

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

**“ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR TRANSIENTE
POR AGITAÇÃO INTERMITENTE EM EMBALAGENS”**

HOMERO FERRACINI GUMERATO

Tese apresentada à
Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP
– Campus de Botucatu, para obtenção do título
de Doutor em Agronomia – Programa de Pós-
Graduação em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU – SP

Dezembro – 2004

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

**“ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR TRANSIENTE
POR AGITAÇÃO INTERMITENTE EM EMBALAGENS”**

HOMERO FERRACINI GUMERATO

Orientador: Prof. Dr. José Santo Goldoni
Co-Orientador: Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt

Tese apresentada à
Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia – Programa de Pós-
Graduação em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU – SP
Dezembro – 2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G974e Gumerato, Homero Ferracini, 1957-
Estudo da transferência de calor transiente por
agitação intermitente em embalagens / Homero Ferracini
Gumerato. -- Botucatu, [s.n.], 2004.
viii, 118 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agronômicas.

Orientador: José Santo Goldoni.

Co-orientador: Flávio Luís Schmidt.

Inclui bibliografia.

1. Calor - Transmissão. 2. Esterilização. I. Goldoni,
José Santo. II. Schmidt, Flávio Luís. III. Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de
Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III.
Título.

CDD 621.4022

Palavras-chave: Agitação intermitente ; Pasteurização.

Agradecimentos:

José Santo Goldoni, Prof. Dr. (Orientador)

Flávio Luís Schmidt, Prof. Dr. (Orientador)

Adriana Barbosa Assunção Pereira
Ahron Ragusa Guimarães
Alfredo de Almeida Vitali, Dr.
Angela Maria Pinheiro
Antônio Frutuoso Leite
Aparecida Pinto de Oliveira
Camila Joana Fernandes Nascimento
Cristiano Lima Goldoni
Danilo de Oliveira
Eliana Soares Marinelli
Elizabeth de Almeida Lepori
Glaucio Gumerato Ramos
Grazielle Christina Camargo de Souza
Hernani Ferracini Gumerato
Hildete Conceição Pereira
Jayme de Toledo Piza e Almeida Neto, Dr.
José Gasparino Filho, Dr.
José Geraldo da Silva
Luis Cypriano
Marcelo Cristianini, Dr.
Marcia Paisano Soler, Dra.
Marco Antonio M. Biaggioni, Dr.
Maria Fernanda Penteado M. de Castro, Dra.
Maria Lucia Cordeiro
Meire Cristina N. de Andrade
Péricles Ferracini Gumerato
Ricardo del Corosso
Samanta Lepori de Camargo
Thais Blumer Sanchez
Valdecir Julio Oliveira
Valquiria Ros Polskiv
Vânia Aparecida Masson
Vitoria Ferracini Gumerato

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	V
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
4.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALIMENTOS.....	10
4.2 PROCESSOS DE ESTERILIZAÇÃO SOB AGITAÇÃO	11
4.3 ANÁLISE DIMENSIONAL PARA TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	12
4.4 MODELAMENTO FÍSICO DE PROCESSOS	14
4.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALIMENTOS POR CONDUÇÃO.....	14
4.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALIMENTOS POR CONVECÇÃO	17
4.7 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALIMENTOS POR CONVECÇÃO FORÇADA	19
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
5.1 PÓRTICO SUPORTE AGITAÇÃO.....	23
5.2 TANQUE DE PASTEURIZAÇÃO	25
5.3 AUTOCLAVE STOCK.....	26
5.3.1 <i>Programação da autoclave Stock.....</i>	<i>26</i>
5.3.2 <i>Metodologia para agitação rotativa “end-over-end”</i>	<i>28</i>
5.4 MEIOS SIMULADORES	29
5.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA LATA EXPERIMENTAL	30
5.6 ENCHIMENTO E RECRAVAÇÃO	30
5.7 TERMOPARES E AQUISITOR DE DADOS.....	31
5.7.1 <i>Gerador de frequência</i>	<i>31</i>
5.7.2 <i>Medidas de frequência de agitação e comprimento de curso</i>	<i>31</i>

5.8	CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE TRANSFERÊNCIA TÉRMICA.....	32
5.8.1	<i>Aquecimento</i>	33
5.8.2	<i>Resfriamento</i>	33
5.9	CÁLCULO DE H A PARTIR DE FH.....	33
5.10	PROPRIEDADES TERMO-FÍSICAS DOS FLUIDOS	34
5.10.1	<i>Viscosidade</i>	35
5.10.1.1	Dependência da viscosidade com a temperatura	36
5.10.2	<i>Massa específica</i>	36
5.10.2.1	Dependência da massa específica com a temperatura.....	37
5.10.3	<i>Calor específico</i>	37
5.10.3.1	Dependência do calor específico com a temperatura	38
5.10.4	<i>Condutividade térmica</i>	38
5.10.4.1	Dependência da condutividade térmica a temperatura.....	38
5.11	CÁLCULO DO NÚMERO DE AMOSTRAS.....	39
5.12	CÁLCULO DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DAS MEDIDAS	39
5.13	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
5.14	AVALIAÇÃO DO MODELO GERAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	41
6	RESULTADOS	42
6.1	ENVASE DE MEIO SIMULANTE NAS LATAS	42
6.2	MASSA ESPECÍFICAS DOS FLUIDOS	43
6.3	CALOR ESPECÍFICO DOS FLUIDOS	44
6.4	CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS FLUIDOS	44
6.5	VISCOSIDADES DOS FLUIDOS	45
6.6	DIFUSIVIDADE TÉRMICA DOS SIMULANTES	46
6.7	PARÂMETROS DE PENETRAÇÃO DE CALOR EM LATAS COM MEIOS SIMULANTES	47
6.8	RESULTADOS DOS PARÂMETROS OBTIDOS NOS TESTES	49
6.9	RESULTADOS DOS VALORES DE FH DE CADA SIMULANTE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA DE AGITAÇÃO.....	52
6.10	RESULTADOS DOS VALORES DE F_C DE CADA SIMULANTE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA DE AGITAÇÃO.....	65
6.11	MEDIDAS DA FREQUÊNCIA DE OSCILAÇÃO DO PÓRTICO	77

6.12	MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	78
6.12.1	<i>Modelo de cálculo de fh para latas na posição vertical.....</i>	79
6.12.2	<i>Modelo de cálculo de fc para latas na posição vertical.....</i>	85
6.13	COMPARAÇÃO ENTRE ROTAÇÃO E AGITAÇÃO “END–OVER–END”	88
6.14	ANÁLISE ECONÔMICA DE COMPARAÇÃO DE AUTOCLAVES	90
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	96
8	CONCLUSÕES.....	101
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	103
10	APÊNDICE	107
10.1	EXEMPLO DE CÁLCULO DE FH E FC PARA UM ALIMENTO	107
10.2	TABELAS DE DADOS DE PARÂMETROS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas da lata de aço utilizada no trabalho.....	30
Tabela 2. Delineamento experimental para avaliação dos tratamentos.....	41
Tabela 3. Envase de fluidos nas latas	42
Tabela 4. Massas específicas dos fluidos em função da temperatura.....	43
Tabela 5. Parâmetros da massas específicas dos fluidos em função da temperatura	43
Tabela 6. Calor específico dos fluidos	44
Tabela 7. Condutividade térmica dos fluidos	45
Tabela 8. Viscosidades dos fluidos em função da temperatura.....	45
Tabela 9. Parâmetros do modelo de Arrhenius para viscosidade dos meios simulantes.....	46
Tabela 10. Difusividade térmica dos fluidos	46
Tabela 11. Resultado da análise do modelo $fh = \text{Espaço livre} + \text{Amplitude} + \text{Frequência} +$ Posição \times Simulante	78
Tabela 12. Coeficientes da equação de transferência de calor, no aquecimento, para latas verticais sob agitação alternada	79
Tabela 13. Coeficientes da equação de transferência de calor, no resfriamento, para latas verticais sob agitação alternada	85
Tabela 14. Comparação dos valores de fh obtidos para agitação rotativa e alternada	88
Tabela 15. Anova dos processos Stock 20 rpm centro, Stock 20 rpm 400 mm afastamento e Alternada 25 mm amplitude 132 rpm.....	89
Tabela 16. Resumo dos fh para Stock 20 rpm latas no centro, Stock 20 rpm latas a 400 mm afastamento e Alternada 25 mm amplitude 132 rpm.....	89
Tabela 17. Custos utilizados no cálculo de comparação de autoclaves.....	92
Tabela 18. Discriminação das características técnicas das autoclaves estática, agitada e modificada	94
Tabela 19. Comparação de custos das autoclaves estática, agitada e modificada.....	95
Tabela 20. Resultados de penetração de calor em Água	110
Tabela 21. Resultados de penetração de calor em Neutral oil 150.....	112
Tabela 22. Resultados de penetração de calor em Neutral oil 500.....	114
Tabela 23. Resultados de penetração de calor em Bright stock oil	117

LISTA DE SÍMBOLOS

A = Amplitude de agitação (mm)

A = Área externa da embalagem (m^2)

$C_p = \frac{J}{kg \cdot K}$ = calor específico

cpm = ciclos por minuto

D (m) = diâmetro interno da embalagem

$d < |\mu - \bar{x}|$ = diferença entre a média populacional e sua estimativa.

E_a = Energia de ativação J/gmole

el = espaço livre na lata (mm)

F = Frequência de agitação (ciclos por minuto)

fc = Tempo para a curva de resfriamento atravessar um ciclo logarítmico (min)

fh = Tempo para a curva de aquecimento atravessar um ciclo logarítmico (min)

$h = \frac{W}{m^2 \cdot K}$ = coeficiente de película

jc = Fator de curvatura ou fator de atraso no resfriamento (-)

jh = Fator de curvatura ou fator de atraso no aquecimento (-)

$k = \frac{W}{m \cdot K}$ = condutividade térmica

K = Kelvin

L = altura da lata (mm) ou (m)

n = número de amostras

$$Nu = \frac{hD}{k} = \frac{W}{m^2 \cdot K} m \frac{1}{W/(m \cdot K)} = \text{Número de Nusselt}$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{J}{kg \cdot K} \frac{kg}{m \cdot s} \frac{1}{J/(s \cdot m \cdot K)} = \text{Número de Prandtl}$$

R = Constante dos gases $8,31439 \pm 0,00034$ J/(gmole·K) PERRY e CHILTON (1977)

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu} = m \frac{m}{s} \frac{kg}{m^3} \frac{1}{kg/(m \cdot s)} = \text{Número de Reynolds}$$

$$Re_A = \frac{D_{lata} \cdot (2 \cdot xa \cdot xf) \cdot \rho}{\mu} = \frac{m \cdot m \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{kg}{m^3}}{\frac{kg}{(m \cdot s)}} = \text{Número de Reynolds adaptado}$$

Re_c = Número de Reynolds crítico

$r_{cilindro}$ = raio do cilindro do reômetro (m)

r_{copo} = raio do copo do reômetro (m)

R^2 = Coeficiente de determinação múltipla. Proporção entre a parte não explicada pelo modelo de regressão linear.

rpm = rotações por minuto

s = desvio padrão da amostra e símbolo de segundo.

