ mostram que, enquanto o vórtice não atinge o impelidor e a aeração não ocorre, os dados experimentais de qualquer fluido colocados no gráfico $N_p \times N_{Re}$ pertencem a uma mesma curva, denominada “curva padrão”.

Os experimentos realizados por Büche (1937) nas regiões laminar e de transição ($1 < N_{Re} < 10^4$) indicam que a imersão de 1/3 do impelidor no fluido produz aeração no início do processo ocorrendo um desvio na curva padrão. Entretanto, se o impelidor estiver totalmente imerso no líquido não há formação de bolhas de ar e os pontos experimentais pertencem a uma mesma curva no gráfico $N_p \times N_{Re}$.

Dados obtidos por Dickey & Fenic (1976) em experimentos com turbinas mostraram os efeitos das variações das larguras e inclinações das pás no número de potência.

Segundo Nagata (1975) o aumento na largura das pás do agitador provoca um maior consumo de potência, tão mais acentuado quanto maior a viscosidade do fluido. Para fluidos com viscosidade acima de 2.000 cp a potência consumida aumenta linearmente com a largura. Quanto menor o ângulo de inclinação das pás, menor é a potência consumida. O efeito dessa redução depende do número de Reynolds: na medida que ele diminui menos significativa é a influência da inclinação, pois menor é o risco de deslocamento da na região posterior das pás

Ainda, segundo o mesmo autor, a colocação de quebra-correntes provoca um aumento na potência exigida pelo sistema quando comparado a um tanque sem quebra-correntes.

Freitas (1993) observou que a redução da potência num sistema agitado por impelidor de quatro pás retas inclinadas de 45^0 , pode ser conseguida pelo aumento do seu diâmetro.

Quando o eixo-árvore do agitador, segundo Razuk (1992), é deslocado do centro do tanque sem quebra-correntes, a potência consumida aumenta até se estabilizar em um valor máximo de até quatro vezes o inicial. Nesta condição o eixo-árvore está a uma distancia do centro aproximadamente igual a metade do diâmetro das pás

Outras variáveis geométricas também tem influência na potência consumida, embora menores que a geometria do impelidor. Essas variáveis incluem a distância entre o impelidor e o fundo do tanque, espaçamento entre as pás em sistema com múltiplos impelidores e o número e a largura das pás.

Os efeitos dessas variáveis num sistema com turbinas de pás planas operando a altos valores de número de Reynolds num vaso com quebra-correntes é resumida por McCabe & Smith (1967) :

- a) aumentando a razão entre o diâmetro do tanque e o diâmetro do impelidor, aumenta o número de potência quando as pás são estreitas e em pequeno número e diminui quando são largas e em grande número;
- b) o efeito da razão entre a distância da pá ao fundo do tanque e o diâmetro do impelidor depende do modelo da turbina;
- c) a influência da razão entre a largura das pás e o diâmetro do impelidor no número de potência depende do número de pás. Para impelidores com seis pás o número de potência aumenta diretamente com essa relação;
- d) quanto menor o ângulo de inclinação das pás com a horizontal menor é a potência consumida;
- e) dois impelidores de pás retas, dispostos no mesmo eixo, requerem mais potência que um impelidor sozinho, desde que o espaçamento entre os dois impelidores seja no mínimo igual ao diâmetro do impelidor e
- f) a forma do tanque tem, relativamente, pouco efeito no número de potência.

4. 3. 2. Cálculo da potência consumida

Os experimentos de Nagata (1975) em sistemas agitados, mostram que, para vários tipos de impelidores, em fluidos de diferentes viscosidades é possível a

construção de gráficos ilustrando a variação do número de potência em função do número de Reynolds.

Na Figura 5, encontram-se vários gráficos típicos do número de potência em função do número de Reynolds. Nota-se que, para tanques com defletores (quebra ondas, quebra correntes), os dois limites da curva tem as mesmas características para todas as curvas de potências :

a) para número de Reynolds baixos, $N_{Re} < 10$

$$N_p = \text{constante} / N_{Re} \quad (20)$$

b) para número de Reynolds alto, $N_{Re} > 10.000$

$$N_p = \text{constante} \quad (21)$$

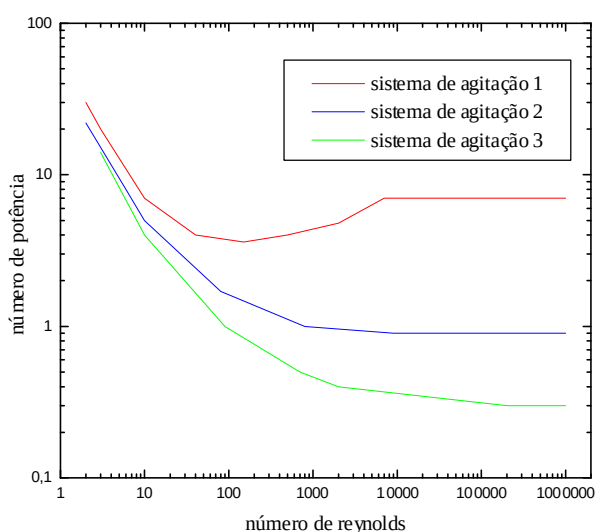


Figura 5. Curvas do número de potência como função do número de Reynolds para vários sistemas tanque-agitadores, com defletores. (Foust et al., 1975).

Para a região de fluxo laminar, $N_{Re} < 10$, onde a força inercial pode ser desprezada em relação a força viscosa, Rusthon & Oldshue (1953), Nagata (1975), Dickey & Fenic (1976), indicam a equação (16):

$$N_p = f(N_{Re})^{-1} \quad (22)$$

ou,

$$P = A' \mu N^2 d^3 \quad (23)$$

Para a região turbulenta, $N_{Re} > 10.000$, onde a curva que representa a variação do número de potência em função do número de Reynolds tende a ser horizontal, a relação apresentada por Rushton & Oldshue (1953); McCabe & Smith (1967); Nagata (1975) e Leveau & Boiux (1985) é:

$$P = A \rho N^3 d^5 \quad (24)$$

Os valores de A e A' dependem do modelo do impelidor, considerando a inclinação, largura das pás, diâmetro do tanque, etc.

4.3.3. Potência consumida pelos impelidores âncora e helicoidal

Na agitação de fluidos newtonianos e não-newtonianos com âncora, turbina e impelidores de três e quatro pás retas Calderbank & Maoo-Young (1961) determinaram experimentalmente que, para a região laminar, o número de potência é independente dos fatores geométricos, isto é, o fator geométrico é constante para todos os tipos de impelidores por eles usados e definido por:

$$N_p = 6,3(N_{Re})^{-1} \quad (25)$$

Como o número de Reynolds definido pelas Eq. (9) diz respeito somente ao impelidor e ao fluido, não sendo afetado pelo tanque, cada impelidor é correlacionado por um diferente valor de A na Eq. (14). O número de Reynolds segundo

Foresti & Liu (1959) deveria descrever o sistema completo (impelidor e tanque) e eliminar a família de curvas de potência usuais.

O cálculo da potência consumida pelos impelidores âncora, fita helicoidal e parafuso helicoidal foram determinados para fluidos newtonianos e pseudo-plástico nas regiões laminar e de transição por Deák, Havas & Sawinsky (1985) usando a relação:

$$N_p = A/N_{Re} + C_2(L/d) \left[(10^3 + 1,2N_{Re}^{0,66}) / (10^3 + 3,2N_{Re}^{0,66}) \right] \quad (26)$$

onde,

$$A = C_1(L/d)(D/c)^{0,45} \quad (27)$$

Para a âncora com $N_{Re} \leq 30$ e a fita helicoidal com $N_{Re} < 100$ o segundo termo da equação (26) pode ser desprezado.

Segundo os mesmos autores a potência consumida por esses dois impelidores é diretamente proporcional ao comprimento do impelidor, e na região laminar, a potência depende intensamente do espaço entre a parede do tanque e o impelidor. Na região de transição o efeito dessa distância diminui com o aumento do número de Reynolds.

Os efeitos da inclinação e do número de passos foram estudados por Hall & Godfrey (1970) com três configurações diferentes em substâncias newtonianas e mostraram que o impelidor com o dobro do número passos consome, aproximadamente, o dobro da potência, sendo que o mesmo não acontece quando a área é dobrada

Chapman & Holland (1965) realizaram experimentos com dez diferentes configurações do parafuso. Os impelidores usados apresentaram uma razão elevada

entre o comprimento e o diâmetro do parafuso, diferentes inclinações e valores entre a razão da altura do fluido e o diâmetro do tanque. Para o impelidor parafuso colocado na posição central do tanque sem defletores seus resultados experimentais foram expressos na forma:

$$N_p = \left(260/N_{Re}^{0,9}\right) (d_s/s)^{(2,38 - \log N_{Re}/1,74)} (d_s/D)^{(2,18 - \log N_{Re}/3,56)} \quad (28)$$

se,

$$(d_s/s)^y (d_s/D)^z \cong 1 \quad (29)$$

$$N_p = 260/N_{Re}^{0,9} \quad (30)$$

Novák & Rieger (1969) comparando os resultados de seus experimentos com impelidores helicoidais com os obtidos por Chapman e Holland (1965) encontraram diferenças entre as correlações empregadas. Os autores analisam que a correlação usada por Chapman e Holland (1965) não apresenta linearidade quando plotada em coordenadas logarítmicas e também o expoente do grupo adimensional, N_{Re} , difere do valor - 1,0 característico para o fluxo laminar de fluidos.

4.4. Tempo de mistura

Tempo de mistura é o período necessário para obter o grau de homogeneização desejado. A dependência do tempo de mistura com outras variáveis pode ser expressa introduzindo o grupo adimensional ($N\theta$):

$$N\theta = f'(N_{Re}) \quad (31)$$

que é aplicado na homogeneização de líquidos com densidade e viscosidade iguais.

A forma da relação (31) depende do modelo de fluxo no fluido. Para aos impelidores fita e parafuso, produzindo movimento em fluido de alta viscosidade, a Eq.(31) tem a forma da Eq.(32), cuja constante B depende somente da geometria:

$$N\theta = B \quad (32)$$

As técnicas de avaliação da homogeneização em vasos agitados são, segundo Hoogendoorn & Hartog (1967), geralmente acompanhadas pela trajetória de uma quantidade de um líquido adicionado ao conteúdo do vaso. Dependendo do método empregado, diferentes critérios de avaliação são usados, isto é:

- a) condutividade ou método do pH: neste método a condutividade ou a determinação do pH é o teste mais importante após o processo de agitação;
- b) método térmico: neste, uma pequena quantidade de um líquido aquecido (20 – 40° C) é adicionado ao fluido do tanque. Durante a homogeneização pares termostatos localizados em diversas posições no tanque dão informações quantitativas da temperatura durante o processo de mistura.
- c) método de adição de cor: com esse método a mistura é observada visualmente quando um corante é adicionado a um líquido claro. Esse processo possibilita visualizar com facilidade os estágios iniciais. Entretanto, no estágio final todo o conteúdo do tanque está praticamente colorido dificultando as observações das alterações.
- d) método das descolorações: apresenta uma melhor observação no estágio final. Esse método consiste em uma rápida reação química na presença de um indicador, que pode ser uma reação ácido-base com fenolftaleína ou uma reação entre o iodo e o tiossulfeto de sódio na presença de uma solução de amido. Neste teste uma porção do líquido inicialmente colorida torna-se

gradativamente mais clara a medida que o processo se desenvolve e zonas estagnadas aparecem como manchas coloridas enquanto o conteúdo do tanque já está claro.

Gray (1963), no estudo de misturas na região laminar, usou o método da adição de cores encontrando um tempo de mistura menor que o de Nagata (1975), provavelmente devido às dificuldades de visualização no estágio final do processo.

Novák & Rieger (1969) usaram o método da condutividade definindo como tempo de mistura o tempo no qual as flutuações da condutividade elétrica são menores que $\pm 2\%$ da alteração total da condutividade, enquanto que Hoogendoorn & Hartog (1967) definem o tempo a partir do instante em que a flutuação de concentração permanece menor que $\pm 25\%$ da alteração total de concentração.

Para definir o tempo de mistura é necessário estabelecer o grau de homogeneidade desejado. Em geral, segundo Hoogendoorn & Hartog (1967), é definido como o tempo acima do qual a concentração das trajetórias demarcadas pela coloração (ou temperatura) em porcentagem do volume difere da concentração (ou temperatura) final menor que $\pm (100 - p)\%$.

Novák & Rieger (1974) compararam a eficiência da âncora e fitas helicoidais simples e dupla na homogeneização de líquidos viscosos usando a correlação:

$$(P \theta^2) / (\mu D^3) = f^*[(D^2 \rho) / (\mu \theta)] \quad (33)$$

Segundo Novák & Rieger (1969) a quantidade mais importante que deve ser considerada na comparação entre sistemas de agitação com configurações diferentes é a energia necessária para conseguir a homogeneização do produto.

Para expressar a relação entre a energia e as variáveis que caracterizam um sistema de agitação, usaram a Eq.(34):

$$(E \theta) / (\mu D^3) = f''[(D^2 \rho) / (\mu \theta)] \quad (34)$$

A correlação (34) permitiu comparar a energia consumida na homogeneização das soluções aquosas de glicerol e xarope de milho com viscosidades entre 1 a 10^4 cp usando o parafuso helicoidal com tubo de ar, com quebra correntes nos tanques, na posição central e próximo à parede do tanque sem quebra corrente. Com seus experimentos concluíram que, na região laminar, o sistema com o impelidor deslocado do centro do tanque é mais vantajoso. Os mesmos resultados foram obtidos por Gray & Chapman e Holland (1965), sendo o sistema com o impelidor colocado no centro do vaso o menos eficiente de todos os sistemas investigados.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Material

O trabalho experimental foi desenvolvido em dois tanques cilíndricos equipados com impelidores. Os tanques, com fundos reto e toro esférico, com diâmetro 0,130 m, capacidade de 2,360 l e sem defletores no costado, foram construídos em vidro transparente. Em todos os ensaios a altura do nível do fluido foi fixada como sendo igual ao diâmetro do tanque e os impelidores operados na posição central.

O acionamento consistiu-se de um motor de corrente contínua, Lavill, de excitação independente com potência 220,65 W (0,3 cv), corrente 1,4 A e tensão nominal 180 VC, acoplado a um variador eletrônico de velocidade Lavill. Um sistema de acoplamento do eixo-árvore do motor ao dos impelidores foi utilizado. Bancada está mostrada na Figura 6.

A potência requerida na agitação e/ou mistura foi calculada indiretamente pelos valores de tensão e corrente lidos em multímetros digitais Dawaer Dm 2020. O tempo foi medido pelo cronometro Sporty-Stop-Watch e a rotação dos impelidores por um tacômetro digital Mitutoyo.

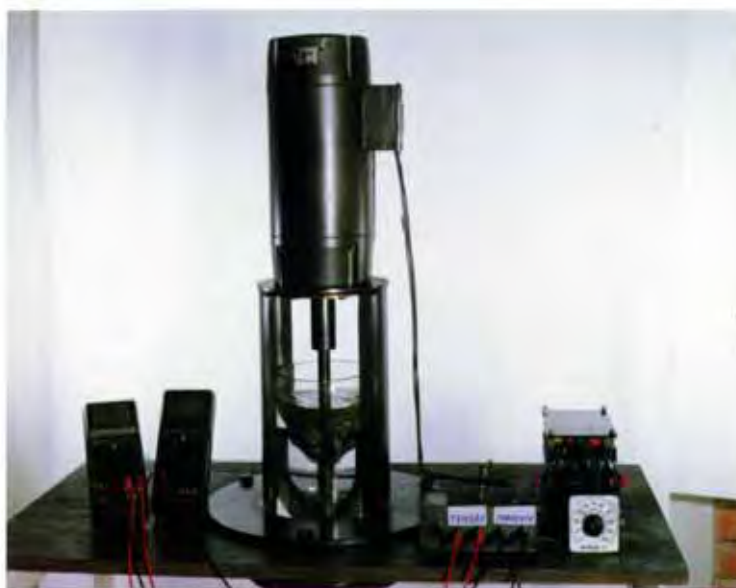


Figura 6. Bancada usada durante os ensaios.



Figura 7. Impelidores estudados: 1) âncora convencional; 2) âncora modificada; 3) parafuso
4) fita helicoidal.