T_w = Temperatura da água de resfriamento (°C)

T_∞ = Temperatura do meio de aquecimento no processo (°C)

T_{ic} = Temperatura do produto no início do resfriamento (°C)

T_0 = Temperatura inicial do produto no início do aquecimento ($^{\circ}\text{C}$)

T_{pih} = Temperatura pseudo inicial do produto no início do aquecimento ($^{\circ}\text{C}$)

T_{pic} = Temperatura pseudo inicial do produto no início do resfriamento ($^{\circ}\text{C}$)

$t_{(gl;\alpha)}$ = t de student, com parâmetros gl e α

V = Volume do produto envasado na embalagem (m^3)

Va = velocidade de agitação = $2 \times A \times F$ (m/s)

xa = amplitude de agitação (mínimo = 1) (m)

xa/A = razão entre amplitude de agitação (mínimo = 1) e amplitude máxima de agitação (adimensional)

xf = frequência de agitação (mínimo = 1) (cpm)

xf/F = razão entre frequência de agitação (mínimo = 1) e frequência máxima de agitação (adimensional)

\bar{x} = média amostral de uma variável ou estimativa da média populacional

Z = Valor da função acumulada de probabilidade normal (função de α)

α = nível de significância estatística

$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} = \frac{m^2}{s}$ = difusividade térmica

μ = média populacional de uma variável

λ = Amplitude de agitação (m)

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{s} = \text{gradiente de tensão}$$

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \text{massa específica do fluido}$$

$$\tau = Pa = N = kg \frac{m}{s^2} \frac{1}{m^2} = \text{tensão de cisalhamento}$$

$$v_b = \frac{m}{s} = \text{velocidade linear periférica do cilindro}$$

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{Pa}{1/s} = Pa \cdot s = \frac{N}{m^2} \cdot s = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \frac{1}{m^2} \cdot s = \text{viscosidade}$$

1 RESUMO

Foi estudado processo de transferência de calor transiente por agitação intermitente em embalagens, visando a conservação de alimentos por tratamento térmico com processo mais econômico e que mantivesse a qualidade de alimentícios. Objetivou-se o desenvolvimento de um processo baseado em agitação intermitente de embalagens para aplicação em pasteurização ou esterilização. O estudo da transferência de calor transiente em sistema com movimento linear alternado foi realizado em embalagens metálicas, em 4 meios simulantes de diferentes viscosidades e massas específicas: 3 óleos orgânicos e água. Foram combinados efeitos de 5 tratamentos, sendo: meio simulante (4 níveis), espaços livres (3 níveis), frequência de agitação (4 níveis), amplitude de agitação (2 níveis) e posições das latas (4 níveis). Os ensaios de aquecimento e resfriamento foram feitos em tanque com água a temperatura de 98°C e 17 a 20°C, respectivamente. Com os dados de penetração de calor em cada experimento foram calculados os parâmetros de penetração de calor fh , jh , fc e jc . Os resultados foram modelados utilizando-se grupos de números adimensionais e foram expressos em Nusselt, Prandtl, Reynolds e funções trigonométricas (com medidas de amplitude e frequência de agitação, espaço livre e dimensões da embalagem). Foram estabelecidas as duas Equações:

$$Nu = Re_A^{-0.199} \cdot Pr^{-0.288} \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{xa}{A}\right)^{0.406} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F}\right)^{-1.039} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F} \frac{el}{H} \pi\right)^{-4.556} \quad (\text{Aquecimento})$$

e

$$Nu = 0.1295 Re_A^{-0.047} \cdot Pr^{-0.193} \cdot \text{sen}\left(\frac{xa}{A}\right)^{0.114} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F}\right)^{-0.641} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F} \frac{el}{H} \pi\right)^{-2.476} \quad (\text{Resfriamento})$$

Os resultados mostraram que a transferência de calor transiente na agitação alternada é mais eficiente que a agitação “end-over-end”, nas condições limites de 132 ciclos por minuto e amplitude de agitação de 25 mm e 20 rpm de rotação para transferência de calor em processo agitado rotativo (“end-over-end”). A agitação intermitente poderá ser aplicada em pasteurizadores ou autoclaves estáticas horizontais e verticais, com modificações simples. Concluiu-se que o custo da adaptação do sistema de agitação em uma autoclave estática foi 45% menor que o custo de uma autoclave rotativa convencional.

Palavras-chave: Transferência de calor, agitação intermitente, esterilização, pasteurização, autoclave.

2 SUMMARY

STUDE ON TRANSIENT HEAT TRANSFER BY INTERMITTENT SHAKE IN CANS

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Homero Ferracini Gumerato

Adviser: José Santo Goldoni

Transient heat transfer was studied by intermittent shake in cans with linear system, in order to preserve food by heat thermally processed, applying process more economic, and keeping high food quality. The objective was developing a process based on intermittent shake in cans to applying in pasteurisation or sterilisation process. Heat transfer was carried out in metallic cans filled four different simulate medium: water, Neutral oil 150 and 500 and Bright stock oil. It was arranged five treatments: simulate media (4 levels), head space (3 levels), agitation frequency (4 levels), length of agitation (2 levels) and cans positions (4 levels). The tests were carried out in hot water tank at temperature 98°C and cool at 17~20°C. Heat transfer parameters (fh , jh , fc and jc) for each test was calculated. Results were expressed applying dimensionless numbers equations for heat and cool. Data were computed

applying dimensionless numbers and were assign as Nusselt, Prandtl, Reynolds and trigonometric functions. Results obtained from linear shake system were compared with end–over–end agitation, and shake linear system showed more efficient. Shake linear system can be applied in pasteurisation or static retorts with simple internal structure fits. This system is less expensive than conventional end–over–end agitation retorts. Were defined two Equations:

$$Nu = Re_A^{-0.199} \cdot Pr^{-0.288} \cdot sen\left(\frac{xa}{A}\right)^{0.406} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F}\right)^{-1.039} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F} \frac{el}{H} \pi\right)^{-4.556} \quad (\text{Heat fase})$$

$$Nu = 0.1295 Re_A^{-0.047} \cdot Pr^{-0.193} \cdot sen\left(\frac{xa}{A}\right)^{0.114} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F}\right)^{-0.641} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F} \frac{el}{H} \pi\right)^{-2.476} \quad (\text{Cool fase})$$

Results show that transient heat transfer in shake process is more efficient than “end–over–end” process, when applied at boundary conditions of 132 cycles per minute and shake amplitude of 25 mm against 20 rpm for “end–over–end” process heat transfer. Intermittent shake can be applied pasteurisation devices or static retorts (horizontal or verticals), with simple system improvement. Eventually, it was concluded that the cost to modifications in static retort was 45% less than that one for a rotative retort.

Key words: Heat transfer, shake, sterilization, pasteurization, retort.

3 INTRODUÇÃO

O processo de prolongar a vida de prateleira entre a colheita do alimento e o seu consumo é chamado de preservação. Com a preservação é possível manter, em níveis adequados, as qualidades nutritivas, de sabor, de aroma, de textura, de estabilidade da matriz do alimento (homogeneidade), bem como a garantia microbiológica no alimento durante sua estocagem (sanidade).

Existem vários processos de preservação de alimentos: químicos, biológicos, físicos e métodos combinados.

Os métodos químicos consistem na manipulação de substâncias tais como sais, ácidos orgânicos, açúcares, agentes antimicrobianos, agentes anti oxidantes, entre outros. Os métodos biológicos fazem uso da produção direta de metabólitos primários ou secundários que atuam na preservação de alimentos, tipicamente produtos de fermentação alcoólica ou ácida.

Os métodos físicos são aqueles que usam isoladamente ou em conjunto os seguintes processos: aquecimento, congelamento, irradiação, secagem, alta pressão e embalagens como barreiras adequadas. O processo térmico é o mais utilizado nas indústrias de conservas alimentos de baixa acidez e acidificados.

A aplicação do calor para preservação de alimentos é conhecida como processamento térmico. Dependendo da intensidade e finalidade o processo é aplicado como: branqueamento, despelação, pasteurização, esterilização e esterilização comercial, esterilização em alta temperatura e curto tempo (do inglês “HTST” *High temperature and short time*). Os parâmetros de tempo e temperatura sempre estão associados aos processos descritos acima.

O branqueamento é aplicado na inativação de enzimas em frutas e vegetais, despelação, expulsão de gases de tecidos vegetais, desinfecção externa do alimento, diminuição do volume do vegetal, fixação de cor e textura e pré aquecimento do produto. Em alguns casos remove odores e aromas desagradáveis. A despelação é aplicada em vegetais e peixes com a finalidade de remover ou facilitar a remoção de suas peles. Tanto o branqueamento como a despelação não são processos de conservação de um alimento. São processos que, dependendo dos parâmetros térmicos, podem diminuir a flora microbiana ou mesmo ativar formas termoresistentes de bactérias e fungos.

Qualquer processamento térmico aplicado a alimentos não visa a eliminação total e incondicional de todas as formas de microrganismos. O modelo que rege a aplicação de processos térmicos é estatístico.

A pasteurização é um processo mais brando de tratamento térmico. A pasteurização tem por finalidade reduzir a flora microbiana patogênica e microrganismos deterioradores. É aplicada quando tratamentos mais severos poderiam afetar as propriedades sensoriais e nutricionais do alimento. Exemplos de sua aplicação são os alimentos ácidos ($\text{pH} < 4,6$) e com elevada atividade de água $\geq 0,85$, sucos de frutas, ou aqueles alimentos que serão estocados em baixa temperatura, como, produtos lácteos e filet ou posta de atum. A Pasteurização deve ser empregada em conjunto com outros métodos de conservação, tais como: refrigeração, acidificação ou agentes anti microbianos.

A esterilização é um processo mais severo de tratamento térmico. É aplicado a alimentos de baixa acidez, $\text{pH} \geq 4,6$ e atividade de água $\geq 0,85$, por exemplo produtos cárneos, sem processamento posterior, leite “longa vida”. A esterilização tem por

finalidade reduzir as formas microbianas de resistência, por exemplo, endosporos bacterianos do gênero *Clostridium*. Alimentos de baixa acidez $\text{pH} \geq 4,6$ e atividade de água $\geq 0,85$ e a operação de acidificação requerem, incondicionalmente, extremo cuidado no processo, independente de sua origem (animal ou vegetal). Por exemplo, se o processo for negligenciado, o *Clostridium botulinum* pode se desenvolver em leite de coco (SOLER *et al.*, 1996) e em palmito acidificado em conserva (ANVISA, 2004), que são produtos consumidos no Brasil.

O *Clostridium botulinum* não se desenvolve em atividade de água abaixo de 0,93. Contudo, o limite de atividade de água 0,85 (descrito acima) restringe o desenvolvimento de *Staphylococcus aureus*. O gênero *Staphylococcus* compreende microorganismos Gram-positivos, catalase-positiva, forma cocos, que podem causar síndromes em humanos incluindo gastroenterites (JAY, 1996). Sua resistência térmica é baixa, desprezível em processos de esterilização, sua toxina, porém, é termoresistente.

A intensidade do tratamento térmico (tempo e temperatura) num alimento vai depender da acidez, atividade de água e dos tipos de microorganismos que possam se desenvolver no alimento, bem como, do processo de estocagem (vida de prateleira) que será permitido ao alimento.

O objetivo de um tratamento térmico num alimento, do ponto de vista de sua segurança alimentar é destruir a maior quantidade de microorganismos alvo existentes no alimento e ao mesmo tempo provocar o mínimo de perdas na qualidade do produto: nutrientes, cor e aroma.

O *Clostridium botulinum* pertence ao gênero *Clostridium* cujos representantes são bactérias formadoras de esporos, anaeróbias e que habitam o solo e o trato intestinal. O nome da espécie, botulinum, vem do Latim e significa botulus que é salsicha ou chouriço. Os tipos de *Clostridium botulinum* conhecidos são do tipo A e B, que são alvos no processo de esterilização e o tipo E em pescados (STUMBO, 1973).

O *Clostridium botulinum* é o microrganismo alvo na indústria em alimentos de baixa acidez. Esse microrganismo desenvolve-se em alimentos com $\text{pH} > 4,6$ e $A_a > 0,93$ e nessas condições, produz toxina quando incubado em temperaturas maiores que 5°C . Esse clostridio tem metabolismo anaeróbico e produz esporos resistentes ao calor. A forma vegetativa desse clostridio é pouco termoresistente. Para a destruição de seus esporos (endosporos) é necessário aquecer o alimento a temperaturas superiores a 100°C .

Na pasteurização, o microrganismo alvo varia com o alimento e o processo envolvido, porém, em geral, bolores termoresistentes como: *Neosartorya fischeri*, *Byssochlamys nivea*, bacilos: *Bacillus coagulans*, *B. subtilis*, Clostridium: *Clostridium pasteurianum*, *C. butyricum*, *C. sporogenes*, dentre outros, podem ser microrganismos alvo de processo.

A letalidade de um processamento térmico é uma função dos parâmetros térmicos, ou seja, tempo e temperatura, conforme Equação (1):

$$L = \int_{t=0}^{t=t} 10^{\left(\frac{T-Tr}{z}\right)} \cdot dt \quad (1)$$

Onde T_r é a temperatura de referência, que no caso do alvo microbiológico do *Clostridium botulinum* é de $121,1^\circ\text{C}$. Essa equação permite relacionar parâmetros térmicos com efeito do tratamento térmico num determinado microrganismo, sem que seja necessária a manipulação microbiana numa planta industrial, para efeito de avaliação de um processo térmico industrial.

O *Clostridium botulinum* tipo A apresenta índice de redução decimal, D , de 0,23 minutos a temperatura de $121,1^\circ\text{C}$ e índice térmico, z , de 10°C . Quando se trata da letalidade sobre o *Clostridium botulinum* convencionou-se mencionar a letalidade calculada na temperatura de $121,1^\circ\text{C}$ e a letalidade codificada como F_0 em minutos.

Os equipamentos para esterilização de alimentos em embalagens, mais conhecidos como autoclaves, são vasos de pressão que permitem alojar embalagens e processá-las a temperaturas acima de 100°C . A autoclave pode utilizar somente vapor, ou

mistura de vapor e ar com agitação por ventilador, ou água quente, ou chuveiro de água quente a pressão maior que a atmosférica, dependendo de sua construção. De modo geral, as autoclaves que utilizam mistura de ar e vapor de água são mais econômicas do que aquelas que utilizam somente vapor, por não necessitarem da etapa de desaeração.

As autoclaves mostram evolução de construção mecânica associada a princípios de funcionamento orientados pela (1) economia de combustível (na geração de vapor), (2) alimentos processados e (3) embalagens. Uma autoclave comum, que utiliza vapor direto para esterilização, sem agitação, consome 50% do vapor de processo durante a desaeração (TOLEDO, 1991). Autoclave agitada, utilizando rotação “end-over-end” foi desenvolvida para aumentar a transferência de calor entre o meio de aquecimento, originalmente água quente, para as embalagens. Com essa modificação diminuiu-se o tempo de processo e o consumo de óleo combustível. Com o efeito da agitação melhorou-se a qualidade do alimento processado (TOLEDO, 1991).

Processos de esterilização e pasteurização sob agitação vêm sendo estudados desde 1950: Clifcorn *et al.* (1950), Quast e Siosawa (1975), Quast *et al.* (1977), Teixeira Neto *et al.* (1981), Yamagata *et al.* (1982) e Pinto Neto (1989). A vantagem de autoclaves e pasteurizadores que promovem agitação é a elevada taxa de transferência de calor do meio de aquecimento para a embalagem. Sempre houve interesse industrial e tecnológico no estudo de processos eficientes para transferência de calor entre o meio de aquecimento e as embalagens e com isso, melhorar a qualidade do alimento e otimizar o processo térmico.

Objetivou-se estudar a transferência de calor transiente por agitação intermitente em embalagens. A finalidade prática foi desenvolver um sistema agitado com movimento linear alternado para aplicação a um mecanismo para adaptação de pasteurizador (ou autoclave) fixo em agitado com movimento intermitente. Foram desenvolvidas as equações de transferência de calor envolvendo as variáveis de importância termodinâmica do processo para poder aplicar este processo de agitação com processamento térmico de alimentos conhecendo-se suas características termo-físicas e parâmetros de agitação do sistema de processamento térmico. Objetivou-se também a comparação econômica do sistema de transferência de calor agitado com o processo de rotação “end-over-end”.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 *Transferência de calor em alimentos*

A transmissão de calor está associada a uma diferença de temperatura entre duas regiões e é governada pela combinação de várias leis independentes da física (FOUST, 1982; SCHMIDT, 2000).

São reconhecidos pela literatura três mecanismos fundamentais para transmissão de calor: condução, convecção e radiação. A radiação não consiste num mecanismo básico de transmissão de calor, pois para sua operação depende também do transporte mecânico da massa. Contudo, tem sido aceito como mecanismo por uma questão de simplificação (BIRD *et al.* 1960; FOUST, 1982).

Os alimentos aquecidos tipicamente por condução são carnes em conservas, vegetais e frutas altamente compactadas na embalagem, além de produtos amiláceos em estado gelatinizado.

Na convecção, o transporte de energia é feito pela ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento da mistura. A convecção pode ser natural ou forçada dependendo se o agente da mistura for ocasionado simplesmente por

diferença da massa específica das partículas ou por um agente externo, como a agitação mecânica (BIRD *et al.* 1960).

Os alimentos aquecidos simplesmente por convecção são, por exemplo, sucos de frutas, sopas e produtos lácteos, já os aquecidos por condução e convecção são os produtos sólidos imersos em salmoura ou xarope e sopas contendo partículas vegetais ou carne (BALL e OLSON, 1957).

Existem produtos que quando aquecidos inicialmente se comportam como convectivos, mas que durante o aquecimento passam a ter comportamento tipicamente condutivo, devido a mudança na sua estrutura, como por exemplo, um aumento na viscosidade. Tipicamente, são alimentos que contém amido e que gelatiniza durante o aquecimento, por exemplo, feijão em salmoura e molhos para massas (BALL e OLSON, 1957).

4.2 Processos de esterilização sob agitação

Quast e Siosawa (1975) mostraram que a rotação axial de latas contendo solução de glicose aumenta a transferência de calor. O tempo de aquecimento com latas a 150 rpm foi de 30 a 60% menor que o tempo de aquecimento sem rotação, quando utilizados pasteurizadores a vapor.

Quast *et al.* (1977) estudaram os efeitos do meio de resfriamento, da velocidade de rotação aparente, da posição da lata (horizontal, vertical e inclinada) da consistência e do espaço livre sobre a velocidade de resfriamento de soluções de carboximetilcelulose e de polpa de frutas em latas de 20kg. O coeficiente global de transferência de calor (U) aumentou a medida que utilizou-se espaço livre maior. A posição vertical foi a que mais apresentou eficiência na transferência de calor e isso se deveu à maior convecção do fluido seguido pela agitação da lata nessa posição. A posição horizontal é a mais vantajosa em termos do projeto do equipamento. A consistência do fluido influi bastante na

transferência de calor: fluidos mais viscosos (polpa de goiaba 12°Brix) apresentaram maior tempo de resfriamento que fluidos pouco viscosos (2.5% de carboxi-metil-celulose).