Nos experimentos, quatro tipos de impelidores foram usados: âncora convencional, parafuso, fita helicoidal e âncora modificada, construídos em aço inoxidável, sustentados por eixos maciços de comprimento 0,255 m, acoplados diretamente ao eixo do motor e introduzidos verticalmente pelo topo do tanque. Os impelidores estão mostrados na Figura (7), os detalhes geométricos estão no Quadro 3 e o diagrama esquemático de cada um deles é mostrado nas Figuras (8) e (9).

Quadro 3. Geometria do equipamento

Impelidor	d / D	W / D	h / D	s / d	H / D
Âncora convencional	0,9	0,1	0,9		1
Âncora modificada	0,9	0,1	0,9		1
Parafuso	0,5		0,9	0,6	1
fita helicoidal	0,95		1,1	0,5	1

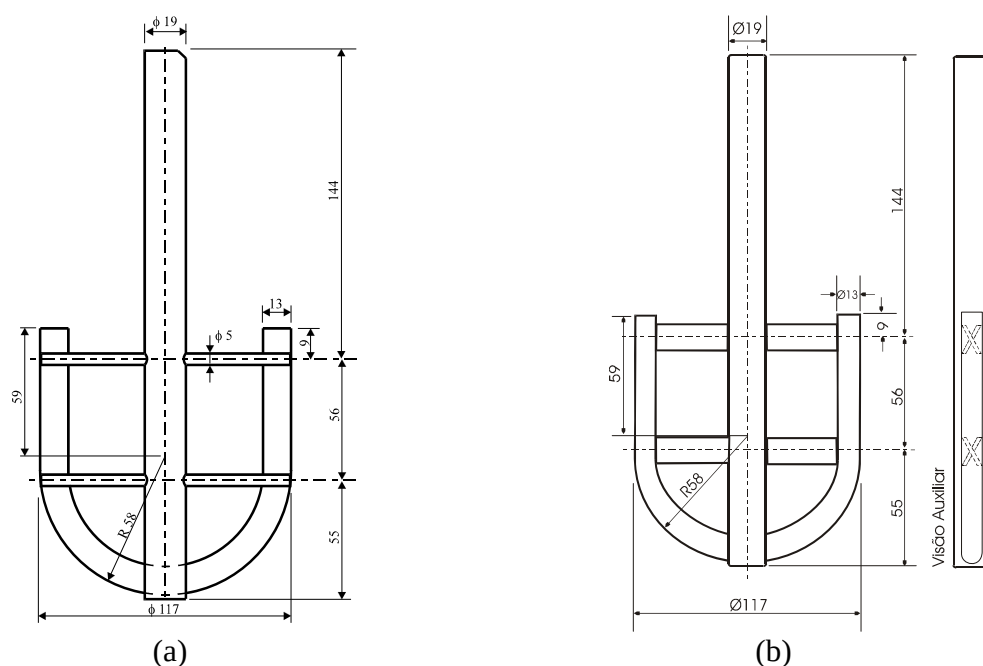


Figura 8. (a) Impelidor âncora convencional; (b) impelidor âncora modificada

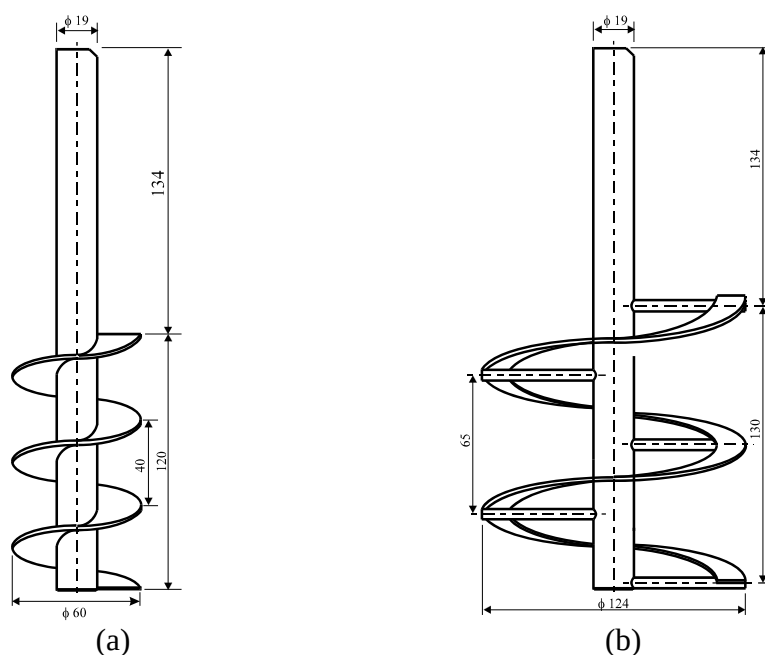


Figura 9. (a) impelidor parafuso; (b) impelidor helicoidal

Os líquidos usados foram água, silicone líquido, detergente, solução de glicerina e soluções aquosas de açúcar nas concentrações 40, 50, 60 e 70⁰ Brix. Os valores da viscosidade e da densidade da água, na temperatura correspondente aos ensaios, foram fornecidos pelo livro Lange's Handbook of Chemistry. Os outros líquidos, tiveram a viscosidade e a densidade determinadas pelo viscosímetro Rheotest 2-1 e pela balança de Mhor-Westphall respectivamente. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente, medida com um termômetro de mercúrio graduado em 0,5⁰ C, imerso no fluido, colocado entre o eixo do impelidor e a parede do tanque. Os valores da viscosidade e densidade dos fluidos nas temperaturas de ensaio estão reunidos no Quadro 4.

Quadro 4. Propriedades físicas dos fluidos utilizados

fluidos	Temperatura (°C)	massa específica $10^3 \text{ (kg / m}^3 \text{)}$	viscosidade $10^{-3} \text{ (N s m}^{-2} \text{)}$
água	26	0,997	0,874
silicone	23	0,940	460
glicerina	26	1,250	787
detergente	25	1,013	580
xarope 40 ⁰ Brix	25	1,176	4,80
xarope 50 ⁰ Brix	20	1,229	16,7
xarope 60 ⁰ Brix	25	1,286	44,5
xarope 70 ⁰ Brix	20	1,347	490

Para o preparo da solução aquosa de açúcar ou simplesmente xarope, empregou-se a água deionizada e o mesmo lote de açúcar cristal comprado em supermercado.

A composição química do açúcar impressa na embalagem é:

sacarose	99,5 - 99,8%;
glicose e frutose	0,03 - 0,1 %;
umidade	0,05 - 0,1%;
sais minerais	0,04 - 0,1 %.

De acordo com as especificações do Instituto do Açúcar e do Alcool, apresentadas no Quadro 5, o açúcar cristal usado pode ser classificado como especial ou superior. O açúcar cristal superior destina-se principalmente às indústrias de alimentos e o especial para o empacotamento e venda ao consumidor.

Quadro 5. Especificações do Instituto do Açúcar e do Alcool para o açúcar cristal.

parâmetros	standart	superior	especial
teor de sacarose (%)	99,3	99,5	99,7
Umidade (%), máximo	0,15	0,10	0,10

5.2. Métodos

5.2.1. Calibração da rotação do motor

O comportamento elétrico de um motor é determinado pela força contra- eletromotriz que expressa a energia elétrica convertida em mecânica e pela resistência interna que determina as perdas por efeito Joule, relacionadas segundo Gray-Wallace (1967):

$$U = E + R I \quad (35)$$

multiplicando os dois membros pela corrente elétrica que atravessa o motor, tem-se:

$$U I = E I + R I^2 \quad (36)$$

O termo UI representa a potência elétrica total fornecida pelo motor; EI a potência transformada em mecânica e RI^2 a potência elétrica dissipada em calor.

Como nos motores elétricos, em geral, a potência mecânica é obtida pela rotação do eixo, impedindo-se sua rotação, ou seja, com o motor bloqueado, não há transformação de potência elétrica em mecânica, portanto a força contra-eletromotriz é nula e a Eq. (36) se reduz a:

$$R = U/I \quad (37)$$

O motor comportando-se assim, como um resistor pode ter sua resistência interna determinada a partir de medições da tensão aplicada aos seus terminais e das correspondentes correntes elétricas.

A resistência interna do motor usado no acionamento dos impelidores foi, portanto, calculada, em uma série de ensaios com o motor bloqueado, pela relação (37) com os valores de tensão e corrente medidos, simultaneamente, por um voltímetro e um amperímetro.

As rotações dos impelidores, girando no ar, foram ajustadas no intervalo de 40 a 550 rpm pelo variador eletrônico de velocidade e medidas diretamente por um tacômetro digital.

Com o objetivo de se obter o melhor valor possível para cada rotação e minimizar a influência dos erros de medição nos resultados, optou-se, também, por determinar seus valores correlacionando-os com a tensão e a força contra-eletromotriz medidas durante o processo. Assim, obteve-se as relações:

$$N = f(U) \quad (38)$$

$$N = f(E) \quad (39)$$

As variações nas medidas devido ao processo de medição foram reduzidas repetindo-se 10 vezes cada uma das medições, uma vez que o valor médio de uma série de dados apresenta um erro estatístico menor. O procedimento de repetir medidas permite avaliar a incerteza estatística no resultado final, a partir da flutuação dos resultados.

Devido as dificuldades práticas para medições diretas da rotação, quando os impelidores giraram dentro dos fluidos, os valores das mesmas foram calculados por:

$$N_F = (N_{ar})(E_F/E_{ar}) \quad (40)$$

A força contra-eletromotriz gerada no induzido de um motor depende, das características de construção do motor, do fluxo por polo, da rotação e segundo Gray-Wallace (1967) podem ser relacionadas por:

$$E_g = K\phi N \quad (41)$$

Da relação entre as equações quando o motor funciona em vazio e com o eixo imerso em um fluido, obtém-se a Eq.(40).

Os valores efetivos da rotação foram considerados como sendo a média aritmética dos valores obtidos nos três diferentes processos de medição.

5.2.2. Preparo dos xaropes

Os xaropes usados nos experimentos foram preparados pela mistura de açúcar cristal e água deionizada em proporções adequadas a atingir 40, 50, 60 e 70^o Brix.

O grau Brix, freqüentemente empregado no preparo do xarope de açúcar, representa a porcentagem em massa do açúcar no produto final. Por exemplo, para 1,000 l de xarope a 60^o Brix cuja massa específica deve ser 1,286 10³ kg m⁻³ são utilizadas as seguintes quantidades: massa do açúcar = (0,6) 1,286 / 1000 = 0,772 kg e massa de água =(0,4) 1,286 / 1000=0,514 kg.

O Quadro 6 apresenta a massa específica em função do grau Brix e as quantidades relativas de açúcar e água para o preparo do xarope.

Quadro 6. Composição do xarope.

Brix (^o)	massa específica (10 ³ kg m ⁻³)	quantidades para 1 litro de xarope	
		água (kg)	açúcar cristal (kg)
40	1,176	0,706	0,470
50	1,229	0,615	0,615
60	1,286	0,514	0,772
70	1,347	0,404	0,943

As massas de açúcar e água usadas no preparo do xarope calculadas a partir dos dados do Quadro 6 estão apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7. Massas de açúcar e água usadas no preparo do xarope.

xarope (^o Brix)	açúcar (10 ⁻³ kg)	água (10 ⁻³ kg)
40	940	1412
50	1230	1230
60	1544	1020
70	1886	808

5. 2. 3. Caracterização do regime de fluxo

Os fluidos água, glicerina e detergente foram colocados nos tanques e os impelidores acionados em diferentes rotações. Para cada rotação mediu-se a tensão e a corrente elétrica correspondente.

Os testes com o xarope, que permitiram a obtenção da potência, foram iniciados somente após a obtenção de uma solução homogênea. Durante alguns ensaios foram feitas fotografias que permitiram a análise do modelo de fluxo.

Como a agitação foi efetuada em vasos sem defletores e com os impelidores centrados houve, com algumas rotações, o aparecimento de vórtices com aeração.

A potência útil entregue ao impelidor e o número de potência em cada experimento foram calculados pelas relações (42) e (43) respectivamente e colocadas em função do número de Reynolds:

$$P_U = EI \quad (42)$$

$$N_p = (P_U)/(\rho d^5 N^3) \quad (43)$$

5. 2. 4. Tempo de mistura

Para a verificação da homogeneidade foi desenvolvido um método diferente daqueles apresentados na literatura. Esse método baseou-se na verificação da quantidade de açúcar dissolvida a partir da determinação da massa específica. O tempo de mistura foi definido como o tempo gasto para dissolver uma dada quantidade de açúcar num dado volume de água.

Com o açúcar já no recipiente, acrescentava-se lentamente, com o auxílio de um sifão, a quantidade necessária de água, evitando-se assim uma mistura prévia.

Os impelidores, então, foram acionados com rotação de 180 rpm e a cada intervalo de 5 s, um volume de 0,070 l da solução era retirado do tanque e a massa específica determinada com a balança de Mohr-Westphall. A retirada das amostras foi feita por um sifão e sempre da mesma posição dentro do tanque, retornando ao tanque após as medidas de densidade.

O grau de homogeneização da solução foi considerado ideal quando os valores da massa específica do produto atingiram $1,176$ e $1,286 \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3}$, respectivamente, para 40 e 60° Brix.

Os resultados do tempo de mistura para todos os impelidores analisados foram colocados num sistema de coordenadas retangulares, em escala linear, na forma da relação funcional (44):

$$\rho = f(p_u \theta) \quad (44)$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da potência consumida pelos impelidores âncoras convencional e modificada estão mostrados nas Figuras de (10) a (17) na forma da relação (45) e representam todos os fluidos ensaiados:

$$N_p = f(N_{Re}) \quad (45)$$

Durante os ensaios as rotações variaram entre 45 e 436 rpm obtendo-se de 9 a 20 medidas em cada uma. As séries de dados incluem valores acontecidos antes da ocorrência do vórtice e durante a fase de dispersão de bolhas de ar. Nos Quadros de (14) a (59), apresentados no Apêndice A estão, além dos valores das rotações, os resultados da potência útil, do número de Reynolds e do número de Froude.

Nas Figuras (10), (11), (12) e (13) o número de Reynolds foi variando utilizando-se fluidos de viscosidade e densidade diferentes, assim, cada linha sólida une os pontos correspondentes aos fluidos organizados em ordem decrescente de viscosidade em uma mesma rotação. As curvas definem dois comportamentos distintos: para $N_{Re} < 300$, dentro dos erros experimentais admissíveis, os pontos obtidos nas diferentes rotações pertencem a uma mesma curva, enquanto que para $N_{Re} > 300$ os resultados das medições, em várias rotações,

não se alinham a uma curva comum, mesmo que para N_{Re} iguais. Aparentemente, a rotação do impelidor e a potência não podem ser correlacionadas somente pelo número de Reynolds.

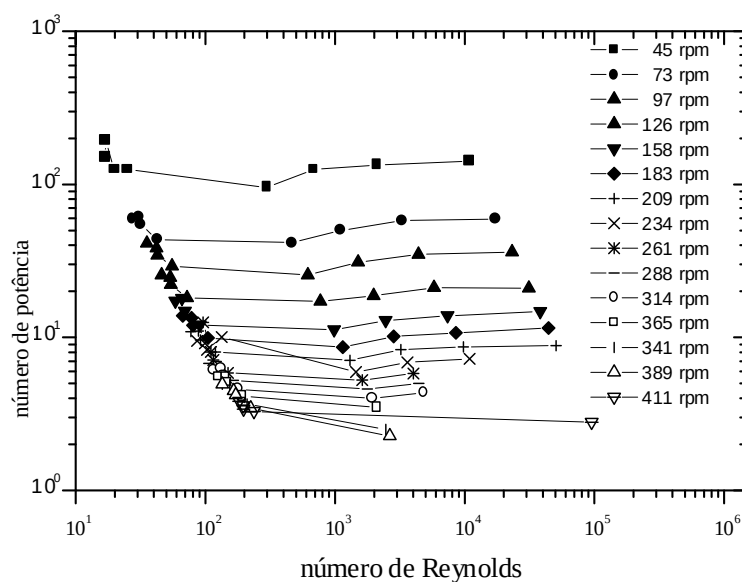


Figura 10. Número de potência em função do número de Reynolds para os fluidos glicerina, detergente, silicone, água e xarope (70°, 60°, 50°, 40°Brix) às várias rotações. Impelidor âncora convencional em vaso de fundo reto.