Teixeira Neto *et al.* (1981) estudaram o resfriamento de polpas concentradas de tomate e goiaba, previamente aquecida a 85~93°C, em tambores de 200L. O envase a quente e resfriamento de polpas nos tambores, conhecido como “hotfill” (enchimento a quente), foi muito utilizado pelas indústrias de conservas para estocagem de seus produtos na entre safra. A operação de processo consistiu em encher o tambor com polpa, mantendo espaço livre e promover o resfriamento da massa através da rotação do tambor (24~36 rpm) sob pulverização de água potável e fria. O aumento da rotação aplicada ao tambor melhorou a transferência de calor, sendo mais aconselhável a rotação de 36 a 43 rpm. O resfriamento de 190 kg de polpa (com 10 cm de espaço livre) apresentou uma redução de tempo de 25% em relação ao tempo gasto para o resfriamento de 200kg (5 cm de espaço livre).

Clifcorn *et al.* (1950) estudou a redução do tempo de atraso térmico (*come-up time*), em função da posição das latas numa autoclave. O estudo foi realizado numa autoclave adaptada para agitação linear alternada. Foram experimentadas latas de tamanho 300 × 314 (unidades Britânicas), contendo água. Foram analisados várias posições e com movimentos alternativos de amplitudes e frequências variados. Esse método de agitação mostrou-se superior quando comparando com método de agitação longitudinal, porém, inferior a “end-over-end” e a bilongitudinal. Nesse experimento, a situação otimizada foi de 50 mm de amplitude e 120 cpm de frequência de agitação. Esse estudo foi feito a 54 anos e o efeito da agitação não foi explorado e nem aplicado na prática comercial e industrial alimentícia.

3.24.3 Análise dimensional para transferência de calor

O estudo de transferência de calor em alimentos líquidos e não sólidos, depende, em primeira instância, do estudo da reologia do alimento. Por definição, a reologia é parte da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não são nem sólidos nem líquidos. Nesse âmbito, estudou-se os fluidos como

meios simuladores para associar suas características a alimentos, através de modelos matemáticos.

A análise dimensional permite deduzir correlações, transcritas em equações constituídas por grupos adimensionais de variáveis elevados a diversas potências (FOUST *et al.*, 1982). O método de análise dimensional mais adequada para estudos de processos que envolvem transferência de calor é expressa por:

$$\psi\left(Nu, Pr, Re, \frac{\mu_i}{\mu_e}, \frac{x_a}{A}, \frac{x_f}{F}, \frac{el}{H}\right) = 0 \quad (2)$$

e pode ser escrito por

$$\frac{hD}{k} = K \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^a \left(\frac{DV\rho}{\mu}\right)^b \left(\frac{\mu_i}{\mu_e}\right)^c \left(\frac{xa}{A}\right)^d \left(\frac{xf}{F}\right)^e \left(\frac{el}{H}\right)^f \quad (3)$$

Onde **K**, **a**, **b**, **c**, **d**, **e** e **f** são constantes adimensionais determinadas experimentalmente. Contudo, qualquer outra expressão algébrica ou mesmo relação gráfica, entre esses grupos de números adimensionais, pode ser obtida de dados experimentais (PERRY e CHILTON, 1977).

Os adimensionais que melhor representam a transferência de calor para este tipo de sistema são: o número de Nusselt, o número de Reynolds, e o número de Prandtl (FOUST *et al.* 1985).

O número de Nusselt representa o coeficiente de transmissão de calor no aquecimento por convecção. Indica a porção entre o calor fornecido por convecção pura e aquele fornecido por condução pela película fluida próxima à parede (da embalagem) (FOUST *et al.* 1985).

O número de Prandtl é a relação entre a difusividade da quantidade de movimento e a difusividade térmica do fluido. Esse adimensional é utilizado na análise de transferência de calor por convecção. Quando a convecção natural é significativa utiliza-se também o número de Grashof, geralmente multiplicado pelo número de Prandtl, cujo produto

é outro número adimensional de Rayleigh (RAO et al, 1985). Outros termos da função poderão ser aplicados (FOUST et al. 1985).

3.34.4 Modelamento físico de processos

O comportamento da unidade de processo pode ser previsto por ensaios que empregam um modelo em escala conveniente. O uso de modelos menos caros e de ensaios que são mais rápidos, com equipamentos de ensaio em escala piloto, contribui imensamente para aumentar o número de informações sobre as características de desempenho dos equipamentos. A interpretação dos dados de ensaio realizados em modelos reduzidos e a aplicação destes resultados em equipamentos de dimensões reais dependem da teoria dos modelos. A teoria de modelos depende basicamente de três critérios de semelhanças: a semelhança **geométrica**, a **cinemática** e a **dinâmica**. A **semelhança geométrica** existe quando todas as dimensões correspondentes de dois sólidos guardam entre si uma proporção constante, ou uma correspondência escalar. A **semelhança cinemática** existe em sistemas geometricamente semelhantes e de dimensões diferentes, quando todas as velocidades, em posições correspondentes, guardam entre si uma proporção constante. A semelhança geométrica é pré-requisito da cinemática. A **semelhança dinâmica** existe em sistemas geometricamente semelhantes de dois modelos quando todas as forças, em posições correspondentes, guardam entre si uma proporção constante. De outra forma, quando dois modelos são geométrica, cinemática e dinamicamente semelhantes, todas as velocidades e forças estão numa razão constante em todas as posições correspondentes (FOUST *et al.*, 1982).

4.5 Transferência de calor em alimentos por condução

Foi desenvolvida experimentalmente uma relação matemática por Fourier, em 1822, que estabelece que o calor transmitido é diretamente proporcional à área que ele flui e ao gradiente de temperatura na direção do fluxo de calor. O coeficiente de proporcionalidade é definido como a condutividade térmica do material (BIRD *et al.* 1960).

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Casos de transferência de calor em alimentos mais comuns e reais são relativos a situações de transiente térmico e, neste caso, a equação diferencial é descrita nos três eixos do sólido (x, y, z), da seguinte forma:

$$\frac{k}{\rho \cdot C_p} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 z} \right) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$

Onde o primeiro termo da Equação (5) é a difusividade térmica do material. Ela representa, fisicamente, a relação entre a condução e a capacidade de armazenamento de calor no material e indica a velocidade com que a frente de temperatura se propaga no sentido do fluxo de calor (BIRD *et al.* 1960).

As equações clássicas de condução de calor, em regime transiente, são obtidas integrando-se a Equação (5) nas condições de início e contorno (BIRD *et al.* 1960).

A Equação (6) é o resultado de integração da Equação (5), escrita em função dos números adimensionais de Biot (Bi) e Fourier (Fo) (BIRD *et al.* 1960).

$$\frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_0} = f(\chi, Bi, Fo) \quad (6)$$

Onde:

X é uma coordenada adimensional

Bi é o adimensional número de Biot = $\frac{h \cdot r}{k}$

Fo é o adimensional número de Fourier = $\frac{k \cdot t}{\rho \cdot C \cdot r^2}$

As soluções exatas de transferência de calor por condução transiente em alimentos estão restritas às seguintes condições: condição de contorno onde a temperatura

do meio é constante; não há mudança de fase; a temperatura inicial do produto é uniforme; as propriedades térmicas do produto são uniformes e constantes (BIRD *et al.* 1960).

No processo térmico, o centro geométrico do sólido é o ponto crítico. Nos casos de sólidos de geometrias simples e no ponto crítico, as equações de transferência de calor se simplificam na forma geral:

$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cdot e^{(\beta_i^2 \cdot Fo)} \quad (7)$$

As constantes C e β têm valores definidos conforme geometria e são funções do número de Biot.

A Equação (7) pode ser representada apenas pelo primeiro termo da série de potência pois converge em poucos termos quando o número adimensional de Fourier é maior que 0,3. Desse modo, a Equação (7) pode ser escrita com o seu primeiro termo da série de potência.

A representação do primeiro termo da série de potência da Equação (7) torna-se:

$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} = C \cdot e^{(\beta^2 \cdot Fo)} \quad (8)$$

Aplicando-se a função logaritmo natural, teremos:

$$\ln\left(\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0}\right) = \ln[C \cdot e^{(\beta^2 \cdot Fo)}] \quad (9)$$

Que é:

$$\ln\left(\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0}\right) = \ln[C] + t \cdot Fo \quad (10)$$

A representação gráfica da Equação (10) em função do tempo é uma reta em torno do valor de Fourier. No processamento de alimentos é dada consideração

especial a essa reta, pois pudemos relacionar os parâmetros de penetração de calor j e f . O fator j é o fator de curvilíneo da reta de penetração de calor e o fator f é o fator de velocidade de transferência de calor para o alimento. O fator j é adimensional e a dimensão de f é tempo, normalmente minuto. O fator f é o tempo necessário para a temperatura aumentar 10°C , ou o tempo para um ciclo logaritmo de temperatura.

A forma mais aplicada na Engenharia de Alimentos é a Equação (11) que relaciona j e f (BALL e OLSON, 1957).

$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} = \sum_{i=1}^{\infty} j_i \cdot e^{-\left(\frac{t}{f_i}\right) \ln 10} \quad (11)$$

Aplicando logaritmo na Equação (11) tem-se:

$$\log(T - T_g) = \frac{-t}{f} + \log[j \cdot (T_0 - T_g)] \quad (12)$$

A Equação (12) descreve tanto a curva de aquecimento como a de resfriamento do produto no ponto crítico da embalagem. O coeficiente angular da reta é o inverso do valor de f . O fator j é a curvilinearidade e é proporcional ao tempo de resposta da temperatura do produto no ponto crítico.

Os parâmetros experimentais de penetração de calor fh , jh , fc e jc são utilizados no método de cálculo de pasteurização e esterilização em processos térmicos, desenvolvidos por Ball e Olson (1957). Esses fatores são aplicados para produtos convectivos e condutivos.

4.6 Transferência de calor em alimentos por convecção

O calor transmitido por convecção é regido por uma relação empírica conforme Equação (13):

$$q = \bar{h}_c \cdot A \cdot (T_{\infty} - T) \quad (13)$$

A Equação (13) é uma definição do coeficiente médio de transferência de calor local, $\overline{h_c}$. Esse coeficiente é de difícil avaliação por ser a convecção um fenômeno complexo, que quando estudados sob a Engenharia de alimentos, pode-se destacar: geometria da embalagem, rugosidade, espaço livre da embalagem, viscosidade, massa específica, calor específico, condutividade térmica e alterações estruturais do alimento em função da temperatura (BIRD *et al.* 1960).

A efetividade da transmissão de calor por convecção depende do movimento da mistura do fluido e, conseqüentemente, o estudo desse mecanismo fundamenta-se no conhecimento das características físicas de escoamento do fluido (BIRD *et al.* 1960).

Teoricamente, as soluções dos problemas matemáticos de transferência de calor para fluidos puros podem ser obtidas analiticamente utilizando as três equações de transporte de energia descritas abaixo:

$$\text{(continuidade)} \quad (\nabla^* \cdot v^*) = 0 \quad (14)$$

$$\text{(motilidade)} \quad \frac{Dv^*}{Dt^*} = \frac{1}{Re} \nabla^{*2} v^* - \nabla^* p^* + \frac{1}{Fr} \cdot \frac{g}{g} \quad (15)$$

$$\text{(energia)} \quad \frac{DT^*}{Dt} = \frac{1}{Re \cdot Pr} \nabla^{*2} \cdot T^* + \frac{Br}{Re \cdot Pr} \cdot \Phi_v^* \quad (16)$$

A Equação (14) é da continuidade, a Equação (15) é do movimento e a Equação (16) o balanço de energia. No caso da transferência de condução pura, a Equação (15) não se aplica devido a inexistência de movimento de partículas. A resolução desse conjunto de Equações acima permite resolver problemas de transferência de calor sob condições de contorno restritas e com comportamento fluidodinâmicos matematicamente representáveis (BIRD *et al.* 1960).

A solução analítica das Equações (14), (15) e (16) torna-se impossível para casos de alimentos sob agitação, onde os perfis de velocidades são muito complexos e as condições de contorno difíceis de serem estabelecidas (BIRD *et al.* 1960).

4.7 *Transferência de calor em alimentos por convecção forçada*

O balanço de energia para o aquecimento por convecção de um alimento enlatado é escrito conforme Equação (17):

$$m \cdot Cp \cdot \frac{dT}{dt} = h \cdot A \cdot (T_{\infty} - T) \quad (17)$$

Re-arranjando para integração:

$$\frac{dT}{(T_{\infty} - T)} = \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} dt \quad (18)$$

Integrando de $T=T_0$ a $T=T$ e $t_0 = 0$ a $t = t$

$$\int_{T=T_0}^{T=T} \frac{1}{(T_{\infty} - T)} dT = \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} \int_{t=0}^{t=t} dt \quad (19)$$

O resultado é:

$$\ln(T_{\infty} - T) - \ln(T_{\infty} - T_0) = \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} \cdot (t - 0) \quad (20)$$

Agrupando o primeiro termo:

$$\ln\left(\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0}\right) = \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} \cdot t \quad (21)$$

Transformando em logaritmo na base 10:

$$\frac{\log\left(\frac{T_{\infty}-T}{T_{\infty}-T_o}\right)}{\log(e)} = \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} \cdot t \quad (22)$$

Simplificando:

$$\log\left(\frac{T_{\infty}-T}{T_{\infty}-T_o}\right) = \log(e) \cdot \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} \cdot t \quad (23)$$

Arranjando na forma de uma equação de reta ($y=ax+b$), com tempo como variável independente:

$$\log(T_{\infty}-T) = \log(e) \cdot \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} \cdot t + \log(T_{\infty}-T_o) \quad (24)$$

A Equação (24) é válida para fluxo de calor transitório em sistemas com resistência interna desprezível. Por exemplo, alumínio, cobre. Contudo, essa equação pode ser aplicada para alimentos envasados.

Ball e Olson (1957) definiram dois parâmetros para descrever a transferência de calor: fator de tempo **fh** e fator de atraso de temperatura **jh**, ou fator de curvatura, sendo:

$$\log(e) \cdot \frac{h \cdot A}{m \cdot Cp} = -\frac{1}{f_h} \text{ ou } f_h = -\frac{1}{\log(e)} \cdot \frac{m \cdot Cp}{h \cdot A} \quad (25)$$

O termo **fh** é definido como:

$$f_h = -2.303 \cdot \frac{m \cdot Cp}{h \cdot A} \quad (26)$$

O termo **jh** é definido como:

$$j_h = \frac{T_{\infty}-T_{pih}}{T_{\infty}-T_{ih}} \quad (27)$$

T_{pih} = temperatura pseudo inicial para aquecimento obtida pela intercepto da projeção da reta $\log(T_{\infty}-T)$ em função do tempo.

$$T_{pih} = T_{\infty} - 10^{\text{Intercepto}} \quad (28)$$

Enquanto

$$f_h = \frac{-1}{\text{Inclinação}} \quad (29)$$

Substituindo na equação e reorganizando:

$$\log(T_{\infty} - T) = -\frac{1}{f_h} \cdot t + \log[j_h \cdot (T_{\infty} - T_{pih})] \quad (30)$$

T_{pih} pode assumir qualquer valor menor que T_{∞} que não altera o fator j_h . Com isso, tem-se a liberdade para utilizar temperatura inicial de aquecimento ($T_{pih} = T_{ih}$). Por exemplo, a temperatura de envase do produto. Alguns autores preferem escrever a temperatura inicial como T_0 subentendendo que é a temperatura no instante $t_0 = 0$. Portanto, a equação acima fica sendo:

$$\log(T_{\infty} - T) = -\frac{1}{f_h} \cdot t + \log[j_h \cdot (T_{\infty} - T_{ih})] \quad (31)$$

Os métodos de cálculos de Ball e Olson (1957) são baseados na curva de aquecimento e resfriamento semi-logaritmica. No eixo y (ordenadas) a escala é logaritma e no eixo x (abscissas) a escala é linear.

Para gerar temperaturas em função do tempo de processo utilizando a Equação (31) teremos:

$$T = T_{\infty} - 10^{\{\log[j_h \cdot (T_{\infty} - T_{ih})] - \frac{t}{f_h}\}} \quad (32)$$

A relação de f_h com coeficiente de película e coeficiente global de transferência de calor está apresentada na Equação (33):

$$f_h = \frac{m \cdot Cp}{h \cdot A} = h = \frac{m \cdot Cp}{f_h \cdot A} \cong U \quad (33)$$

Ela pode ser aproveitada para cálculo de h e seu aproveitamento no adimensional de Nusselt. A Equação (33) aproxima o valor de U (coeficiente global de transferência de calor) para o coeficiente de película h . Dessa forma, nos experimentos obtemos U que admitimos como uma estimativa do valor de h .

De modo análogo ao aquecimento, temos a equação para resfriamento do alimento, onde T temperatura do alimento e T_w a temperatura da água de resfriamento, na entrada da autoclave:

$$\log(T - T_w) = \frac{-t}{fc} + \log[j_c \cdot (T - T_w)] \quad (34)$$

Que é uma equação de reta onde t é a variável independente e $\log(T - T_w)$ a variável dependente com coeficiente angular $-1/fc$ e linear $\log[jc(T - T_w)]$. A temperatura pseudo inicial do produto no resfriamento é T_{pic} e é calculada por:

$$T_{pic} = 10^{Intercepto} + T_w \quad (35)$$

$$j_c = \frac{T_w - T_{pic}}{T_w - T_{ic}} \quad (36)$$

Enquanto a velocidade de resfriamento é

$$f_c = \frac{-1}{Inclinação} \quad (37)$$

Com estas equações é possível calcular os parâmetros de penetração de calor: fh , jh , fc e jc .

5 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os trabalhos práticos foram desenvolvidos na planta piloto utilizada pelo Grupo Especial de Engenharia (antigo Setor de Operações Unitárias – SEUN) do Instituto de Tecnologia de Alimentos, em Campinas – SP. É uma planta piloto de 680 m² de construção, com vários equipamentos aplicados à Engenharia de Alimentos e aplicados a operações unitárias e de excelente infra-estrutura.

5.1 *Pórtico suporte agitação*

O suporte foi construído em aço carbono, de dimensões 1 ¼” de comprimento × 1/8 polegada de largura, mais conhecido como “ferro chato” e cantoneira “L” 1×1 polegada comprimento e largura × 1/8 polegada de espessura. O suporte teve as seguintes dimensões: base das latas 340 mm × 240 mm, altura 400 mm haste para movimento 400 mm. Toda estrutura foi pintada com tinta a base epoxi. O movimento vai-e-vem foi feito no eixo de 340 mm. Foi utilizada uma máquina agitadora de construtor desconhecido, com adaptações para a função de agitação: sendo um motor Eberle de ¼ CV trifásico, polias e correias robustas para suportar o esforço mecânico. Ver Figura 1 e Figura 2 (página 24). O curso de movimentação da máquina ou amplitude de agitação (A) foi de 25 mm (mínimo) a 42 mm (máximo).

Na Figura 1 destaca-se as quatro posições das latas com vista em planta no pórtico e também a indicação da aplicação do movimento alternado de agitação.

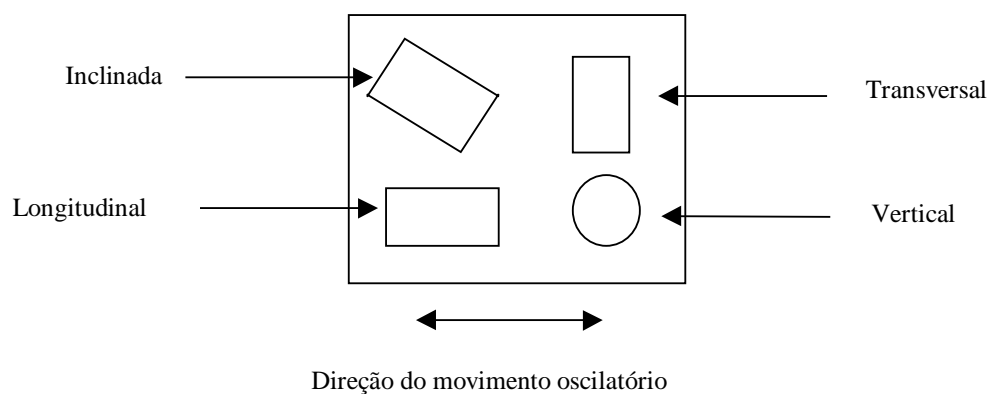


Figura 1. Esquema da planta do pórtico suporte com as latas



Figura 2. Detalhe do pórtico com latas testes e cabos termopares

4.25.2 Tanque de Pasteurização

O tanque de pasteurização está representado na Figura 3 (página 25). Ele é composto de dois tanques contíguos, sendo um para aquecimento e outro para resfriamento. Cada tanque tem 82 litros (500 mm × 470 mm × 350 mm altura) de capacidade nominal. O aquecimento foi feito com vapor direto e o resfriamento foi feito por água tratada e clorada. Durante o aquecimento, o nível de água em ebulição ($T > 97^{\circ}\text{C}$) foi mantido a 300 mm de altura e o vapor foi mantido sempre sob pressão constante para aquecimento e também agitação do meio, gerando turbulência adequada e constante durante os vários processos. Não houve necessidade de reposição de água durante o processo; a reposição de água fria foi feita entre processos. O pórtico ficou colocado a 270 mm abaixo da lâmina de água quente.