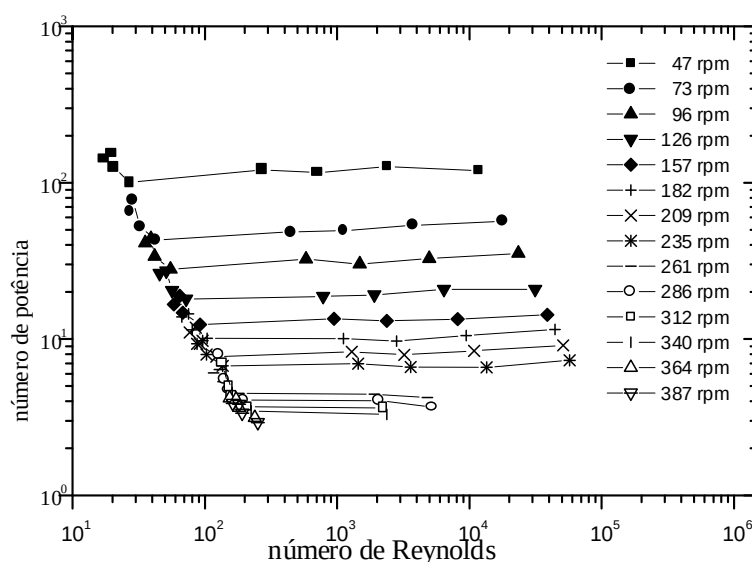


Figura 11. Número de potência em função do número de Reynolds para os fluidos glicerina, detergente, silicone, água e xarope (70°, 60°, 50°, 40°Brix) às várias rotações. Impelidor âncora convencional em vaso com fundo toro esférico.

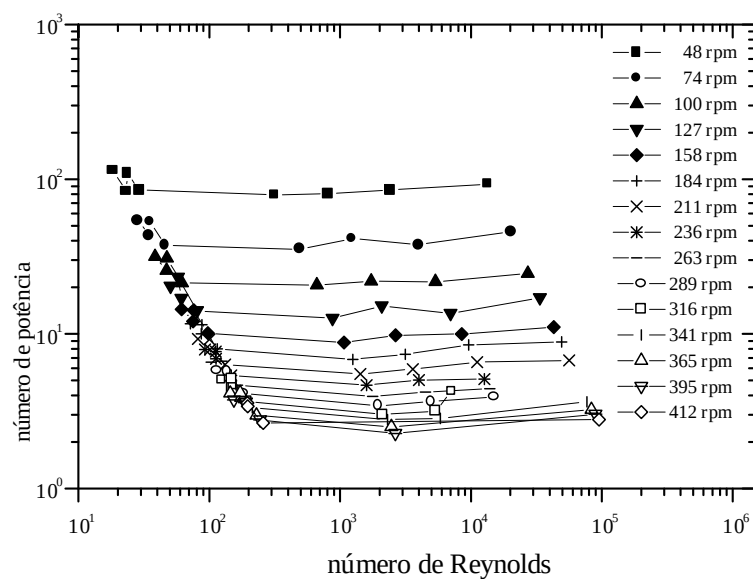


Figura 12. Número de potência em função do número de Reynolds para os fluidos glicerina, detergente, silicone, água e xarope (70°, 60°, 50°, 40°Brix) às várias rotações. Impelidor âncora modificada em vaso com fundo reto

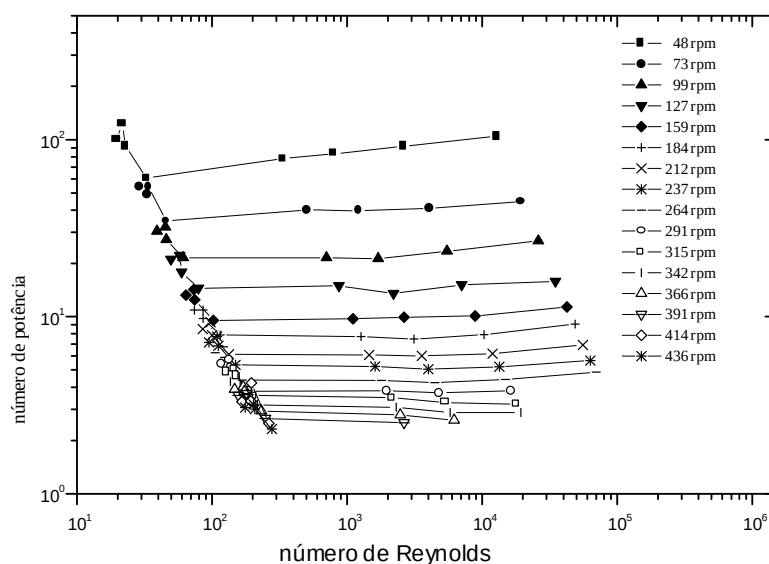


Figura 13. Número de potência em função do número de Reynolds para os fluidos glicerina, detergente, silicone, água e xarope (70°, 60°, 50°, 40°Brix) às varias rotações. Impelidor âncora modificada em vaso com fundo toroesférico

Supondo que, no intervalo $16 < N_{Re} < 300$ as curvas das Fig. (10), (11), (12) e (31) representadas em coordenadas logarítmicas possam ser descritas pela Eq.(14), então, cada uma das equações correspondentes à essas curvas devem pertencer ao intervalo de confiança da curva média. Os Quadros (8) e (9) mostram essas equações para os fluidos glicerina, detergente, silicone e xarope 70° Brix quando agitados nos dois tanques dentro desse intervalo.

Quadro 8. Relações entre o número de potência e o número de Reynolds para os diversos fluidos agitados com o impelidor tipo âncora convencional.

fluido	N_p (vaso com fundo reto)	N_p (vaso com fundo toro esférico)
glicerina	$19953 N_{Re}^{-1,7}$	$19953 N_{Re}^{-1,7}$
detergente	$19953 N_{Re}^{-1,7}$	$15849 N_{Re}^{-1,7}$
silicone	$25119 N_{Re}^{-1,7}$	$15849 N_{Re}^{-1,6}$
xarope 70°	$25119 N_{Re}^{-1,7}$	$25119 N_{Re}^{-1,7}$

Quadro 9. Relações entre o número de potência e o número de Reynolds para vários fluidos agitados com o impelidor tipo âncora modificada.

fluido	N_p (vaso com fundo reto)	N_p (vaso com fundo toro esférico)
glicerina	$12589 N_{Re}^{-1,6}$	$15849 N_{Re}^{-1,7}$
detergente	$15849 N_{Re}^{-1,7}$	$15849 N_{Re}^{-1,7}$
silicone	$19953 N_{Re}^{-1,7}$	$25119 N_{Re}^{-1,7}$
xarope 70°	$25119 N_{Re}^{-1,7}$	$15849 N_{Re}^{-1,6}$

Pode-se demonstrar que, os valores médios do número de potência associado a um determinado número de Reynolds para os diversos fluidos seguem uma curva compreendida entre as obtidas pelas relações apresentadas dos Quadros (8) e (9), considerando que, para trabalhos experimentais o limite do erro estatístico para o valor médio, segundo Vuolo (1966) é dado, com 99,7% de confiança, por:

$$L = 3\sigma_m \quad (46)$$

A curva média representativa da relação entre o número de potência e o número de Reynolds para cada um dos impelidores operando nos dois tipos de vasos pode ser expressa pela relação:

$$N_p = 19.953 N_{Re}^{-1,7} \quad (47)$$

Os valores para cada uma das curvas experimentais dos Quadros (8) e (9) estão nos Quadros (58) e (61) do Apêndice B e mostram que estão dentro da região de confiança estabelecida pelo limite de erro estatístico.

Baseado nessas conclusões pode-se afirmar que, se os pontos associados aos números de potência para os fluidos de viscosidades diferentes (glicerina, detergente, silicone e xarope a 70⁰ Brix), pertencem a uma mesma curva, os números de potência para um dado número de Reynolds, terão o mesmo valor independente da rotação, ou seja para diferentes números de Froude. Concluindo-se que, para $N_{Re} < 300$ a influência do número de Froude pode ser desprezada.

Nas Figuras (14), (15), (16) e (17) as curvas foram desenhadas unindo os pontos correspondentes aos fluidos de mesma viscosidade a diferentes rotações. As quatro linhas mostradas quando $N_{Re} > 300$, formando quatro retas praticamente paralelas entre si,

representam os valores obtidos com a solução de xarope a 60, 50, 40^o Brix e com a água respectivamente. Qualquer uma delas mostra como o N_p varia com o N_{Re} quando a rotação é variada. De acordo com Rushton et al.(1950), o comportamento dessas curvas indica que o número de Reynolds é afetado pelo número de Froude e, portanto, a potência e a rotação não podem ser correlacionadas somente pelo número de Reynolds.

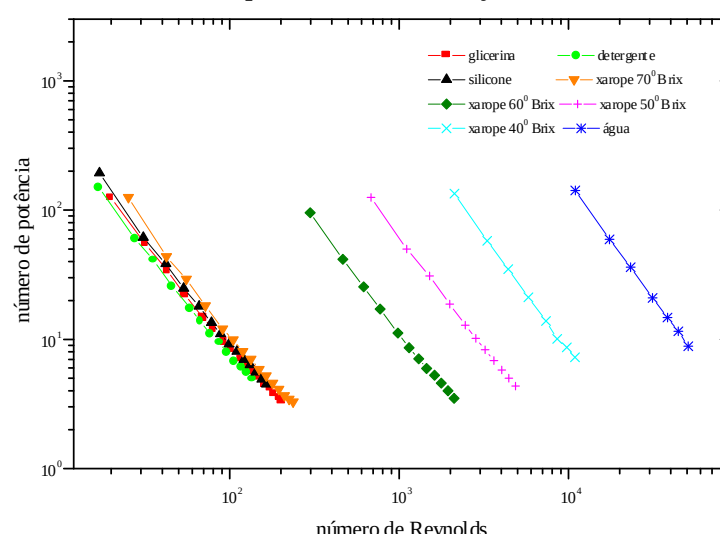


Figura 14. Número de potência em função do número de Reynolds dos diversos fluidos às várias rotações. Impelidor tipo âncora convencional em vaso com fundo reto.

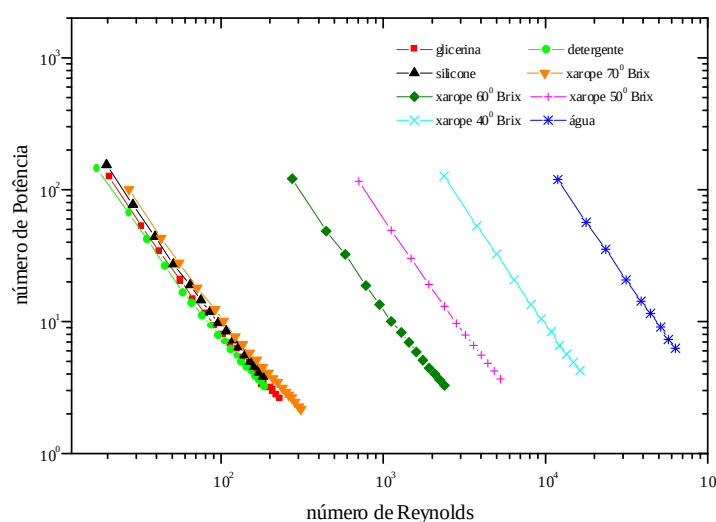


Figura 15. Número de potência em função do número de Reynolds dos diversos fluidos às várias rotações. Impelidor âncora convencional em vaso com fundo toroesférico.

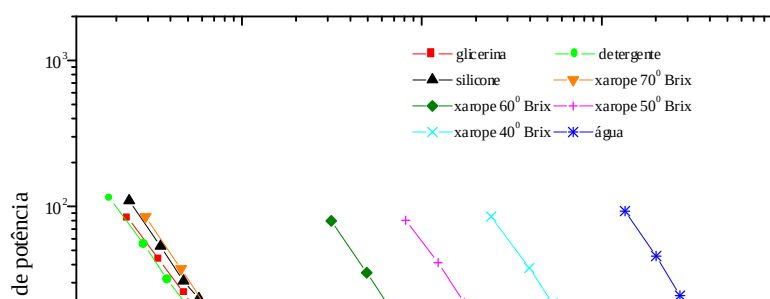


Figura 16. Número de potência em função do número de Reynolds dos vários fluidos às diversas rotações. Impelidor tipo âncora modificada em vaso com fundo reto

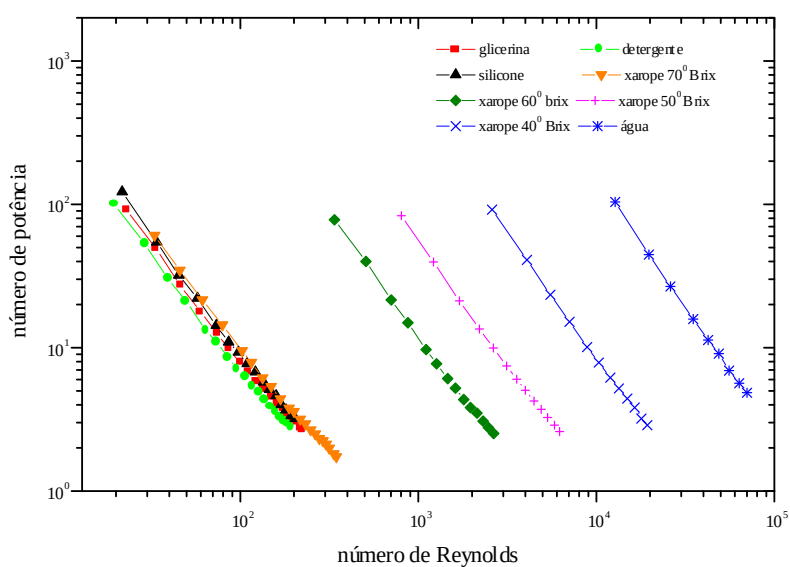


Figura 17. Número de potência em função do número de potência dos diversos fluidos às várias rotações. Impelidor tipo âncora modificada em vaso com fundo toroesférico.

Observações feitas durante os ensaios indicaram que, para todos os fluidos agitados, nos dois tanques, existe um valor de rotação em que o vórtice gerado na superfície do fluido alcança o impelidor e tem início a dispersão de ar dentro do fluido. A partir desse ponto, aumentando-se a rotação a curva sofre uma pequena inclinação afastando-se da curva padrão. Este comportamento é explicado pelo fato de que aumentando a rotação do impelidor, mais ar é disperso no fluido, formando um sistema com duas fases (líquido – gás), alterando, portanto, suas características originais. Os valores da rotação em que o vórtice atinge o impelidor estão no Quadro 10:

Quadro 10. Valores experimentais da rotação, em rpm, dos impelidores quando o vórtice alcança o impelidor

fluido	Âncora convencional (reto)	âncora convencional (toroesférico)	âncora modificada (reto)	âncora modificada (toroesférico)
xarope 60° Brix	188	212	214	217
xarope 50° Brix	182	207	185	207
xarope 40° Brix	156	158	160	183
água	130	131	153	161

Blasinsky et al (1970) verificaram que, se os instrumentos utilizados apresentarem pequeno atrito, os pontos obtidos pertencem a uma curva comum, chamada curva padrão, desde que não haja significativa perturbação da superfície livre, isto é, formação de vórtices acentuados com aeração. É evidente que, quanto mais baixa a viscosidade do

fluido, maior é essa tendência, tornando também mais significativa a influência do número de Froude.

5. 1. Tempo de mistura

A eficiência dos impelidores foi verificada através da energia consumida para se obter a mistura do açúcar na água com o grau de homogeneidade estabelecido pela massa específica correspondente às concentrações de 40 e 60° Brix.

Essa energia foi expressa como o produto da potência consumida pelo tempo de mistura:

$$E = P_U \theta \quad (47)$$

Para expressar a relação entre a energia e a quantidade que caracterizou o grau de homogeneidade da mistura foi usada a relação (44) e os resultados para todas as configurações estudadas estão apresentadas graficamente nas Figuras (18), (19), (20) e (21).

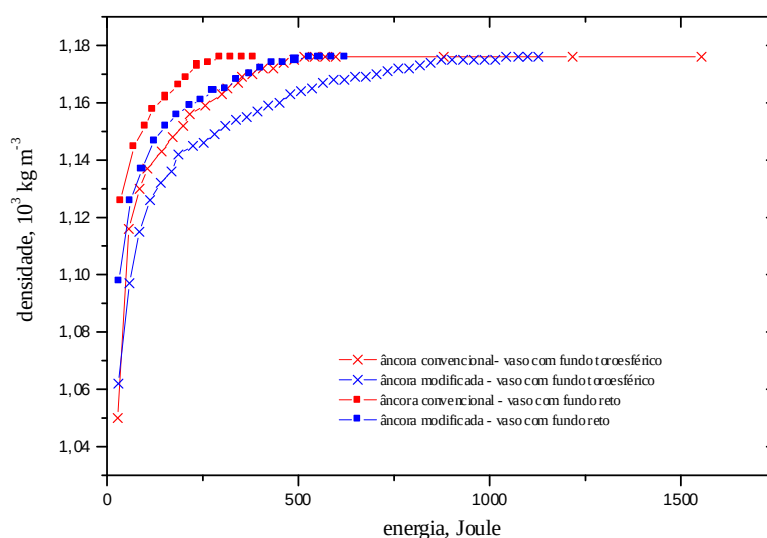


Figura 18. Comparação do desempenho das âncoras convencional e modificada-Xarope 40° Brix.

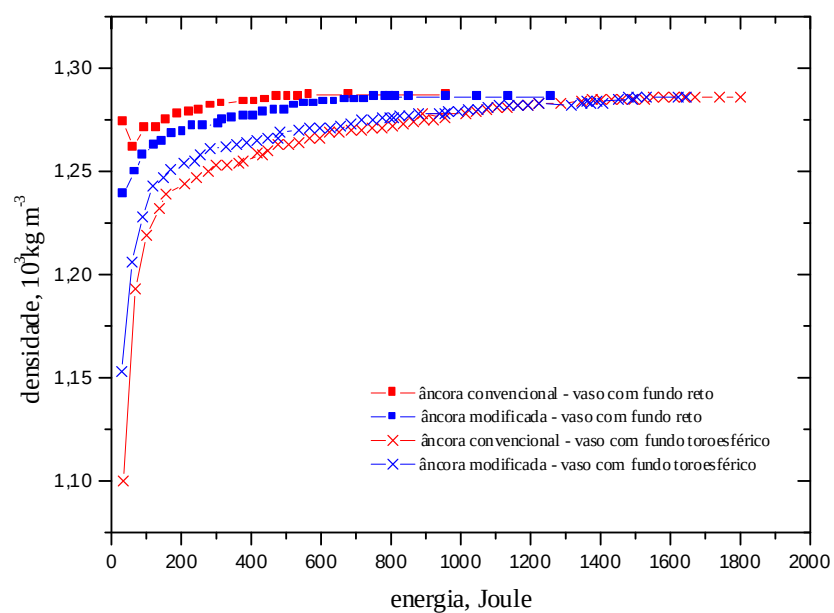


Figura 19. Comparação do desempenho dos impelidores âncora convencional e modificada operando no xarope 60° Brix.

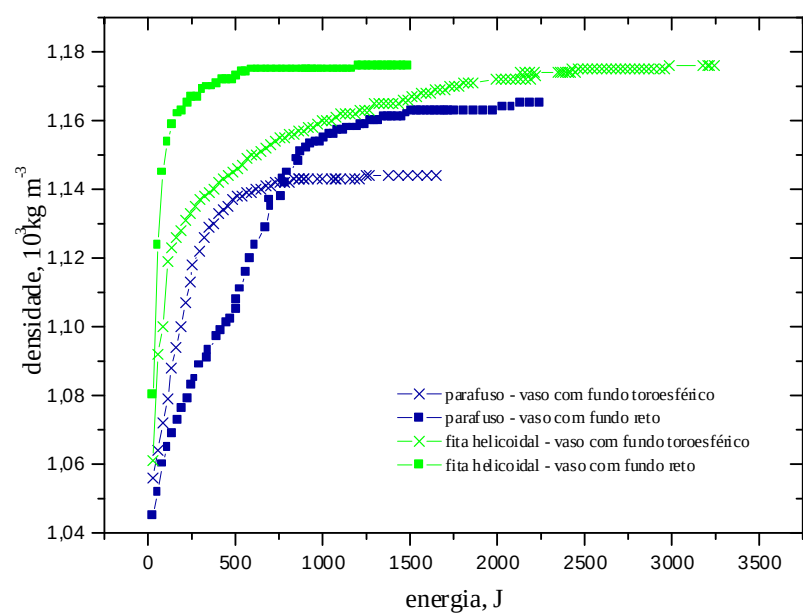


Figura 20. Comparação do desempenho dos impelidores parafuso e fita helicoidal operando no xarope 40° Brix.

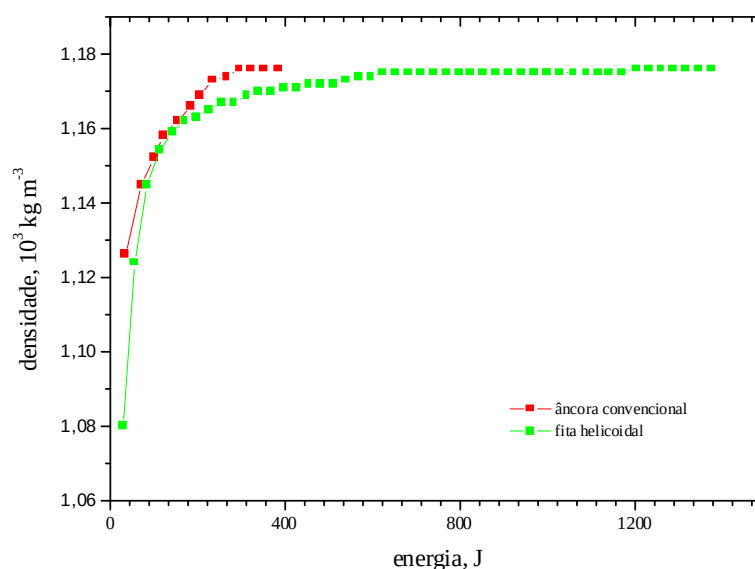


Figura 21. Comparação do desempenho dos impelidores âncora convencional e fita helicoidal operando em vaso com fundo reto no xarope à 40° Brix.

Os valores do tempo de mistura, da potência e da energia consumidos para a obtenção das várias concentrações estão reunidos nos Quadros (11) e (12).

Quadro 11. Comparação do desempenho dos impelidores no xarope 40° Brix.

Impelidor	vaso com fundo reto		vaso com fundo toro esférico	
	tempo (s)	energia (J)	tempo (s)	energia (J)
âncora convencional	50	295	95	516
âncora modificada	85	526	185	1043
fita helicoidal	210	1303	560	3208

Quadro 12. Comparação do desempenho dos impelidores no xarope 60° Brix.

impelidor	vaso com fundo reto	vaso com fundo toro esférico
-----------	---------------------	------------------------------

impelidor	vaso com fundo reto		vaso com fundo toro esférico	
	tempo (s)	energia (J)	tempo (s)	energia (J)
âncora convencional	75	473	260	1551
âncora modificada	155	913	260	1480

O impelidor tipo parafuso operando nos dois vasos não conseguiu atingir a homogeneidade da mistura correspondente à concentração de 40° Brix. No decorrer da operação obteve-se pequena variação na massa específica indicando pouca dissolução do açúcar na água. O Quadro (13) fornece os dados da massa específica e energia consumida em dois instantes.

Quadro 13. Valores máximos obtidos para a massa específica quando a agitação é feita com o impelidor parafuso - Xarope 40° Brix.

vaso	tempo (s)	massa específica (10^3 kg m^{-3})	energia (J)
fundo reto	235	1,144	1268
	305	1,144	1651
fundo toro esférico	235	1,159	1248
	305	1,163	1620
	420	1,165	2244

Os dados do Quadros (13) mostram que, embora a energia consumida pelo parafuso seja maior que a das âncoras não se obtém, para esse intervalo de tempo, o valor $1,176 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ para a massa específica ou seja, a solução não atinge a homogeneização desejada, portanto, não sendo ideal para um processo de mistura nessas condições.

O ensaio com o parafuso foi repetido mantendo-o acionado continuamente e a solução a 40° Brix foi obtida após 600 s (10 min), quando a operação é efetuada no vaso com fundo toro esférico e 420 s (7 min) quando no vaso de fundo reto.

As conclusões sobre o desempenho do parafuso para a obtenção da mistura à 40° Brix orientaram os procedimentos dos ensaios com o xarope à 60° Brix. Neste caso, as medidas da massa específica foram tomadas acionando o impelidor sem interrupções e o grau Brix foi atingido após 2580 s (43 min) e 1260 s (21 min) de agitação nos vasos de fundo toro esférico e reto respectivamente.

Todos os ensaios foram repetidos com os impelidores acionados continuamente e a homogeneização das soluções foi obtida num tempo maior ao do processo descontínuo e o resíduo na base do tanque é maior se comparado ao da agitação descontínua no mesmo intervalo de tempo.

O impelidor tipo âncora convencional foi o que atingiu mais rapidamente a homogeneização da mistura e o que consumiu menor energia entre os quatro tipos estudados.

Os diferentes modelos de fluxo produzidos pelos vários impelidores ajudam a explicar as diferenças no tempo de misturas. Por exemplo, a âncora produz um efeito predominante de fluxo que é tangencial e responsável pelo movimento circulatório da massa do fluido ao redor do eixo. Em consequência desse fluxo uma região de estagnação é formada no fundo do tanque sob o eixo do impelidor, retendo parte do açúcar e dificultando a ação da mistura. As palhetas inclinadas da âncora modificada alteram o movimento do fluido dentro do líquido mantendo essa região de estagnação, dificultando ainda mais a ação de mistura. Esse comportamento do modelo de fluxo está ilustrado nas Figuras (22), (23), (24) e (25).



Figura 22. Modelo de fluxo obtido usando a âncora convencional, a rotação 130 rpm, em vaso com fundo reto.



Figura 28. Modelo de fluxo obtido usando a âncora convencional, a rotação 160 rpm, em tanque com fundo toroesférico.



Figura 24. Modelo de fluxo obtido usando a âncora modificada, a rotação 150 rpm, em tanque com fundo reto.



Figura 25. Modelo de fluxo obtido usando a âncora modificada, com rotação 160 rpm, em tanque com toro esférico.

A fita helicoidal movimentava rapidamente o açúcar concentrado na base do vaso sob o eixo do impelidor num fluxo espiral ascendente e nenhuma região estagnada foi observada dentro do vaso. As superfícies inclinadas das fitas movendo-se próximas à parede do

vaso produzem movimento tangencial, radial e axial. O parafuso produz um movimento circulatório forçado deslocando o fluido da base do vaso ao topo, semelhante ao fluxo obtido com a rotação da fita helicoidal. Enquanto a fita movimenta toda a massa do fluido, uma região de estagnação é formada entre o parafuso e a parede do vaso. Os modelos de fluxos correspondentes a cada um desses impelidores estão nas figuras (26), (27), (28) e (29).



Figura 26. Modelo de fluxo obtido com o parafuso, a rotação 130 rpm, em tanque com fundo reto.



Figura 27. Modelo de fluxo obtido com o parafuso, a rotação 130 rpm, em tanque com fundo toro esférico.



Figura 28. Modelo de fluxo obtido com fita helicoidal, a rotação 130 rpm, em tanque com fundo reto.



Figura 29. Modelo de fluxo obtido com fita helicoidal, a rotação 130 rpm, em tanque com fundo toro esférico.

7. CONCLUSÕES

Com base nas observações feitas e nas medidas obtidas nos ensaios realizados na região $16 < N_{Re} < 70.000$ usando vários fluidos de viscosidades diferentes pode-se concluir:

a) Para $16 < N_{Re} < 300$ o vórtice formado na superfície do fluido é pequeno e os números de potência, calculados experimentalmente descrevem, uma curva definida pela relação:

$$N_p = 19.953 (N_{Re})^{-1,7}$$

b) Para rotações em que se inicia adispersão de ar, os valores do número de potência se deslocam da curva padrão.

c) O impelidor tipo âncora convencional teve melhor desempenho no tempo de mistura entre os quatro tipos estudados em razão do modelo de fluxo desenvolvido. O tempo de mistura encontrado para cada tipo de impelidor foi:

impelidor tipo âncora convencional:

$\theta = 50$ s; para o xarope 40° Brix em vaso de fundo reto

$\theta = 95$ s; para xarope 40° Brix em vaso de fundo toro esférico

$\theta = 75$ s; para xarope 60° Brix em vaso de fundo reto

$\theta = 260$ s; para xarope 60° Brix em vaso com fundo toro esférico

impelidor tipo âncora modificada:

$\theta = 85$ s; para o xarope 40° Brix em vaso de fundo reto

$\theta = 185$ s; para xarope 40° Brix em vaso de fundo toro esférico

$\theta = 155$ s; para xarope 60° Brix em vaso de fundo reto

$\theta = 260$ s; para xarope 60° Brix em vaso com fundo toro esférico

impelidor tipo fita helicoidal:

$\theta = 210$ s; para o xarope 40° Brix em vaso de fundo reto

$\theta = 560$ s; para xarope 40° Brix em vaso de fundo toro esférico

e) A homogeneização desejada da mistura não foi alcançada com o impelidor tipo parafuso num intervalo de tempo que satisfizesse as condições práticas de operação não sendo portanto, útil na mistura de fluidos nas condições previstas nos ensaios.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKNER, J. L., SMITH, J. M. Anchor-agitated systems: power input with newtonian and pseudo-plastic fluids. *Chemical and Progress Engineering*. v.48, p.T224-35, 1970.

BOWELL, J.R., R.L. Agitation intensity: Key to scaling up flow - sensitive liquid systems. *Chemical Engineering*. New York, U.S.A: A McGraw-Hill Publication. p. 159-68. March 18, 1985.

BROWN, G.G. , FOUST, A.S. , KATZ, D.V. Agitation. In:___ *Operaciones Básicas de La Ingeniería Química*. Editorial Marin S.A. 1963. cap. 34, p.528-34.

CHAPMAN, F.S. , HOLLAND, F.A. A study of turbine and helical-screw agitators in liquid mixing. *Trans. Instn Chem Engrs*, v. 43, p. T131-40, 1965.

CALDERBANK, P.H., MOON-YOUNG, M. B. The power characteristics of agitators for the mixing of newtonian and non-newtonian fluids. *Trans. Instn. Chem. Engrs.,* v. 39, p. 337-47, 1961.

DEÁK, A., HAVAS, G. S., AWINSKY, J. The power requirements for anchor, ribbon and helical - screw agitators. *International Chemical Engineering*, v. 25, n.3, p. 558-565, july 1985.

DICKEY, D.S., HEMRAJANI, R.R. Recipes for fluid mixing. *Chemical Engineering*. New York, U.S.A: A McGraw-Hill Publication, p.82-9, March, 1992.

DICKEY, D.S., FENIC, J.C. Dimensional analysis for fluid agitations systems. *Chemical Engineering*. NewYork, U.S.A: A McGraw-Hill Publication, p. 139-45, January 5, 1976.

DICKEY, D.S. program chooses agitator. *Chemical Engineering* . NewYork, U.S.A: A McGraw-Hill Publication, p. 73-81, January 9, 1984.

DICKEY, D.S. Succeed at stirred - tank - reactor design. *Chemical Engineering Progress*, p.22-31, December, 1991.

DICKEY, D. S., FENIC, J. Dimensional analysis for fluid agitation systems. *Chemical Engineering*, p. 139-45, Janeiro 1976.

DUMONT, J. Mélanges liquideLiquide – Mélanges liquide-solide. France. On trouvera des Donnés Économiques, p. J1810-4. 1972.

FASANO, J.B., PENNEY, W.R. Avoid blending mix - ups. *Chemical Engineering Progress*, p.57-63, October, 1991.

FREITAS, P. Análises de Relações Potência / Velocidade para o Projeto de Agitadores com Respostas Dinâmicas Desejadas, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Botucatu, 1993.

FOUST, A.S., WENZEL, L. A ., CHAMP, C. W., MAUS, L. ANDERSON L. B. *Principios de Operaciones Unitárias*. México: Compañía Editorial Continental, S A . Abril 1975. p. 523-9.

CHAMPMAN, F. S., HOLLAND, F. A . A study of turbine and helical-screw agitators in liquid mixing. *Trans. Inst. Chem. Engres.* U. S. A. v. 43, p. T131—40. 1965.

GLUZ, M.D., PAVLUSHENKO, I.S. Power consumpton in agitation of non-newtonian liquids. *Journal of Applied Chemistry of USSR*, v. 40, n., p. 1430-41967.

GRAY, A., WALLACE, G.A. *Eletrotécnica - Principios e Aplicações*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1967. cap.17, p. 169-77.

GRAY, J. B. Batch mixing of viscous liquids. *Chemical Engineering Progress*, v. 59, n. 3. 1963.