Durante o resfriamento, o nível foi mantido a 350 mm abaixo da lâmina de água fria. A entrada de água fria foi feita na parte de baixo do tanque, drenada por cima e foi descartada por extravasamento lateral. A pressão de entrada da água fria foi mantida constante em 2kgf/cm^2 .



Figura 3. Tanque de pasteurização com aquecimento e resfriamento

5.3 Autoclave Stock

Autoclave rotativa com cesto, dois tanques sendo um tanque para estocagem de água quente ($T_{\text{máx}} = 160^{\circ}\text{C}$) e outro de trabalho, com cesto rotativo. Diâmetro nominal da autoclave 900 mm (HERMAN STOCK, 1980). Na Figura 4 (página 29) apresenta a autoclave Stock com tampa aberta, grade de segurança (em aço inox) fechada e painel de operação e controles. O abastecimento de vapor, ar comprimido, água fria e energia elétrica é feito pela parte traseira da autoclave. A descarga de água e (vapor) condensado é feito na base da autoclave.

5.3.1 Programação da autoclave Stock

Preparação da autoclave:

- Montar as latas, conectar termopares e fechar a tampa da autoclave
- Testar as conexões dos cabos com auxílio do aquisitor de dados
- Fechar a porta da autoclave e travar
- Ligar a chave geral elétrica
- Abrir a válvula de vapor e a de água na parede da planta piloto
- Aguardar 2 minutos para dreno de condensado

Aquecimento:

- Ajustar (ou conferir) a pressão no vaso de estocagem para $0,5\text{kgf/cm}^2$
- Ajustar (ou conferir) a temperatura no vaso de trabalho para 100°C
- Abrir a válvula de saída de ar do vaso de estocagem (no mostrador de nível de água do vaso de estocagem)

- Ligar a bomba de água fria
- Abrir a válvula de água do tanque de estocagem
- Encher o vaso de estocagem até a marca de 320 litros
- Fechar a válvula de vapor para o tanque de estocagem
- Desligar a bomba de água fria
- Abrir a válvula de vapor para o tanque de estocagem
- Acompanhar a subida de temperatura até 100°C
- Fechar a válvula de vapor
- Fechar a válvula de desaeração do vaso de estocagem (no mostrador de nível de água do vaso de estocagem)
- Ligar o controle de pressão do vaso de estocagem. A pressão foi modulada em torno de 0,5 kgf/cm²

Pasteurização:

- Acionar a chave de rotação
- Abrir a válvula de desaeração do tanque de trabalho (saída de ar do tanque de trabalho)
- Habilitar o Ellab para aquisição de dados de temperatura (previamente programado)
- Abrir a válvula de conexão (tanque de estocagem – tanque de trabalho)
- Acompanhar o nível de água no visor da tampa da autoclave
- Fechar a válvula de conexão quando o nível atingir a parte superior da janela de vidro da tampa da Stock

- Desligar a pressurização no tanque de estocagem
- Ligar a chave do aquecimento
- Ligar a bomba de circulação

Resfriamento:

- Desligar o aquecimento
- Ligar a bomba de água fria
- Abrir a válvula de água fria
- Resfriar até a temperatura desejada, acompanhada no aquisitor de dados
- Desligar a bomba de água fria
- Fechar a válvula de água fria
- Desligar a bomba de circulação
- Desligar a rotação

Drenagem:

- Abrir a válvula de dreno. Acompanhar o esgotamento da água do tanque de trabalho no dreno localizado na traseira da autoclave.
- Fechar a válvula de dreno

5.3.2 Metodologia para agitação rotativa “end-over-end”

Utilizou-se 4 latas com envasadas fluidos mantendo-se espaço livre de 15% (12,2 mm). Programou-se a autoclave Stock para agitar a 20 rpm. As latas foram dispostas em duas posições dentro do cesto rotativo: central (com $d = 0$ mm) e lateral ($d = 400$ mm).

mm). Os cabos termopares foram instalados pelo tubo central que é apoio mecânico da autoclave. Os cabos foram inseridos na junta rotativa (“sleep ring”) e outros 4 cabos foram instalados para conexão da junta rotativa ao aquisitor de dados Ellab. Um quinto termopar foi instalado no nicho da autoclave para coletar a temperatura de processo (aquecimento e resfriamento).

Utilizou-se espaço livre de 15% como um referencial de medida arbitrária e que promoveu uma transferência de calor mais rápida.



Figura 4. Vista do painel de comandos e controles da Autoclave Stock 900

4.35.4 Meios simuladores

Foram utilizados 4 meios para simulação: água destilada e óleos lubrificantes para uso automotivo fornecido pela Empresa Wal Química–Campinas, das marcas, Neutral Oil 150, Neutral Oil 500 e Bright Stock Oil.

4.45.5 Características físicas da lata experimental

Lata construída em folha de flandres, com verniz anticorrosivo básico, com anéis de expansão, 81 mm interno de altura × 73 mm de diâmetro interno. Utilizou-se lata de aço pois a transferência de calor é alta, esse tipo de lata, tampa e recravação são bastante utilizada nas indústrias de conservas alimentícias.

Tabela 1. Características físicas da lata de aço utilizada no trabalho

Característica	Medida	Dimensão
Diâmetro interno	0,073	m
Altura interna	0,084	m
Volume interno	0,0003516	m ³
Área de troca de calor	0,0276350	m ²
Volume interno com espaço livre 5%	0,0003340	m ³
Volume interno com espaço livre 10%	0,0003164	m ³
Volume interno com espaço livre 15%	0,0002988	m ³

4.55.6 Enchimento e recravação

As latas foram preenchidas com fluido simulante, $T = 25^{\circ}\text{C}$, mantendo-se espaço livre conforme o processo e foram recravadas sob vácuo de 600 mm Hg (23,5 polegadas Hg) ± 20 mm em recravadeira marca John Heine, Sydney, *model 71D, series 2*, previamente ajustada conforme normas do FDA (“Federal and Drug Administration”) (MEMBROS DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2001). Foram utilizadas 4 latas, sendo uma em pé, com suporte de termopar de 52 mm, com sensor colocado a 1/3 da altura da lata, por se tratar de um fluido convectivo (simulador de alimento). Uma deitada longitudinal ao eixo de movimento, outra transversal ao eixo de movimento e finalmente 45° com eixo de movimento. As três últimas latas foram montadas com suporte de termopar de 42 mm, centro da lata. As latas na posição deitada e o termopar para medida da temperatura do meio, foram fixadas no pórtico com braçadeiras. A lata vertical foi fixada com

garra mola além da braçadeira circular. As latas foram preenchidas com óleos conforme massas listadas na Tabela 3.

4.65.7 Termopares e Aquisitor de dados

Para monitoramento das temperaturas de processos foram utilizados 5 cabos com termopares, tipo agulha, de junta cobre–constantã, tipo T, um aquisitor de dados e software *E-ValTM* Ver 2.00 ELLAB A/S *Krondalvej 9, DK-2610 Roedovre, Denmark*, modelo TM 9616. A lata que foi mantida na posição vertical teve o termopar localizado a 1/3 da altura interna do conteúdo. As três latas que foram mantidas deitadas tiveram o termopar localizado no centro geométrico. Para ambos dos casos de localização dos termopares foram dispostos nos pontos críticos das latas (características convectivas de transferência de calor). Os históricos de temperaturas foram levantados por meio do aquisitor Ellab A/S conectado a um microcomputador Toshiba (compatível com PC). Todo o sistema de medida de temperatura, original Ellab (termopares, fios de extensão, aquisitor de dados) foi devidamente aterrado e previamente calibrado contra padrão de confiança.

5.7.1 Gerador de frequência

Foi utilizado um gerador de frequência marca Siemens, modelo Micromaster Vector 6SE3221–0CC40, com capacidade para motor de 3,0 CV ou 2200W. Esse gerador permite gerar frequências de 0,1 até 65,0 Hz, com variação decimal. O gerador foi utilizado para acionar um motor trifásico da marca Eberle de ¼ CV instalado no pórtico das latas, gerando as frequências de agitações estudadas.

4.6.25.7.2 Medidas de frequência de agitação e comprimento de curso

A frequência de agitação (F) foi medida toda vez que iniciava-se o experimento. Utilizou-se cronômetro eletrônico digital (resolução e precisão 1 s por ano) para medida do tempo de agitação e contagem dos movimentos do agitador. O comprimento do curso, ou

amplitude (A) foi medido diretamente com um paquímetro marca Mitutoyo e os cursos foram regulados antes de cada experimento.

4.75.8 Cálculo dos parâmetros de transferência térmica

Cálculo dos parâmetros fh e jh para aquecimento e fc e jc para resfriamento foram feitos conforme Stumbo (1973). Os melhores resultados de cada curva de penetração de calor, em cada uma das quatro posições, de cada um dos testes, foram obtidos através dos seguintes critérios:

- 1) avaliação gráfica das curvas de penetração de calor de cada lata, nas posições vertical, transversal, inclinada e longitudinal.
- 2) seleção dos pontos da fase de aquecimento e da fase de resfriamento e montagem dos gráficos: aquecimento $\log(T_{\infty} - T)$ em função do tempo (s) e resfriamento $\log(T - T_w)$ em função do tempo (s).
- 3) foram escolhidos as partes mais retilíneas das curvas de história térmica de penetração de calor de cada um dos experimentos,
- 4) foram utilizados no mínimo de 10 pontos de observação (tempo e temperatura) para cada posição,
- 5) foram aproveitados as medidas com maior resultado do R^2 obtido na regressão linear dos pontos de tempo e temperatura,
- 6) foi feita pelo menos uma repetição e, no máximo, n repetições conforme cálculo descrito no item 5.11 (página 39).