HALL, K. R. B., GODFREY, B. E. Power consumption by helical impellers. *Trans. Instn. Chem. Engrs.* v.48, p. T201-8, 1970

HO, F. C., KWONG, A. A guide to designing chemical engineering. p. 94-104, Julho 23, 1974.

HOOGENDOORN, C.J., HARTOG, A. P. Model studies on mixers in the viscous flow region. .p. 1689-99, Amsterdam. 1967.

LANGE, N. A . *HANDBOOK OF CHEMISTRY*. Ohio, U. S. A: handbook Publisers, Inc., 1949. P. 1920.

LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Bioengenharia . In:___ *Biotechnologia*. São Paulo: Editora Manole, 1985. cap. IV. p.124-175.

McCABE, W.L., SMITH, J.C. Unit operations of chemical engineering. *International Student Edition*. Second Edition. Tokio, Japan: McGraw-Hill Book Company, cap.9, p.241-276, 1967.

MILON, R., MASSON, N. Mélanges liquide-liquide – Mélanges liquide-solide – Choix du materiel. Puissnce nécessaire à l’entraînement des agitateurs. *On Trouvera des données Économiques*. France, p. J1820-10, 1972.

NAGATA, S. *Mixing - principles and applications*. New York, U.S.A: Halsted Press, 1975. 452p.

NOVÁK, V., RIEGER, F. Homogenization efficiency of helical ribbon and anchor agitadors. *The Chemical Engineering Journal*. Czechoslovakia, p. 63-70, Maio 1975.

NOVÁK, V., RIEGER, F. Homogenization with helical screw agitators. *Trans. Instn. Chemic. Engrs.* v. 47, 1969.

PERRY, R.H., CHILTON, C.H. *Chemical engineers’ handbook*. 5.ed. Japan: McGraw-Hill Kogakuska Ltda. 1973. Section 19, p.19-1/10.

RAZUK, P.C. Um estudo sobre as operações unitárias de agitação, troca de calor em tanque e mistura de pó. Tese submetida a banca em concurso de Livre Docência Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista - Bauru, 1992.

REY, A.B. Física / Química Modernas. In:___ *Química Tecnológica Fundamental*
São Paulo: Edições Fortaleza, Crédito Brasileiro de Livros, 1970. cap. 4, p.
117-49.

RUSHTON, J.H., OLDSHUE, J.Y. Mixing - present theory and practice. *Chemical*
Engineering Progress, v. 49, n. 4, p. 161-8, April, 1953.

RUSHTON, J. H., COSTICH, E.W., EVERETT. Power characteristics of mixing
impellers – Part I. *Chemical Engineering Progress August*. New York, p. 395-402.
April, 1953.

SOUZA, E., RAZUK, P.C. *Operações unitárias no tratamento do xarope de açúcar*.
Bauru, SP: EDIPRO - Edições Profissionais Ltda, 1996. p.205-34.

SU, Y.S.,HOLLAND,F. ^a Agitation and mixing of non-newtonian fluids. *Chemical and*
Progress Engineering. p.110-120,september,1968.

TETTAMANTI, K., HAVAS, G., SAWINSKY, J. Froude number and power
consumption of mixing II. *Acta Chimica*. Budapes, v. 71, p. 445-64, 1972.

VUOLO, J.H. *Fundamentos da teoria de erros.2.ed.* São Paulo: Edgard Blücher , 1992.
p,102.

APÊNDICE A

Quadro 14 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em tanque de fundo **toro esférico**, sem defletores- Fluido **glicerina**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
48	10,44	0,15	1,29	91,78	22,84	0,01
70	14,97	0,17	2,19	48,96	33,59	0,02
96	19,47	0,18	3,11	27,20	45,91	0,03
124	24,90	0,20	4,49	17,88	59,69	0,05
155	30,50	0,22	6,12	12,49	74,58	0,08
179	34,90	0,23	7,38	9,79	86,08	0,11
208	40,20	0,25	9,29	7,86	100,01	0,14
232	44,60	0,27	11,16	6,85	111,28	0,18
259	49,50	0,29	13,33	5,90	124,09	0,22
286	54,70	0,31	15,79	5,18	137,15	0,27
312	59,50	0,33	18,31	4,63	149,60	0,32
337	64,10	0,34	20,39	4,09	161,58	0,38
360	68,30	0,36	23,01	3,77	172,87	0,43
385	72,90	0,38	25,95	3,49	184,65	0,49
408	77,70	0,40	29,14	3,28	195,92	0,56
431	81,90	0,41	31,54	3,01	207,06	0,62
453	86,10	0,42	34,02	2,80	217,45	0,68
471	89,60	0,44	37,07	2,72	225,93	0,74

Quadro 15 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em tanque de fundo **toro esférico**, sem defletores - Fluido **silicone**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,1	0,14	1,18	121,96	21,67	0,01
72	15,2	0,15	2,01	54,36	33,91	0,02
96	19,4	0,16	2,79	31,94	45,20	0,03
122	24,4	0,18	4,00	22,13	57,56	0,05
156	30,4	0,19	5,34	14,25	73,40	0,08
183	35,3	0,20	6,57	10,92	85,97	0,11
207	39,8	0,22	8,17	9,30	97,52	0,14
233	44,4	0,23	9,57	7,74	109,29	0,18
259	49,3	0,25	11,57	6,75	121,83	0,22
287	54,6	0,26	13,37	5,73	135,09	0,28
310	58,8	0,27	14,99	5,09	145,93	0,32
338	64,0	0,29	17,54	4,61	159,02	0,38
362	68,1	0,29	18,73	4,01	170,23	0,44
384	72,2	0,30	20,57	3,68	180,67	0,49
412	77,6	0,31	22,89	3,34	193,48	0,57
433	81,6	0,33	25,60	3,20	203,65	0,63

Quadro 16 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em tanque de fundo **toro esférico**, sem defletores - Fluido **detergente**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
49	10,6	0,14	1,25	100,28	19,59	0,01
72	15,3	0,16	2,14	53,55	28,90	0,02
98	19,8	0,17	3,01	30,32	39,18	0,03
124	24,8	0,19	4,27	21,05	49,70	0,05
160	31,2	0,20	5,75	13,23	64,08	0,09
185	35,8	0,22	7,29	10,91	73,92	0,11
214	41,0	0,23	8,79	8,50	85,50	0,15
238	45,5	0,24	10,22	7,15	95,28	0,19
264	50,3	0,26	12,26	6,27	105,74	0,23
291	55,4	0,27	14,07	5,37	116,57	0,28
316	60,0	0,29	16,38	4,89	126,51	0,33
343	65,0	0,30	18,41	4,29	137,38	0,39
367	69,1	0,31	20,25	3,88	146,75	0,45
393	73,9	0,33	23,06	3,60	157,01	0,51
416	78,7	0,34	25,35	3,32	166,57	0,58
439	82,8	0,35	27,49	3,07	175,62	0,64
461	87,2	0,37	30,60	2,95	184,54	0,71
479	90,6	0,38	32,67	2,81	191,55	0,77

Quadro 17- Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em tanque de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 70° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
52	11,1	0,13	1,24	60,38	32,94	0,01
73	15,2	0,14	1,89	34,64	45,73	0,02
97	19,6	0,16	2,82	21,51	61,29	0,03
126	25,0	0,18	4,11	14,45	79,26	0,05
162	31,6	0,20	5,83	9,54	102,33	0,09
183	35,4	0,21	6,90	7,89	115,31	0,11
212	40,6	0,22	8,34	6,14	133,53	0,15
237	45,3	0,24	10,17	5,35	149,37	0,19
267	50,7	0,25	11,92	4,39	168,23	0,24
299	56,7	0,27	14,42	3,79	188,16	0,30
318	60,3	0,29	16,47	3,59	200,3	0,34
344	65,1	0,3	18,44	3,17	216,73	0,39
369	69,5	0,32	21,00	2,94	232,25	0,45
394	74,1	0,33	23,13	2,66	248,00	0,52
419	79,2	0,35	26,23	2,50	263,81	0,58
441	83,3	0,36	28,41	2,32	278,08	0,65
462	87,4	0,38	31,46	2,24	291,06	0,71
481	91,0	0,39	33,64	2,12	302,81	0,77
502	94,6	0,40	35,90	1,99	316,26	0,84
531	99,6	0,41	38,79	1,82	334,52	0,94
549	102,6	0,42	40,95	1,73	345,84	1,01

Quadro 18 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
51	11,0	0,15	1,38	78,18	338,2	0,01
76	16,1	0,17	2,39	40,08	507,56	0,02
106	21,3	0,18	3,44	21,56	705,09	0,04
131	26,0	0,19	4,50	14,92	871,87	0,06
166	32,2	0,20	5,95	9,72	1104,05	0,09
190	36,7	0,21	7,17	7,74	1267,26	0,12
219	41,9	0,22	8,63	6,09	1460,02	0,16
242	46,1	0,23	9,96	5,23	1611,81	0,20
270	51,2	0,24	11,59	4,36	1800,10	0,24
295	55,9	0,25	13,22	3,82	1965,45	0,29
321	60,6	0,27	15,48	3,50	2134,59	0,34
348	65,6	0,28	17,42	3,08	2315,66	0,40
372	69,8	0,29	19,22	2,78	2475,43	0,46
397	74,5	0,30	21,26	2,52	2645,59	0,53

Quadro 19 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 50° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
47	10,2	0,13	1,12	83,17	802,54	0,01
71	15,0	0,14	1,86	39,66	1216,63	0,02
100	20,0	0,15	2,73	21,24	1701,46	0,03
129	25,5	0,16	3,77	13,51	2203,83	0,06
155	30,0	0,17	4,75	9,95	2635,53	0,08
184	35,3	0,18	5,96	7,47	3128,75	0,11
210	40,0	0,19	7,16	6,02	3573,64	0,15
235	44,6	0,20	8,43	5,06	3999,70	0,18
263	49,6	0,21	9,88	4,24	4471,25	0,23
288	54,3	0,22	11,36	3,72	4894,22	0,38
313	59,0	0,23	12,93	3,27	5334,12	0,33
341	64,1	0,24	14,68	2,88	5806,38	0,39
366	68,4	0,25	16,34	2,60	6223,92	0,45

Quadro 20 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	9,98	0,13	1,09	91,83	2596,36	0,01
72	15,08	0,14	1,87	40,93	4068,62	0,02
97	19,54	0,15	2,66	23,39	5509,74	0,03
125	24,70	0,16	3,64	15,14	7073,51	0,05
157	30,40	0,17	4,82	10,10	8886,09	0,08
183	35,10	0,18	5,92	7,90	10335,95	0,11
212	40,30	0,19	7,22	6,19	11972,61	0,15
237	44,90	0,20	8,49	5,21	13388,63	0,19
263	49,70	0,21	9,90	4,41	14892,79	0,23
290	54,70	0,22	11,45	3,82	16393,05	0,28
317	59,50	0,22	12,50	3,20	17912,29	0,33
342	64,10	0,23	14,10	2,88	19324,34	0,39

Quadro 21 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **água**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
48	10,5	0,14	1,23	104,22	12748,32	0,01
75	15,6	0,14	1,95	44,61	19700,58	0,02
99	19,8	0,15	2,70	26,77	26038,90	0,03
133	26,1	0,16	3,86	15,82	34966,49	0,06
161	31,1	0,17	4,94	11,34	42408,01	0,09
185	35,5	0,18	6,00	9,09	48717,54	0,11
212	40,2	0,18	6,84	6,93	55723,17	0,15
240	45,5	0,19	8,21	5,66	63346,45	0,19
266	50,1	0,20	9,53	4,86	70057,18	0,24

Quadro 22 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **glicerina**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
48	10,50	0,14	1,23	83,14	23,23	0,01
72	15,33	0,16	2,14	43,15	34,76	0,02
98	19,98	0,18	3,20	25,64	47,28	0,03
128	25,50	0,20	4,61	16,96	61,29	0,05
158	31,00	0,22	6,23	12,05	75,92	0,08
181	35,30	0,24	7,77	10,01	86,93	0,11
211	40,80	0,26	9,79	7,94	101,40	0,15
235	45,30	0,28	11,73	6,89	112,94	0,18
262	50,20	0,30	13,97	5,94	125,75	0,23
290	55,60	0,32	16,55	5,18	139,33	0,28
317	60,50	0,34	19,17	4,61	152,06	0,33
340	64,90	0,36	21,79	4,23	163,29	0,39
365	69,30	0,38	24,58	3,87	175,11	0,44
389	73,80	0,40	27,58	3,59	186,62	0,50
411	78,30	0,42	30,74	3,40	197,09	0,56
436	82,90	0,43	33,40	3,08	209,29	0,63
458	87,20	0,45	36,78	2,93	219,73	0,70

Quadro 23 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **detergente**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,09	0,14	1,17	113,82	18,41	0,01
72	15,21	0,16	2,12	54,37	28,69	0,02
96	19,48	0,17	2,96	31,50	38,45	0,03
126	25,20	0,19	4,35	20,33	50,58	0,05
153	30,00	0,20	5,51	14,42	61,38	0,08
179	34,80	0,22	7,07	11,61	71,68	0,11
205	39,40	0,23	8,42	9,27	81,91	0,14
231	44,30	0,25	10,32	7,91	92,41	0,18
258	49,20	0,26	11,97	6,57	103,27	0,22
285	54,40	0,28	14,28	5,81	114,15	0,27
311	59,10	0,29	16,12	5,05	124,49	0,32
338	64,10	0,30	18,14	4,42	135,36	0,38
361	68,10	0,32	20,55	4,13	144,32	0,43
386	72,70	0,33	22,67	3,73	154,32	0,50

Quadro24- Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **silicone**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
50	10,9	0,15	1,36	109,39	23,6	0,01
75	15,8	0,16	2,22	53,44	35,25	0,02
101	20,3	0,17	3,10	30,84	47,35	0,03
123	24,5	0,19	4,22	23,28	57,61	0,05
160	31,2	0,20	5,75	14,24	75,29	0,09
187	36,2	0,22	7,38	11,46	87,91	0,12
213	40,9	0,23	8,76	9,20	100,20	0,15
238	45,5	0,24	10,22	7,69	111,96	0,19
266	50,6	0,26	12,33	6,66	125,03	0,24
292	55,5	0,27	14,10	5,76	137,23	0,28
317	60,0	0,28	15,85	5,07	148,86	0,33
341	64,6	0,30	18,29	4,68	160,38	0,39
367	69,1	0,31	20,25	4,17	172,43	0,45
406	76,3	0,33	23,86	3,63	190,78	0,55
416	78,6	0,34	25,32	3,58	195,46	0,58

Quadro 25 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 70° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,1	0,14	1,18	85,12	29,05	0,01
73	15,3	0,15	2,02	37,36	45,80	0,02
98	19,8	0,16	2,86	21,29	61,99	0,03
128	25,4	0,18	4,18	14,13	80,66	0,05
155	30,2	0,19	5,30	10,09	97,69	0,08
183	35,4	0,21	6,90	7,99	115,31	0,11
210	40,3	0,22	8,28	6,32	132,48	0,15
233	44,5	0,23	9,59	5,38	146,84	0,18
261	49,6	0,25	11,64	4,65	164,36	0,23
288	54,8	0,27	13,91	4,13	181,49	0,28
312	59,1	0,28	15,60	3,66	196,37	0,32
338	64,0	0,30	18,11	3,33	212,87	0,38
364	68,5	0,31	20,07	2,97	229,02	0,44
388	73,0	0,33	22,77	2,78	244,13	0,50
410	77,6	0,35	25,67	2,65	258,21	0,56

Quadro 26 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
47	10,2	0,13	1,12	79,48	314,03	0,01
74	15,5	0,14	1,93	35,11	494,42	0,02
100	20,0	0,15	2,73	20,29	665,78	0,03
131	25,8	0,16	3,82	12,58	873,46	0,06
161	31,1	0,17	4,94	8,80	1072,19	0,09
188	36,0	0,18	6,09	6,84	1250,29	0,12
214	40,8	0,19	7,31	5,51	1428,15	0,15
239	45,4	0,20	8,59	4,65	1594,84	0,19
266	50,2	0,21	10,01	3,95	1771,94	0,24
293	55,3	0,22	11,58	3,42	1952,22	0,29
319	60,0	0,23	13,16	3,01	2124,36	0,34
346	65,0	0,25	15,49	2,79	2302,42	0,40
371	69,4	0,26	17,22	2,51	2469,61	0,46
397	74,3	0,27	19,18	2,27	2647,21	0,53