5.8.1 Aquecimento

Os valores de fh e jh foram obtidos através do gráfico $\log(T_\infty - T)$ em função do Tempo (s). O valor numérico de fh foi o inverso do coeficiente angular da reta e jh foi calculado conforme Equação abaixo.

$$j_h = \frac{T_\infty - T_{pih}}{T_\infty - T_0} \quad (38)$$

4.7.25.8.2 Resfriamento

Os valores de fc e jc foram obtidos através do gráfico de $\text{Log}(T_p - T_w)$ em função do Tempo (s). O valor numérico de fc foi o inverso do coeficiente angular da reta e jc foi calculado conforme Equação abaixo.

$$j_c = \frac{T_w - T_{pic}}{T_w - T_{ic}} \quad (39)$$

4.85.9 Cálculo de h a partir de fh

O adimensional de Nusselt utiliza h , coeficiente de película, no seu cálculo.

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (40)$$

Foi feita uma aproximação para o cálculo de h a partir de fh , conforme Equação (41).

$$fh = 2,303 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot Cp}{U \cdot A} \quad (41)$$

como $U \approx h$, conforme Equação (33):

$$fh = 2,303 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot Cp}{h \cdot A} \quad (42)$$

ou

$$h = 2,303 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot Cp}{fh \cdot A} \quad (43)$$

Desse modo, conhecendo o valor numérico de Nusselt (Nu) obtemos fh através de:

$$fh = 2,303 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot Cp}{\left(\frac{Nu \cdot k}{D}\right) \cdot A} \quad (44)$$

O resultado da Equação (44) deve ser multiplicada por 60 pois fh é comumente apresentado em minuto. Portanto, a Equação (44) fica:

$$fh = 2,303 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot Cp}{\left(\frac{Nu \cdot k}{D}\right) \cdot A} \cdot 60 \quad (45)$$

4.95.10 Propriedades termo-físicas dos fluidos

Foram determinados os valores da massa específica, viscosidade, calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica dos fluidos.

Foram utilizados fluidos de diversas viscosidades como simulantes de alimentos: água destilada e três óleos, compostos de hidrocarbonetos de origem parafínica, comumente utilizados para formulação de lubrificantes, de códigos: Neutral oil 500 e 150 e Bright stock.

5.10.1 Viscosidade

A viscosidade foi determinada com auxílio do reômetro marca RHEOTEST 2.1 fabricado pela MLW VEB KOMBINAT MEDIZIN – UND LABORTECHNIK LEIPZIG. O princípio de medição das viscosidades foi o viscosímetro de *couette*. As temperaturas médias foram obtidas com auxílio de dois banhos montados em série, sendo um para aquecimento ($T > 30^{\circ}\text{C}$) e outro para resfriamento ($T < 30^{\circ}\text{C}$). O fluido refrigerado (água e glicerol) circulava em circuito fechado entre os banhos e a cuba do reômetro. A temperatura foi monitorada através de um termopar tipo T ligado a um termômetro digital modelo MDT 2000 fabricante ECB, previamente calibrado para as temperaturas de trabalho. A viscosidade dos fluidos foi determinada através da combinação de rotações dos cilindros do sistema N e das leituras das tensões geradas pela torção da mola do referido sistema. A viscosidade foi quantificada através da regressão linear de τ e $\dot{\gamma}$ e o resultado da viscosidade foi concluído quando R^2 foi maior que 99%. Essa linearidade permitiu avaliar se os fluidos apresentaram comportamento newtoniano, ou se tratavam de dilatante ou pseudoplástico. Os resultados apresentados foram as médias de várias medidas seguidos dos valores de seus intervalos de confiança, com nível de significância de 1%.

Foi calculado o número de Reynolds crítico para avaliar o fluxo laminar entre os cilindros do reômetro, pois no escoamento laminar é hipótese importante na formulação das equações de escoamento em cilindros concêntricos e fundamental para correta medida da viscosidade.

Para a configuração de cilindros do reômetro de *couette*, o número de Reynolds crítico foi quantificada conforme Equação (46).

$$\text{Re}_{\text{Crit}} = \frac{v_b(r_{\text{copo}} - r_{\text{cilindro}})\rho}{\eta} = 41,3 \sqrt{\frac{r_{\text{copo}}}{r_{\text{copo}} - r_{\text{cilindro}}}} \quad (46)$$

O Re crítico, para viscosímetro de *couette* é função da velocidade periférica do cilindro, raios do copo e do cilindro, da massa específica do fluido na temperatura do experimento e a sua viscosidade.

Quando o fluido possui tensão residual, τ_0 , três situações distintas podem ocorrer quando uma tensão de cisalhamento é aplicada ao cilindro interno:

- 1) A tensão de cisalhamento menor que a tensão residual. Nesse caso não há escoamento.
- 2) O escoamento ocorre numa faixa interna, onde a tensão de cisalhamento é maior que a tensão residual e o restante do fluido permanece como um sólido.
- 3) O líquido escoar normalmente, como se não possuísse tensão residual, o raio crítico é maior que o do cilindro externo Vitali (1981).

O raio crítico é dado, segundo Vitali (1981), pela Equação:

$$R_{critico} = \sqrt{\frac{\tau_b}{\tau_0}} \quad (47)$$

4.9.1.15.10.1.1 Dependência da viscosidade com a temperatura

A dependência da viscosidade e do índice de consistência com a temperatura pode ser expressa conforme equação de Arrhenius:

$$\mu = \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \quad (48)$$

Ou, de outro modo,

$$\ln\left(\frac{\mu}{\mu_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right) \quad (49)$$

4.9.25.10.2 Massa específica

A massa específica foi determinada com auxílio de balões volumétricos de 100 ml de capacidade, previamente pesados em balança analítica. As massa específicas foram obtidas pelas razões entre as massas e volumes dos balões volumétricos,

medidos a cada uma das temperaturas programadas. As temperaturas medidas foram obtidas com auxílio de dois banhos montados em série, sendo um para aquecimento ($T > 30^{\circ}\text{C}$) e outro para resfriamento ($T < 30^{\circ}\text{C}$). O fluido refrigerado (água e glicerol) circulava em circuito fechado entre os banhos. As temperaturas foram monitoradas através de um termopar tipo T ligado a um termômetro digital modelo MDT 2000 fabricante ECB, previamente calibrado para as temperaturas de trabalho.

Foram feitas correções dos volumes de cada um dos balões volumétricos nas temperaturas de trabalhos, utilizando-se água destilada (previamente fervida e resfriada) como padrão, para correções das massa específicas.

5.10.2.1 Dependência da massa específica com a temperatura

Do mesmo modo que a viscosidade, a massa específica também é influenciada pela temperatura. Por essa razão, foram feitos modelos matemáticos para descrever a dependência da massa específica em função da temperatura para cada fluido em estudo.

4.9.35.10.3 Calor específico

O calor específico é a quantia de calor que promove mudança em um grau, por unidade da massa, em determinada faixa de temperatura. O calor específico dos fluidos utilizados neste trabalho são pouco alterados pela temperatura nesta faixa de trabalho TOLEDO (1991).

Para quantificar o calor específico foi aplicada metodologia de Hawng e Hayakawa (1979) com adaptações para medidas dos óleos automotivos (que são semelhantes aos óleos comestíveis). Essencialmente, a metodologia original Hawng e Hayakawa (1979) descreve o aquecimento separado de um dos fluidos, suas misturas em garrafa adiabática e o monitoramento e registro da temperatura interna da mistura na garrafa até sua estabilização. Optou-se pelo aquecimento da água e manutenção da temperatura dos óleos, que foram estabilizados (por uma noite) em estufa com temperatura controlada.

5.10.3.1 Dependência do calor específico com a temperatura

A dependência do calor específico da água com a temperatura foi determinada por Kessler (1981). Os dados listados por Kessler (1981) foram regressionados em equação de segundo grau. O calor específico apresenta um comportamento quadrático entre as temperaturas 0 e 100°C, com máximo nos extremos deste intervalo e com mínimo em 50°C.

4.9.45.10.4 Condutividade térmica

As condutividades térmicas dos meios simulantes óleos foram determinadas utilizando-se metodologias descritas por Gratzek e Toledo (1993) e Rao *et al.* (1975) com adaptações. A sonda original proposta pelos autores pode ser utilizada para vários tipos de alimentos (sólidos, semi-sólidos e líquidos), essa é uma das razões que a sonda é rígida e montada dentro de uma agulha fina. Para medir os fluidos simulantes utilizados neste trabalho a sonda pode ser simplificada e sem proteção.

Adaptou-se a sonda de leitura de temperatura e a fonte de emissão de calor. A sonda de leitura de temperatura foi montada utilizando-se um fio de termopar tipo T de bitola 0,11 mm. A fonte de emissão de calor foi feita com um fio constantã também de bitola 0,11 mm. Ambos dispositivos foram montados sobre uma base de baquelite em forma de um quadro de dimensões 300 mm × 20 mm com um rasgo central longitudinal de largura de 10 mm. Neste rasgo central foram instalados a fonte de calor (arame de constantã) e trançado neste, o fio termopar. A junta quente do termopar ficou próxima da fonte de calor mas não tocou-a. O dispositivo de medida de condutividade térmica foi calibrado contra gel de ágar 0,4% (p/p) e glicerol 99,9% de pureza.

5.10.4.1 Dependência da condutividade térmica a temperatura

Em óleos, compostos de hidrocarbonetos de origem parafínica, comumente utilizados para formulação de lubrificantes, o coeficiente de condutividade térmica

diminui com aumento da temperatura. A razão de diminuição é constante (linear) em função do aumento da temperatura e é $3,75 \times 10^{-5} \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (KERN, 1982).

Para a água, a condutividade térmica apresenta relação não linear com a temperatura. Utilizou-se um modelo matemático de relação quadrática para relacionar os valores numéricos do coeficiente de condutividade térmica com a temperatura.

4.105.11 Cálculo do número de amostras

O cálculo do número de amostras para todos os experimentos foi feito com base numa população infinita de distribuição normal. Esse cálculo permitiu orientar na definição do número de amostras necessárias para realizar os testes práticos.

$$n = \left(\frac{Z \cdot s}{d} \right)^2 \quad (50)$$

Onde Z é o quantil da distribuição normal, com nível de significância α , previamente especificado, s desvio padrão amostral, d a tolerância da medida e n número de amostras.