Quadro 27 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 50° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
48	10,3	0,13	1,13	80,46	814,59	0,01
72	15,2	0,15	2,01	41,24	1231,27	0,02
101	20,3	0,16	2,94	21,88	1726,87	0,03
122	24,1	0,16	3,54	15,18	2076,95	0,05
156	30,1	0,17	4,77	9,8	2651,87	0,08
185	35,4	0,18	5,98	7,36	3146,28	0,11
212	40,2	0,19	7,20	5,91	3601,79	0,15
235	44,5	0,20	8,41	5,04	4000,29	0,18
263	49,6	0,21	9,88	4,21	4482,50	0,23
290	54,6	0,22	11,42	3,65	4935,05	0,28
318	59,7	0,23	13,09	3,16	5414,05	0,34
343	64,3	0,24	14,73	2,84	5839,93	0,39

Quadro 28 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	9,9	0,12	1,01	85,13	2429,98	0,01
75	15,6	0,14	1,95	37,82	3958,58	0,02
101	20,2	0,15	2,76	21,70	5350,45	0,03
132	26,0	0,16	3,85	13,53	7000,64	0,06
160	31,0	0,17	4,92	9,69	8491,72	0,09
181	34,9	0,19	6,19	8,47	9587,94	0,11
211	40,2	0,20	7,55	6,57	11148,70	0,15
239	45,4	0,20	8,59	5,09	12674,97	0,19
263	49,7	0,21	9,90	4,41	13934,58	0,23
286	54,1	0,22	11,31	3,91	15161,42	0,27

Quadro 29 - Medidas experimentais para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **água**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
51	11,00	0,14	1,30	92,76	13499,87	0,01
76	15,95	0,15	2,12	45,80	20091,62	0,02
103	20,60	0,15	2,82	24,49	27216,24	0,04
128	25,20	0,16	3,72	17,09	33669,61	0,05
163	31,50	0,17	5,00	11,04	42996,38	0,09
187	35,90	0,18	6,07	8,87	49305,39	0,12
214	40,70	0,18	6,93	6,75	56459,28	0,15

Quadro 30 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toro esférico**, sem defletores - Fluido: **glicerina**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,50	0,15	1,30	125,71	20,40	0,01
74	15,55	0,16	2,18	52,59	32,38	0,02
95	19,78	0,17	3,01	33,81	41,81	0,03
128	25,80	0,19	4,46	20,42	56,39	0,05
155	30,70	0,20	5,65	14,74	68,02	0,08
183	35,70	0,22	7,27	11,48	80,37	0,11
208	40,50	0,23	8,67	9,30	91,47	0,14
233	45,20	0,25	10,54	7,97	102,73	0,17
261	50,30	0,27	12,70	6,91	114,63	0,22
287	55,40	0,29	15,04	6,11	126,41	0,26
312	59,90	0,30	16,88	5,34	137,35	0,31
341	65,00	0,32	19,56	4,75	150,06	0,37
365	69,20	0,33	21,51	4,27	160,50	0,42
389	73,80	0,34	23,69	3,88	171,08	0,48
414	78,60	0,36	26,72	3,64	182,01	0,55
437	82,90	0,37	29,01	3,36	192,07	0,61
458	87,20	0,38	31,38	3,15	201,34	0,67
476	90,70	0,39	33,52	3,00	209,38	0,72
498	94,20	0,40	35,74	2,79	219,06	0,79
528	99,70	0,42	39,73	2,60	232,26	0,89

Quadro 31 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **detergente**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
47	10,5	0,14	1,23	142,71	17,33	0,01
73	15,5	0,16	2,17	65,50	27,13	0,02
96	19,9	0,17	3,03	41,20	35,40	0,03
123	24,7	0,18	4,05	26,22	45,33	0,05
158	31,2	0,19	5,49	16,62	58,39	0,08
181	35,3	0,21	6,88	13,83	66,92	0,10
208	40,4	0,22	8,30	11,01	76,88	0,14
236	45,5	0,24	10,22	9,30	87,17	0,18
261	50,3	0,25	11,82	7,87	96,72	0,22
288	55,4	0,27	14,07	7,00	106,63	0,26
315	60,2	0,28	15,90	6,07	116,45	0,32
341	64,9	0,30	18,38	5,50	126,31	0,37
366	69,3	0,31	20,32	4,92	135,51	0,43
390	73,9	0,32	22,40	4,48	144,40	0,49
417	79,0	0,34	25,46	4,18	154,21	0,55
439	83,2	0,35	27,63	3,88	162,46	0,61
461	87,6	0,36	29,96	3,65	170,45	0,68
478	91,0	0,37	32,01	3,48	177,01	0,73
502	94,8	0,38	34,27	3,22	185,77	0,80

Quadro 32 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **silicone**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
47	10,5	0,14	1,23	153,5	19,67	0,01
68	14,5	0,15	1,90	76,78	28,64	0,01
93	19,4	0,16	2,79	43,92	39,22	0,03
121	24,4	0,17	3,80	27,22	50,95	0,05
153	30,4	0,19	5,34	18,93	64,42	0,07
179	34,9	0,20	6,49	14,47	75,22	0,10
203	39,5	0,21	7,76	11,83	85,36	0,13
229	44,1	0,22	9,11	9,75	96,07	0,17
256	49,3	0,24	11,13	8,46	107,65	0,21
284	54,4	0,25	12,84	7,21	119,09	0,26
307	58,6	0,26	14,41	6,39	128,84	0,30
335	63,5	0,27	16,26	5,54	140,68	0,36
360	67,9	0,28	18,06	4,96	151,12	0,41
383	72,4	0,29	19,97	4,54	160,98	0,47
410	77,5	0,30	22,16	4,11	172,31	0,54
433	81,7	0,31	24,16	3,82	181,68	0,60

Quadro 33 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 70° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
47	10,4	0,13	1,15	100,44	27,1	0,01
74	15,4	0,14	1,92	42,88	42,73	0,02
95	19,6	0,15	2,67	27,88	35,05	0,03
125	25,0	0,17	3,90	18,00	72,29	0,05
158	31,3	0,19	5,51	12,40	91,85	0,08
179	34,9	0,20	6,49	10,10	103,88	0,10
210	40,8	0,21	8,03	7,70	122,06	0,14
235	45,3	0,23	9,78	6,74	136,26	0,18
259	49,8	0,24	11,25	5,78	150,27	0,21
286	55,0	0,26	13,48	5,13	166,12	0,26
311	59,5	0,27	15,18	4,50	180,55	0,31
338	64,2	0,29	17,60	4,08	196,00	0,36
361	68,2	0,30	19,37	3,69	209,13	0,41
385	73,0	0,32	22,12	3,46	223,46	0,47
411	77,8	0,33	24,35	3,14	238,14	0,54
432	81,9	0,34	26,44	2,92	250,75	0,60
451	85,8	0,35	28,54	2,78	261,70	0,65
469	89,2	0,36	30,54	2,65	271,99	0,70
493	93,0	0,37	32,75	2,45	285,69	0,77
519	97,8	0,38	35,41	2,26	301,09	0,86
536	100,7	0,39	37,42	2,17	310,93	0,92

Quadro 34 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
45	10,19	0,14	1,19	121,43	274,10	0,01
73	15,41	0,15	2,04	48,51	445,46	0,02
96	19,90	0,17	3,03	32,41	581,70	0,03
129	25,80	0,18	4,25	18,71	781,94	0,05
156	30,80	0,19	5,41	13,45	946,02	0,08
184	35,70	0,20	6,65	10,07	1116,01	0,11
212	41,20	0,22	8,48	8,30	1290,25	0,14
237	45,60	0,23	9,85	6,96	1438,53	0,18
263	50,50	0,24	11,42	5,88	1598,84	0,22
288	55,20	0,25	13,04	5,11	1750,87	0,26
315	60,10	0,26	14,80	4,43	1915,57	0,32
342	64,80	0,28	17,19	4,03	2077,70	0,37
366	69,10	0,29	19,02	3,63	2225,50	0,43
392	74,00	0,30	21,11	3,29	2381,77	0,49

Quadro 35 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 50° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,2	0,13	1,12	115,78	707,72	0,01
72	15,1	0,14	1,88	49,26	1117,28	0,02
95	19,7	0,15	2,68	30,20	1481,55	0,03
123	24,6	0,16	3,62	19,14	1906,92	0,05
153	30,2	0,17	4,78	13,04	2377,27	0,07
182	35,2	0,18	5,94	9,71	2819,61	0,11
207	40,0	0,19	7,16	7,92	3211,30	0,14
232	44,5	0,20	8,41	6,61	3598,29	0,17
259	49,5	0,21	9,86	5,57	4016,17	0,21
284	54,3	0,22	11,36	4,84	4412,93	0,26
311	59,1	0,23	12,95	4,22	4824,70	0,31
340	64,1	0,24	14,68	3,67	5271,21	0,37

Quadro 36 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,35	0,14	1,21	127,00	2372,41	0,01
73	15,34	0,15	2,03	53,44	3759,68	0,02
97	19,99	0,16	2,89	32,66	4984,10	0,03
124	24,90	0,17	3,88	20,73	6401,28	0,05
158	31,20	0,18	5,22	13,44	8164,12	0,08
183	35,50	0,19	6,31	10,51	9435,44	0,11
210	40,70	0,20	7,65	8,39	10851,46	0,14
237	45,40	0,20	8,59	6,60	12218,60	0,18
262	50,00	0,21	9,96	5,68	13493,04	0,22
288	55,00	0,22	11,51	4,90	14868,65	0,26
315	59,90	0,23	13,13	4,27	16266,26	0,32

Quadro 37 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **água**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
50	10,9	0,13	1,21	119,50	11904,07	0,01
74	15,5	0,14	1,93	56,69	17830,82	0,02
98	20,1	0,15	2,74	35,33	23459,78	0,03
131	26,0	0,16	3,85	20,73	31376,22	0,05
162	31,8	0,17	5,05	14,26	38919,53	0,08
184	35,7	0,18	6,03	11,53	44312,03	0,11
214	41,2	0,19	7,39	9,10	51302,64	0,15
238	45,5	0,19	8,21	7,32	57137,43	0,18
264	50,3	0,20	9,57	6,27	63337,60	0,22

Quadro 38 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **glicerina**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
45	10,20	0,14	1,19	124,58	19,86	0,01
72	15,29	0,16	2,14	54,77	31,74	0,02
97	20,20	0,18	3,24	34,34	42,63	0,03
123	24,90	0,19	4,29	22,11	54,20	0,05
158	31,40	0,21	6,06	14,79	69,53	0,08
183	35,80	0,23	7,59	11,98	80,41	0,11
209	40,70	0,24	9,07	9,63	91,76	0,14
234	45,30	0,26	10,96	8,28	102,78	0,17
261	50,50	0,28	13,19	7,13	114,92	0,22
288	55,70	0,30	15,62	6,26	126,94	0,27
312	60,00	0,32	17,96	5,70	137,20	0,31
340	64,90	0,34	20,66	5,08	149,41	0,37
365	69,40	0,35	22,80	4,52	160,60	0,42
389	74,10	0,37	25,75	4,21	171,22	0,48
414	78,80	0,38	28,19	3,83	182,11	0,55
441	83,90	0,04	31,62	3,56	193,92	0,62
460	87,90	0,41	34,00	3,36	202,46	0,67

Quadro 39 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **detergente**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,3	0,14	1,20	150,06	16,91	0,01
74	15,6	0,15	2,07	59,89	27,50	0,02
96	19,9	0,17	3,03	41,20	35,40	0,03
124	25,0	0,18	4,11	25,51	45,95	0,05
158	31,4	0,20	5,79	17,33	58,63	0,08
181	35,3	0,21	6,88	13,83	66,92	0,10
209	40,6	0,22	8,34	10,89	77,29	0,14
233	45,1	0,24	10,12	9,48	86,35	0,17
260	50,1	0,25	11,77	7,94	96,31	0,22
288	55,2	0,26	13,53	6,77	106,38	0,26
314	60,0	0,28	15,85	6,11	116,04	0,31
341	64,9	0,30	18,38	5,50	126,31	0,37
366	69,2	0,31	20,28	4,94	135,30	0,43

Quadro 40 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **silicone**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
41	9,3	0,13	1,00	193,11	17,02	0,01
74	15,4	0,14	1,92	61,41	30,94	0,02
100	20,6	0,16	2,98	38,26	41,98	0,03
127	25,5	0,17	3,98	24,66	53,51	0,05
157	31,1	0,19	5,47	18,01	66,05	0,08
186	36,1	0,20	6,73	13,44	78,03	0,11
210	40,8	0,21	8,03	11,03	88,39	0,14
236	45,4	0,22	9,40	9,16	99,10	0,18
263	50,5	0,24	11,42	8,04	110,45	0,22
289	55,3	0,25	13,07	6,96	121,18	0,27
314	60,0	0,27	15,31	6,33	131,90	0,31
341	64,6	0,28	17,14	5,55	143,06	0,37
368	69,4	0,29	19,10	4,92	154,44	0,43
392	74,1	0,30	21,14	4,48	164,76	0,49

Quadro 41 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 70° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
43	9,9	0,14	1,15	125,14	25,20	0,01
73	15,3	0,14	1,90	43,56	42,40	0,02
96	19,8	0,16	2,86	29,26	55,43	0,03
124	24,9	0,17	3,88	18,16	71,96	0,05
157	30,9	0,18	5,17	12,03	90,82	0,08
181	35,2	0,20	6,55	9,92	104,85	0,10
206	40,0	0,21	7,86	8,04	119,49	0,14
230	44,4	0,23	9,57	7,04	133,37	0,17
257	49,5	0,24	11,18	5,86	149,31	0,21
284	54,5	0,26	13,35	5,23	164,52	0,26
309	59,0	0,27	15,04	4,58	178,94	0,30
336	63,9	0,29	17,51	4,12	195,04	0,36
362	68,4	0,30	19,43	3,67	209,77	0,42
386	73,1	0,32	22,15	3,45	223,78	0,47
408	77,4	0,34	24,91	3,28	236,59	0,53

Quadro 42- Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
49	10,8	0,13	1,20	95,45	297,85	0,01
76	15,9	0,14	1,99	41,64	464,86	0,02
101	20,8	0,15	2,85	25,49	617,10	0,03
127	25,3	0,16	3,74	17,19	770,57	0,05
161	31,7	0,17	5,04	11,21	981,66	0,08
188	36,4	0,18	6,16	8,63	1145,17	0,11
214	41,3	0,19	7,41	7,07	1301,79	0,15
239	45,8	0,20	8,67	5,94	1453,48	0,18
266	50,9	0,22	10,61	5,27	1617,77	0,23
292	55,7	0,23	12,17	4,59	1773,11	0,27
319	60,6	0,24	13,84	4,00	1937,85	0,32
347	65,5	0,25	15,62	3,50	2109,60	0,38

Quadro 43 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 50° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
44	9,9	0,13	1,08	125,19	681,43	0,01
71	15,0	0,14	1,86	50,04	1108,61	0,02
97	20,1	0,16	2,90	30,98	1508,75	0,03
128	25,6	0,17	4,00	18,71	1985,79	0,05
158	31,2	0,18	5,22	12,91	2456,04	0,08
182	35,4	0,19	6,29	10,16	2829,86	0,11
207	40,1	0,20	7,53	8,32	3212,94	0,14
233	44,8	0,21	8,87	6,87	3617,14	0,17
259	49,7	0,22	10,35	5,80	4026,41	0,21
286	54,6	0,23	11,92	5,01	4431,73	0,26
313	59,5	0,24	13,58	4,35	4852,11	0,31

Quadro 44 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
45	10,15	0,14	1,18	133,67	2115,89	0,01
70	14,83	0,15	1,95	57,95	3303,21	0,02
93	19,42	0,16	2,80	34,91	4409,57	0,03
123	24,70	0,17	3,85	21,10	5800,68	0,05
156	30,80	0,18	5,15	13,83	7360,47	0,08
181	35,20	0,19	6,25	10,71	8548,34	0,10
207	40,10	0,20	7,53	8,66	9765,10	0,14
231	44,50	0,21	8,81	7,25	10915,09	0,17

Quadro 45 - Medidas experimentais para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **água**.

N (rpm)	U (V)	I (A)	Pu (W)	Np	N_{Re}	N_{Fr}
46	10,2	0,13	1,12	141,82	10954,65	0,01
73	15,2	0,14	1,89	59,39	17428,30	0,02
97	19,9	0,15	2,71	36,14	23196,19	0,03
130	25,9	0,16	3,83	20,91	31243,40	0,05
159	31,3	0,17	4,97	14,77	38256,31	0,08
184	35,7	0,18	6,03	11,53	44312,03	0,11
211	40,7	0,18	6,93	8,83	50745,42	0,14

Quadro 46 - Energia consumida e tempo de mistura para **parafuso** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	33,3	0,18	1,045	28,00
10	33,3	0,18	1,052	56,00
15	33,3	0,18	1,060	84,01
20	33,3	0,18	1,065	112,01
25	33,3	0,18	1,069	140,01
30	33,4	0,18	1,073	168,55
35	33,4	0,18	1,076	196,64
40	33,4	0,18	1,079	224,73
45	33,4	0,18	1,083	252,83
50	33,4	0,17	1,085	266,34
55	33,4	0,17	1,089	292,98
60	33,3	0,18	1,091	336,02
65	33,4	0,17	1,093	346,25
70	33,4	0,18	1,097	393,28
75	33,4	0,18	1,099	421,38
80	33,4	0,18	1,101	449,47
85	33,4	0,18	1,102	477,56
90	33,4	0,18	1,105	505,65
95	33,4	0,17	1,108	506,05
100	33,4	0,17	1,111	532,69
105	33,4	0,17	1,116	559,32
110	33,4	0,17	1,120	585,96
115	33,4	0,17	1,124	612,59
120	33,4	0,18	1,129	674,20
125	33,4	0,18	1,135	702,29
130	33,4	0,17	1,137	692,49
135	33,4	0,18	1,138	758,48
140	33,3	0,18	1,142	784,05
145	33,3	0,17	1,143	769,93
150	33,3	0,17	1,145	796,48
155	33,3	0,18	1,148	868,05
160	33,3	0,17	1,149	849,58
165	33,3	0,17	1,151	876,13
170	33,4	0,17	1,152	905,57
175	33,3	0,17	1,153	929,23
180	33,4	0,17	1,154	958,84
185	33,3	0,17	1,154	982,33

(Continuação - Quadro 33)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3 kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
190	33,3	0,17	1,155	1008,87
195	33,3	0,17	1,156	1035,42
200	33,3	0,17	1,156	1061,97
205	33,3	0,17	1,157	1088,52
210	33,3	0,17	1,157	1115,07
215	33,3	0,17	1,158	1141,62
220	33,3	0,17	1,158	1168,17
225	33,3	0,17	1,158	1194,72
230	33,3	0,17	1,159	1221,27
235	33,3	0,17	1,159	1247,82
240	33,3	0,17	1,160	1274,37
245	33,2	0,17	1,160	1296,75
250	33,2	0,17	1,160	1323,22
255	33,2	0,17	1,161	1349,68
260	33,2	0,17	1,161	1376,14
265	33,3	0,17	1,161	1407,11
270	33,3	0,17	1,161	1433,66
275	33,3	0,17	1,161	1460,21
280	33,2	0,17	1,162	1482,00
285	33,3	0,17	1,163	1513,31
290	33,3	0,17	1,163	1539,86
295	33,3	0,17	1,163	1566,41
300	33,3	0,17	1,163	1592,96
305	33,3	0,17	1,163	1619,51
310	33,3	0,17	1,163	1646,06
315	33,3	0,17	1,163	1672,61
320	33,3	0,17	1,163	1699,16
325	33,3	0,17	1,163	1725,71
330	33,4	0,17	1,163	1757,87
340	33,4	0,17	1,163	1811,13
350	33,4	0,17	1,163	1864,40
360	33,5	0,17	1,163	1923,79
370	33,5	0,17	1,163	1977,23
380	33,5	0,17	1,164	2030,67
390	33,5	0,17	1,164	2084,11
400	33,5	0,17	1,165	2137,55
410	33,5	0,17	1,165	2190,98
420	33,5	0,17	1,165	2244,42

Quadro 47 - Energia consumida e tempo de mistura para **fita helicoidal** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	33,7	0,18	1,061	28,36
10	33,7	0,18	1,092	56,72
15	33,7	0,18	1,100	85,09
20	33,7	0,18	1,119	113,45
25	33,7	0,17	1,123	134,45
30	33,7	0,17	1,126	161,34
35	33,7	0,17	1,128	188,23
40	33,7	0,17	1,131	215,11
45	33,7	0,17	1,133	242,00
50	33,8	0,17	1,135	269,74
55	33,8	0,17	1,137	296,72
60	33,8	0,17	1,138	323,69
65	33,8	0,17	1,139	350,67
70	33,8	0,17	1,140	377,64
75	33,8	0,17	1,142	404,61
80	33,8	0,17	1,143	431,59
85	33,8	0,17	1,144	458,56
90	33,8	0,17	1,145	485,54
95	33,8	0,17	1,146	512,51
100	33,8	0,17	1,147	539,49
105	33,8	0,17	1,149	566,46
110	33,8	0,17	1,150	593,44
115	33,8	0,17	1,150	620,41
120	33,8	0,17	1,151	647,38
125	33,8	0,17	1,152	674,36
130	33,8	0,17	1,153	701,33
135	33,8	0,17	1,154	728,31
140	33,8	0,17	1,155	755,28
145	33,8	0,17	1,155	782,26
150	33,8	0,17	1,156	809,23
155	33,8	0,17	1,156	836,20
160	33,8	0,17	1,157	863,18
165	33,8	0,17	1,157	890,15
170	33,8	0,17	1,158	917,13
175	33,8	0,17	1,158	944,10
180	33,8	0,17	1,159	971,08
185	33,8	0,17	1,160	998,05
190	33,7	0,17	1,160	1021,79
195	33,7	0,17	1,160	1048,68
200	33,7	0,17	1,161	1075,57
205	33,7	0,17	1,162	1102,46
210	33,7	0,17	1,162	1129,35
215	33,7	0,17	1,162	1156,24

(Continuação - Quadro 34)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3 kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
220	33,8	0,17	1,162	1186,87
225	33,8	0,17	1,163	1213,84
230	33,8	0,17	1,163	1240,82
235	33,8	0,17	1,163	1267,79
240	33,8	0,17	1,165	1294,77
245	33,8	0,17	1,165	1321,74
250	33,8	0,17	1,165	1348,72
255	33,8	0,17	1,165	1375,69
260	33,8	0,17	1,165	1402,66
265	33,9	0,17	1,165	1434,14
270	33,9	0,17	1,166	1461,20
275	33,9	0,17	1,166	1488,26
280	33,8	0,17	1,167	1510,56
285	33,8	0,17	1,167	1537,54
290	33,8	0,17	1,168	1564,51
295	33,8	0,17	1,168	1591,49
300	33,8	0,17	1,168	1618,46
305	33,8	0,17	1,169	1645,43
310	33,8	0,17	1,169	1672,41
315	33,8	0,17	1,169	1699,38
320	33,8	0,17	1,170	1726,36
325	33,8	0,17	1,170	1753,33
330	33,8	0,17	1,170	1780,31
335	33,8	0,17	1,171	1807,28
340	33,8	0,17	1,171	1834,25
345	33,8	0,17	1,171	1861,23
350	33,8	0,18	1,172	1991,62
355	33,8	0,18	1,172	2020,07
360	33,8	0,18	1,172	2048,52
365	33,8	0,18	1,172	2076,97
370	33,8	0,18	1,172	2105,43
375	33,8	0,18	1,172	2133,88
380	33,8	0,18	1,172	2162,33
385	33,8	0,18	1,172	2190,78
390	33,8	0,18	1,173	2219,23
395	33,8	0,17	1,174	2130,97
400	33,8	0,17	1,174	2157,95
405	33,8	0,17	1,174	2184,92
410	33,8	0,17	1,174	2211,89
415	33,8	0,18	1,174	2361,49
420	33,8	0,18	1,174	2389,94
425	33,8	0,18	1,174	2418,39
430	33,8	0,18	1,174	2446,85
435	33,8	0,17	1,174	2346,77

(Continuação - Quadro 34)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
440	33,8	0,17	1,174	2373,74
445	33,9	0,17	1,174	2408,28
450	33,8	0,17	1,175	2427,69
455	33,9	0,17	1,175	2462,40
460	33,9	0,17	1,175	2489,46
465	33,9	0,17	1,175	2516,52
470	33,9	0,17	1,175	2543,58
475	33,9	0,17	1,175	2570,64
480	33,9	0,17	1,175	2597,70
485	33,9	0,17	1,175	2624,75
490	33,9	0,17	1,175	2651,81
495	33,9	0,17	1,175	2678,87
500	33,9	0,17	1,175	2705,93
505	33,9	0,17	1,175	2732,99
510	33,9	0,17	1,175	2760,05
515	33,9	0,17	1,175	2787,11
520	33,9	0,17	1,175	2814,17
525	33,9	0,17	1,175	2841,23
530	33,9	0,17	1,175	2868,29
535	33,9	0,17	1,175	2895,35
540	34,0	0,17	1,175	2931,59
545	34,0	0,17	1,175	2958,73
550	34,0	0,17	1,175	2985,88
555	34,0	0,18	1,175	3178,12
560	34,0	0,18	1,176	3206,75
565	33,8	0,18	1,176	3215,04
570	33,8	0,18	1,176	3243,49

Quadro 48 - Energia consumida e tempo de mistura para **fita helicoidal** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	33,4	0,19	1,080	29,54
10	33,4	0,18	1,124	56,18
15	33,5	0,18	1,145	84,55
20	33,5	0,18	1,154	112,73
25	33,5	0,18	1,159	140,91
30	33,6	0,18	1,162	169,63
35	33,6	0,18	1,163	197,90
40	33,6	0,18	1,165	226,17
45	33,6	0,18	1,167	254,45
50	33,6	0,18	1,167	282,72
55	33,7	0,18	1,169	311,98
60	33,7	0,18	1,170	340,34
65	33,7	0,18	1,170	368,70
70	33,7	0,18	1,171	397,06
75	33,7	0,18	1,172	425,43
80	33,7	0,18	1,172	453,79
85	33,7	0,18	1,172	482,15
90	33,7	0,18	1,173	510,51
95	33,7	0,18	1,174	538,87
100	33,7	0,18	1,174	567,23
105	33,7	0,18	1,175	595,60
110	33,7	0,18	1,175	623,96
115	33,7	0,18	1,175	652,32
120	33,7	0,18	1,175	680,68
125	33,8	0,18	1,175	711,29
130	33,8	0,18	1,175	739,34
135	33,8	0,18	1,175	768,20
140	33,8	0,18	1,175	796,65
145	33,8	0,18	1,175	825,10
150	33,8	0,18	1,175	853,55
155	33,8	0,18	1,175	882,00
160	33,8	0,18	1,175	910,45
165	33,8	0,18	1,175	938,91
170	33,9	0,18	1,175	970,42
175	33,9	0,18	1,175	998,96
180	34,0	0,18	1,175	1027,50
185	34,0	0,18	1,175	1059,37
190	34,0	0,18	1,175	1088,00
195	33,9	0,18	1,175	1116,64
200	33,9	0,18	1,175	1141,67
205	34,0	0,18	1,175	1170,21
210	34,0	0,18	1,176	1202,53
215	34,0	0,18	1,176	1231,16

(Continuação - Quadro 35)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3 kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
220	34,0	0,18	1,176	1259,79
225	34,0	0,18	1,176	1288,43
230	34,0	0,18	1,176	1317,06
235	34,0	0,18	1,176	1345,69
240	34,0	0,18	1,176	1374,32
245	34,0	0,18	1,176	1402,95
250	34,0	0,18	1,176	1431,59
255	34,0	0,18	1,176	1460,22
260	34,0	0,18	1,176	1488,85
265	34,0	0,18	1,176	1488,85

Quadro 49 - Energia consumida e tempo de mistura para **parafuso** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	33,4	0,18	1,056	28,09
10	33,4	0,18	1,064	56,18
15	33,6	0,18	1,072	84,82
20	33,6	0,18	1,079	113,09
25	33,6	0,17	1,088	134,02
30	33,6	0,17	1,094	160,83
35	33,6	0,17	1,100	187,63
40	33,6	0,17	1,107	214,43
45	33,6	0,17	1,113	241,24
50	33,6	0,16	1,118	253,25
55	33,7	0,17	1,122	295,78
60	33,6	0,17	1,126	321,65
65	33,6	0,17	1,129	348,46
70	33,7	0,17	1,130	376,45
75	33,7	0,17	1,133	403,34
80	33,7	0,17	1,134	430,23
85	33,7	0,17	1,135	457,12
90	33,7	0,17	1,137	484,01
95	33,7	0,17	1,138	510,90
100	33,7	0,17	1,138	537,79
105	33,7	0,17	1,139	564,68
110	33,7	0,17	1,039	591,57
115	33,7	0,17	1,140	618,45
120	33,8	0,17	1,140	647,38
125	33,8	0,17	1,141	674,36
130	33,8	0,17	1,141	701,33
135	33,8	0,17	1,142	728,31
140	33,8	0,17	1,142	755,28
145	33,8	0,17	1,142	782,26
150	33,8	0,17	1,142	809,23
155	33,8	0,17	1,143	836,20
160	33,8	0,17	1,143	863,18
165	33,8	0,17	1,143	890,15
170	33,8	0,16	1,143	866,48
175	33,8	0,16	1,143	891,97
180	33,8	0,16	1,143	917,45
185	33,8	0,17	1,143	998,05
190	33,8	0,16	1,143	968,42
195	33,7	0,17	1,143	1048,68
200	33,7	0,17	1,143	1075,57
205	33,7	0,17	1,143	1102,46
210	33,8	0,16	1,143	1070,36
215	33,7	0,17	1,143	1156,24

(Continuação - Quadro 36)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3 kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
220	33,7	0,17	1,143	1183,13
225	33,7	0,17	1,143	1210,02
235	33,8	0,17	1,144	1267,79
245	33,8	0,16	1,144	1248,76
255	33,8	0,17	1,144	1375,69
265	33,9	0,17	1,144	1434,14
275	33,9	0,17	1,144	1488,26
285	33,9	0,17	1,144	1542,38
295	33,9	0,17	1,144	1596,50
305	33,9	0,17	1,144	1650,62

Quadro 50 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	36,6	0,20	1,100	34,17
10	36,6	0,20	1,193	68,34
15	36,1	0,20	1,219	101,01
20	36,7	0,20	1,232	137,08
25	33,7	0,20	1,239	156,35
30	37,3	0,20	1,244	209,22
35	37,2	0,20	1,247	243,39
40	37,1	0,20	1,250	277,36
45	35,7	0,20	1,253	299,43
50	35,5	0,20	1,253	330,70
55	35,6	0,20	1,254	364,87
60	35,4	0,19	1,255	377,24
65	37,3	0,19	1,258	432,15
70	33,7	0,19	1,259	417,51
75	33,7	0,19	1,260	447,33
80	33,7	0,19	1,263	477,15
85	33,7	0,19	1,263	506,97
90	33,7	0,19	1,264	536,79
95	33,7	0,19	1,266	566,62
100	33,7	0,19	1,266	596,44
105	33,6	0,19	1,269	624,27
110	33,5	0,19	1,269	651,90
115	33,7	0,19	1,270	685,90
120	33,7	0,19	1,270	715,73
125	33,7	0,19	1,271	745,55
130	33,7	0,19	1,271	774,80
135	33,7	0,19	1,272	805,19
140	33,7	0,19	1,273	835,01
145	33,7	0,19	1,274	864,84
150	33,7	0,19	1,275	894,66
155	33,6	0,19	1,275	921,53
160	33,7	0,19	1,276	954,30
165	33,8	0,17	1,278	890,15
170	33,7	0,19	1,278	1013,95
175	33,7	0,19	1,279	1043,77
180	33,7	0,19	1,280	1073,59
185	33,7	0,19	1,281	1103,41
190	33,7	0,19	1,281	1133,23
195	33,7	0,19	1,282	1163,06
200	33,7	0,19	1,282	1192,88
205	33,7	0,19	1,283	1222,70
215	33,8	0,19	1,283	1286,43
225	33,8	0,19	1,284	1346,26

(Continuação - Quadro 37)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10³kg m⁻³)	P_u θ (J)
230	33,8	0,19	1,285	1376,18
235	33,7	0,19	1,285	1401,63
240	33,7	0,19	1,285	1431,45
245	33,7	0,19	1,285	1461,27
250	33,8	0,19	1,285	1495,85
255	33,8	0,19	1,285	1525,76
260	33,7	0,19	1,286	1550,74
265	33,7	0,19	1,286	1580,56
270	33,7	0,19	1,286	1610,38
275	33,7	0,19	1,286	1640,21
280	33,7	0,19	1,286	1670,03
290	33,9	0,19	1,286	1740,69
300	33,9	0,19	1,286	1800,72

Quadro 51 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora convencional** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10³kg m⁻³)	P_u θ (J)
5	36,0	0,19	1,274	32,01
10	35,4	0,19	1,262	62,87
15	35,3	0,19	1,271	94,03
20	35,5	0,19	1,271	126,13
25	35,4	0,19	1,275	157,18
30	35,3	0,19	1,278	188,05
35	35,4	0,19	1,279	220,06
40	35,3	0,19	1,280	250,74
45	35,4	0,19	1,282	282,93
50	35,4	0,19	1,283	314,37
55	35,5	0,19	1,284	346,85
60	35,5	0,19	1,284	378,38
65	35,5	0,19	1,285	409,92
70	35,5	0,19	1,285	441,45
75	35,5	0,19	1,286	472,98
80	35,5	0,19	1,286	504,51
85	35,5	0,19	1,286	536,04
90	35,4	0,19	1,287	565,86

Quadro 52 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10³kg m⁻³)	P_u θ (J)
5	35,0	0,29	1,164	45,64
10	34,6	0,27	1,223	84,56
15	34,7	0,19	1,217	92,32
20	34,7	0,18	1,229	117,05
25	34,7	0,18	1,240	146,31
30	34,7	0,18	1,247	175,57
35	34,7	0,18	1,254	204,83
40	34,9	0,18	1,257	235,53
45	34,8	0,19	1,260	277,80
50	34,8	0,18	1,261	293,52
55	34,8	0,18	1,262	322,87
60	34,8	0,18	1,266	352,22
65	34,8	0,18	1,268	381,57
70	34,8	0,18	1,268	410,92
80	34,8	0,18	1,273	469,63
90	34,9	0,19	1,273	557,31
100	34,8	0,18	1,278	587,03
110	34,8	0,18	1,279	645,74
125	34,8	0,18	1,284	733,79
140	34,8	0,18	1,285	821,85
155	34,9	0,18	1,286	912,69
175	34,9	0,18	1,286	1030,46
195	35,0	0,18	1,286	1151,74
220	35,1	0,18	1,286	1303,35
245	35,1	0,18	1,286	1451,46
275	35,2	0,18	1,286	1634,14

Quadro 53 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	33,4	0,19	1,153	29,54
10	33,5	0,19	1,206	59,26
15	33,5	0,19	1,228	88,90
20	33,5	0,19	1,243	118,53
25	33,6	0,19	1,247	148,63
30	33,6	0,18	1,251	169,63
35	33,6	0,19	1,254	208,09
40	33,6	0,19	1,255	237,82
45	33,6	0,18	1,258	254,45
50	33,6	0,18	1,261	282,72
55	33,7	0,19	1,262	328,04
60	33,7	0,19	1,263	357,86
65	33,6	0,19	1,264	386,45
70	33,6	0,19	1,265	416,18
75	33,7	0,19	1,266	447,33
80	33,7	0,19	1,266	477,15
85	33,7	0,18	1,269	482,15
90	33,7	0,19	1,270	536,79
95	33,7	0,19	1,271	566,62
100	33,7	0,19	1,271	596,44
105	33,7	0,19	1,271	626,26
110	33,7	0,19	1,272	656,08
115	33,7	0,19	1,273	685,40
120	33,7	0,19	1,275	715,73
125	33,8	0,19	1,275	747,92
130	33,7	0,19	1,276	775,37
135	33,8	0,19	1,276	807,76
140	33,8	0,18	1,276	796,65
145	33,8	0,18	1,277	825,10
150	33,7	0,18	1,277	850,85
155	33,7	0,18	1,278	879,21
160	33,7	0,19	1,278	954,30
165	33,8	0,18	1,278	938,91
170	33,7	0,18	1,279	964,30
175	33,7	0,18	1,279	992,66
180	33,7	0,18	1,280	1021,02
185	33,7	0,18	1,280	1049,38
190	33,7	0,18	1,281	1077,74
195	33,8	0,18	1,282	1109,62
200	33,8	0,18	1,282	1138,07
205	33,7	0,18	1,282	1162,83
210	33,7	0,18	1,282	1191,19
215	33,8	0,18	1,283	1223,42

(Continuação - Quadro 40)

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3 kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
220	33,8	0,19	1,282	1316,34
225	33,8	0,19	1,283	1346,26
230	33,7	0,19	1,283	1371,81
235	33,8	0,19	1,283	1406,10
240	33,7	0,18	1,284	1361,36
245	33,7	0,18	1,284	1389,72
250	33,7	0,19	1,285	1491,10
255	33,8	0,18	1,285	1451,04
260	33,8	0,18	1,286	1479,49
265	33,7	0,18	1,286	1503,17
270	33,7	0,18	1,286	1531,53
275	33,8	0,19	1,286	1645,43
285	33,8	0,18	1,286	1621,75
295	33,9	0,18	1,286	1683,96
305	34,0	0,19	1,286	1836,52
315	34,0	0,18	1,286	1803,80
325	34,1	0,18	1,286	1866,91
335	34,2	0,18	1,286	1930,38
345	34,2	0,18	1,286	1988,01
355	34,3	0,18	1,286	2052,02
365	34,3	0,18	1,286	2109,82
375	34,4	0,19	1,286	2286,52
385	34,4	0,19	1,286	2347,49
395	34,5	0,19	1,286	2415,97
405	34,5	0,19	1,286	2477,14
415	34,5	0,19	1,286	2538,30
425	34,5	0,18	1,286	2471,94
435	34,6	0,18	1,286	2537,94
445	34,6	0,18	1,286	2596,28
455	34,6	0,19	1,286	2791,60
465	34,7	0,19	1,286	2861,79
475	34,7	0,19	1,286	2923,33
485	34,7	0,18	1,286	2838,38
495	34,7	0,18	1,286	2896,91
505	34,8	0,19	1,286	3117,56

Quadro 54 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **reto**, sem defletores - Fluido: **xarope 60° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	34,5	0,21	1,239	33,55
10	34,3	0,21	1,250	66,67
15	34,3	0,19	1,258	91,18
20	34,4	0,19	1,263	121,95
25	34,4	0,18	1,265	144,96
30	34,4	0,18	1,268	173,95
35	34,4	0,18	1,269	202,94
40	34,4	0,18	1,272	231,93
45	34,4	0,18	1,272	260,93
50	34,5	0,19	1,273	305,82
55	34,5	0,18	1,275	319,90
60	34,4	0,18	1,276	347,90
65	34,5	0,18	1,277	378,06
70	34,4	0,18	1,277	405,88
75	34,4	0,18	1,279	434,88
80	34,5	0,18	1,280	465,31
85	34,5	0,18	1,280	494,39
90	34,4	0,18	1,282	521,85
95	34,4	0,18	1,283	550,84
100	34,4	0,18	1,283	579,83
105	34,4	0,18	1,284	608,83
110	34,4	0,18	1,284	637,82
115	34,4	0,18	1,285	666,81
120	34,4	0,18	1,285	695,80
125	34,4	0,18	1,285	724,79
130	34,4	0,18	1,286	753,78
135	34,4	0,18	1,286	782,78
140	34,4	0,18	1,286	811,77
145	34,4	0,17	1,286	797,05
155	34,4	0,17	1,286	852,01
165	34,5	0,18	1,286	959,70
180	34,6	0,18	1,286	1050,18
195	34,6	0,18	1,286	1137,70
215	34,7	0,18	1,286	1258,25

Quadro 55 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora modificada** operando em vaso de fundo **toroesférico**, sem defletores - Fluido: **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10³kg m⁻³)	P_u θ (J)
5	33,2	0,19	1,062	29,35
10	33,2	0,19	1,097	58,69
15	33,4	0,18	1,115	84,28
20	33,4	0,18	1,126	112,37
25	33,4	0,18	1,132	140,46
30	33,4	0,18	1,136	168,55
35	33,4	0,17	1,142	186,44
40	33,4	0,18	1,145	224,73
45	33,4	0,18	1,146	252,83
50	33,4	0,18	1,149	280,92
55	33,4	0,18	1,152	309,01
60	33,4	0,18	1,154	337,10
65	33,4	0,18	1,155	365,19
70	33,4	0,18	1,157	393,28
75	33,4	0,18	1,159	421,38
80	33,5	0,18	1,160	450,91
85	33,5	0,18	1,163	479,09
90	33,5	0,18	1,164	507,27
95	33,5	0,18	1,165	535,45
100	33,5	0,18	1,167	563,63
105	33,5	0,18	1,168	591,82
110	33,5	0,18	1,168	620,00
115	33,5	0,18	1,169	648,18
120	33,5	0,18	1,169	676,36
125	33,5	0,18	1,170	704,54
130	33,5	0,18	1,171	732,72
135	33,5	0,18	1,172	760,91
140	33,5	0,18	1,172	789,09
145	33,5	0,18	1,173	817,27
150	33,5	0,18	1,174	845,45
155	33,5	0,18	1,175	873,63
160	33,5	0,18	1,175	901,81
165	33,5	0,18	1,175	930,00
170	33,5	0,18	1,175	958,18
175	33,5	0,18	1,175	986,36
180	33,5	0,18	1,175	1014,54
185	33,5	0,18	1,176	1042,72
190	33,5	0,18	1,176	1074,32
195	33,5	0,18	1,176	1099,09
200	33,5	0,18	1,176	1127,27

Quadro 56 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora simples** operando em um vaso de fundo **toroesférico** - Fluido **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10³kg m⁻³)	P_u θ (J)
5	33,8	0,18	1,050	28,45
10	33,8	0,18	1,116	56,90
15	33,8	0,18	1,130	85,36
20	33,1	0,17	1,137	105,52
25	33,9	0,18	1,143	142,71
30	33,9	0,18	1,148	171,25
35	33,8	0,18	1,152	199,16
40	33,8	0,17	1,156	215,79
45	33,9	0,18	1,159	256,88
50	33,9	0,19	1,163	300,12
55	33,9	0,18	1,165	313,96
60	33,9	0,18	1,167	342,50
65	34,0	0,17	1,169	352,88
70	34,0	0,17	1,170	380,02
75	34,0	0,17	1,172	407,16
80	34,0	0,17	1,173	434,31
85	34,0	0,17	1,174	461,45
90	34,0	0,17	1,175	488,60
95	34,0	0,17	1,176	515,74
100	34,0	0,17	1,176	542,89
105	34,0	0,17	1,176	570,03
110	34,0	0,17	1,176	597,18
160	34,4	0,17	1,176	879,50
220	34,6	0,17	1,176	1216,79
280	34,7	0,17	1,176	1553,40
400	35,0	0,18	1,176	2362,54
520	35,1	0,17	1,176	2920,25
700	35,4	0,17	1,176	3966,81
927	35,5	0,17	1,176	5268,94

Quadro 57 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora simples** operando em um vaso de fundo **reto** - Fluido **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	39,5	0,19	1,126	35,33
10	39,5	0,19	1,145	70,66
15	37,5	0,19	1,152	100,30
20	34,0	0,19	1,158	120,43
25	34,5	0,19	1,162	152,91
30	34,9	0,19	1,166	185,77
35	34,8	0,18	1,169	205,46
40	34,8	0,18	1,173	234,81
45	35,0	0,18	1,174	265,79
50	35,0	0,18	1,176	295,32
55	34,8	0,18	1,176	322,87
60	34,8	0,18	1,176	352,22
65	35,0	0,18	1,176	383,91

Quadro 58 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora modificada** operando em um vaso de fundo **reto** - Fluido **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	34,9	0,19	1,098	30,96
10	34,8	0,19	1,126	61,73
15	34,7	0,19	1,137	92,32
20	34,8	0,19	1,147	123,47
25	34,8	0,19	1,152	154,33
30	34,6	0,19	1,156	184,06
35	34,7	0,19	1,159	215,40
40	34,8	0,19	1,161	246,94
45	34,7	0,19	1,164	276,95
50	35,0	0,19	1,165	310,57
55	34,8	0,19	1,168	339,54
60	34,9	0,19	1,170	371,54
65	34,8	0,19	1,172	401,27
70	34,7	0,19	1,174	430,81
75	34,7	0,19	1,174	461,58
80	34,7	0,19	1,175	492,35
85	34,9	0,19	1,176	526,35
90	34,8	0,19	1,176	555,60
95	34,9	0,19	1,176	588,28
100	34,9	0,19	1,176	619,24

Quadro 59 - Energia consumida e tempo de mistura para **âncora modificada** operando em um vaso de fundo **toroesférico** - Fluido **xarope 40° Brix**.

θ (s)	U (V)	I (A)	ρ (10^3kg m^{-3})	$P_u \theta$ (J)
5	33,8	0,17	1,077	26,97
10	33,8	0,17	1,108	53,95
15	33,8	0,17	1,123	80,92
20	33,8	0,17	1,132	107,90
25	33,9	0,17	1,137	135,30
30	33,8	0,19	1,142	179,50
35	33,8	0,19	1,144	209,42
40	33,8	0,19	1,146	239,34
45	33,8	0,19	1,149	269,25
50	33,8	0,19	1,151	299,17
55	33,8	0,19	1,153	329,09
60	33,8	0,19	1,155	341,42
65	33,8	0,19	1,156	388,92
70	33,8	0,19	1,158	418,84
75	33,8	0,19	1,160	448,75
80	33,9	0,19	1,162	480,19
85	33,8	0,18	1,162	483,68
90	33,8	0,18	1,163	512,13
95	33,8	0,18	1,165	540,58
100	33,9	0,18	1,165	570,83
105	33,8	0,18	1,168	628,26
110	33,8	0,18	1,169	625,94
115	33,8	0,18	1,169	654,39
120	33,9	0,18	1,169	685,00
125	33,9	0,18	1,171	713,54
130	33,8	0,18	1,172	739,74
135	33,8	0,18	1,172	768,20
140	33,8	0,18	1,172	796,65
145	33,8	0,18	1,172	825,10
150	33,8	0,18	1,174	853,55
155	33,8	0,18	1,175	882,00
160	33,8	0,18	1,174	910,45
165	33,8	0,18	1,175	938,91
170	33,8	0,18	1,175	967,36
175	33,8	0,18	1,175	995,81
180	33,8	0,18	1,175	1024,26
185	33,8	0,18	1,176	1052,71
190	33,8	0,18	1,176	1081,16
195	33,8	0,18	1,176	1109,62
200	33,8	0,18	1,176	1138,07

APÊNDICE B

Quadro 60. Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos. Âncora convencional- vaso com fundo toroesférico.

N _{Re}	FLUIDOS				média	3 σ_m
	Glicerina	detergente	silicone	xarope		
10	398	316	398	501	403	98
15	200	159	208	251	205	15
20	123	97	131	154	126	30
25	84	67	92	105	87	21
30	62	49	67	77	64	17
35	47	38	54	60	50	12
40	38	30	43	48	40	9
45	31	25	36	39	33	14
50	26	21	30	33	27	8

Quadro 61. Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos. Âncora convencional-vaso com fundo reto.

N _{Re}	FLUIDOS				média	3 σ_m
	glicerina	detergente	silicone	xarope		
10	398	398	501	501	450	77
15	200	200	251	251	226	39
20	123	123	154	154	138	24
25	84	84	106	106	95	17
30	62	62	77	77	70	12
35	47	47	60	60	54	9
40	38	38	48	48	43	8
45	31	31	39	39	35	6
50	26	26	33	33	29	17

Quadro 62. Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos. Âncora modificada-vaso com fundo toro esférico.

N _{Re}	FLUIDOS				média	3 σ_m
	glicerina	detergente	silicone	xarope		
10	316	316	501	398	383	114
15	159	159	251	208	194	59
20	97	97	154	131	120	62
25	67	67	105	92	83	62
30	49	19	77	69	61	27
35	38	38	60	54	47	15
40	30	30	48	43	38	12
45	25	25	39	36	31	11
50	21	21	32	30	26	9

Quadro 63. Valores calculados para cada uma das retas experimentais dos Quadros (8) e (9) com os respectivos erros estatísticos. Âncora modificada-vaso com fundo reto.

N _{Re}	FLUIDOS				média	3 σ_m
	glicerina	detergente	silicone	xarope		
10	316	316	398	501	383	114
15	165	159	200	252	194	56
20	104	97	123	154	120	33
25	73	66	84	106	82	21
30	55	49	62	77	61	17
35	43	38	47	60	47	12
40	34	30	38	48	37	9
45	29	25	31	39	31	8
50	24	21	26	33	26	6