4.115.12 Cálculo dos intervalos de confiança das medidas

O cálculo do intervalo de confiança para todos os resultados dos experimentos foi feito de acordo com a Equação (51). O cálculo do valor de d permitiu orientar soluções rápidas durante os testes práticos, na melhoria de medições e adequações.

$$\pm d = \frac{t_{(gl,\alpha)} \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (51)$$

Onde t é o quantil da distribuição t-student com grau de liberdade (gl) igual a $n-1$, nível de significância α previamente especificado, s desvio padrão amostral e n número de amostras.

4.125.13 Planejamento experimental

A pesquisa foi modelada conforme função:

$$fh = F[\text{simulante}(\mu, \rho, Cp, k), A, F, el, \text{posição}] \quad (52)$$

Para análise dos dados resultantes dos testes foi utilizado regressão linear múltipla. As comparações dos parâmetros de transferência de calor entre as posições das latas foram feitas utilizando-se modelo linear geral (BARROS *et al.* 2002).

Foi aplicado delineamento experimental em 4 tratamentos completamente casualizados conforme Tabela 2.

Foram escolhidos 4 fluidos simulantes para cobrir uma faixa de viscosidades da água (pouco viscoso) até o Bright stock oil (bastante viscoso). A viscosidade do Bright stock oil equivale a alimentos oleosos e méis (OKOS, 1986). Utilizou-se fluidos simulantes por serem estáveis a vários processos de aquecimento e resfriamento, sem sofrerem deteriorações microbiológicas e físico-químicas.

Foram escolhidos 3 espaços livres que são representantes mais comuns em aplicações industriais (TOLEDO, 1991).

Foram aplicados amplitude e frequência de agitação (2 amplitudes e 4 frequências) que, baseado em testes preliminares (não apresentados neste relato), apresentasse resolução mecânica e estatística nos testes práticos.

As 4 posições das latas (vertical, transversal, inclinada e longitudinal) foram planejadas para cobrir a faixa de disposição espacial que poderia ser influenciada pelo movimento de agitação intermitente.

Tabela 2. Delineamento experimental para avaliação dos tratamentos

Fatores	Níveis	Especificação
Fluido simulante	4	Água, óleo neutro 150 e 500 e bright stock oil
Espaço livre	3	5, 10 e 15%
Amplitude de agitação	2	25 mm e 42 mm (máxima)
Frequência de agitação	4	0, 60, 100, 132 cpm (máxima)
Posição da lata	4	Vertical, transversal, inclinada e longitudinal

4.135.14 Avaliação do modelo geral de transferência de calor

O modelo proposto no planejamento experimental foi estatisticamente avaliado utilizando fatorial completo com as respostas dos fatores: (1) simulante, (2) espaço livre, (3) amplitude, (4) frequência de agitação e (5) posição. Na construção do modelo utilizou-se as variáveis preditoras de categoria: simulante e posição e variáveis contínuas: espaço livre, amplitude e frequência e fh como variável dependente. Utilizou-se a distribuição normal e ajustes log-normal.

6 RESULTADOS

6.1 *Envase de meio simulante nas latas*

A Tabela 3 mostra as massas de meios simulantes de alimentos aplicados em todos experimentos realizados neste trabalho. Os valores são médias de observações devido a variações de temperaturas de envase.

Tabela 3. Envase de fluidos nas latas

Simulante	Espaço livre		
	5%	10%	15%
Água destilada	334g	316g	299g
Neutral oil 150	385g	365g	345g
Neutral oil 500	380g	360g	340g
Bright Stock Oil	376g	356g	336g

5.26.2 Massa específicas dos fluidos

As massa específicas dos óleos simulantes foram quantificadas conforme Tabela 4. No caso da água os resultados foram coletados e regressionados de Kessler (1981).

Tabela 4. Massas específicas dos fluidos em função da temperatura

Temperatura (°C)	ρ (kg·m ⁻³)			
	Água	Neutral oil 150	Neutral oil 500	Bright stock oil
20,0	998	865	878	888
35,0	994	855	871	881
50,0	988	846	861	871
65,0	981	836	851	863
80,0	972	828	841	854
95,0	962	819	832	846

Na Tabela 5 estão listados os parâmetros da regressão linear de valores dos valores de massas específicas em função da temperatura. Para os óleos orgânicos o modelo aplicado foi $d = a \cdot t + d_0$. Os valores de d , quando temperatura igual a zero é a intercepção da reta (d_0).

Tabela 5. Parâmetros da massas específicas dos fluidos em função da temperatura

Parâmetros	Simulantes		
	Neutral oil 150	Neutral oil 500	Bright stock Oil
d_0 para $T = 0^\circ\text{C}$	877	892	900
$a = \text{kg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$	$-6,20 \times 10^{-4}$	$-6,28 \times 10^{-4}$	$-5,69 \times 10^{-4}$
R^2	99,90%	99,81%	99,90%

No caso da água, a relação entre a temperatura e a massa específica foi quadrática e foi aplicado o seguinte modelo matemático $k = 0,569 + 0,002 \times T - 5,87 \times 10^{-6} \times T^2$ com os dados listados por Kessler (1981).

5.36.3 Calor específico dos fluidos

Na Tabela 6 estão listados os valores de calor específico dos óleos simulantes Neutral oil 150, 500 e Bright Stock Oil foram quantificados conforme metodologia descrita. No caso da água o resultado foi coletado de Kessler (1981).

Tabela 6. Calor específico dos fluidos

Simulante	Calor específico (kJ/kg·K)
Água destilada	4,184
Neutral oil 150	1,859 ± 4,3%
Neutral oil 500	1,850 ± 7,4%
Bright Stock Oil	2,015 ± 7,3%

Desvios calculados segundo Equação (51), com nível de significância de 1%, para os óleos.

5.46.4 Condutividade térmica dos fluidos

Os valores de condutividade térmicas dos óleos simulantes foram determinadas conforme metodologia descrita. Foi utilizado nível de significância de 10%. No caso da água os resultados foram coletados e fez-se regressão linear de equação de reta, conforme Kessler (1981).

Tabela 7. Condutividade térmica dos fluidos

Temperatura (°C)	K (W/m·K)			
	Água	Neutral oil 150	Neutral oil 500	Bright stock oil
20,0	0,604	0,147	0,147	0,147
35,0	0,625	0,147	0,147	0,147
50,0	0,643	0,147	0,147	0,147
65,0	0,658	0,147	0,147	0,147
80,0	0,669	0,147	0,147	0,147
95,0	0,679	0,147	0,147	0,147

6.5 Viscosidades dos fluidos

As viscosidades dos óleos simulantes foram quantificadas conforme metodologia descrita. Foi utilizado nível de significância de 1%. No caso da água os resultados foram coletados e fez-se regressão linear de Kessler (1981). Utilizou-se o modelo de Arrhenius.

Tabela 8. Viscosidades dos fluidos em função da temperatura

Temperatura (°C)	μ viscosidades (Pa·s)			
	Água	Neutral oil 150	Neutral oil 500	Bright stock oil
20,0	$1,006 \times 10^{-3}$	$0,0762 \pm 0,0010$	$0,334 \pm 0,001$	$2,0172 \pm 0,0230$
35,0	$7,213 \times 10^{-4}$	$0,0357 \pm 0,0009$	$0,112 \pm 0,002$	$0,6290 \pm 0,0226$
50,0	$5,458 \times 10^{-4}$	$0,0194 \pm 0,0008$	$0,059 \pm 0,001$	$0,2483 \pm 0,0209$
65,0	$4,316 \times 10^{-4}$	$0,0117 \pm 0,0006$	$0,032 \pm 0,001$	$0,1101 \pm 0,0042$
80,0	$3,539 \times 10^{-4}$	$0,0075 \pm 0,0001$	$0,019 \pm 0,001$	$0,0567 \pm 0,0019$
95,0	$2,989 \times 10^{-4}$	$0,0054 \pm 0,0003$	$0,013 \pm 0,001$	$0,0326 \pm 0,0012$

Com os dados acima foram regressionados $\ln(\mu)$ em (Pa·s) em função de $1/T$ (K) que é o modelo de Arrhenius. Os parâmetros para esse modelo estão apresentados na Tabela 9, para cada meio estudado.

Tabela 9. Parâmetros do modelo de Arrhenius para viscosidade dos meios simulantes

Parâmetros	Simulantes			
	Água	Neutral oil 150	Neutral oil 500	Bright stock oil
K (Pa·s)	$1,916 \times 10^{-6}$	$4,548 \times 10^{-7}$	$1,375 \times 10^{-7}$	$2,907 \times 10^{-9}$
Ea/R (K·Pa·s)	1841	3144	3825	5931
R ² (-)	99,50%	99,50%	99,10%	99,60%

5.56.6 Difusividade térmica dos simulantes

A difusividade térmica foi calculada para auxiliar na avaliação dos resultados obtidos conforme Tabela 10. A difusividade térmica da água aumenta proporcionalmente à temperatura, enquanto que para os óleos ocorre o contrário.

Tabela 10. Difusividade térmica dos fluidos

Temperatura (°C)	α (m ² /s) ($\times 10^{-8}$)			
	Água	Bright stock	Neutral oil 150	Neutral oil 500
20	1,447	8,702	9,655	9,545
30	1,488	8,561	9,506	9,398
40	1,524	8,428	9,365	9,257
50	1,558	8,300	9,231	9,124
60	1,588	8,179	9,104	8,998
70	1,615	8,064	8,983	8,877
80	1,641	7,953	8,867	8,763
90	1,665	7,848	8,758	8,653
95	1,676	7,797	8,705	8,601

5.76.7 Parâmetros de penetração de calor em latas com meios simulantes

No APÊNDICE (página 107) estão listadas Tabelas com o resultados dos parâmetros de penetração de calor. Nestas Tabelas estão listados os números dos testes, os tipos dos meios utilizados como simulantes, *A* amplitude (mm), *F* frequência (cpm), *el* espaço livre (mm), *fh*, *jh*, *fc* e *jc* para as 4 posições das latas no pórtico, sendo *v* vertical, *t* transversal, *i* inclinada e *a* longitudinal.

Como exemplo, está representado na Figura 5 a história térmica de penetração de calor nas latas dispostas nas quatro posições em função do tempo de processo. Na abcissa está representado o tempo de processo (s) e na ordenada a temperatura das latas e meio durante o processo de aquecimento e resfriamento. Neste caso foram aplicados os seguintes tratamentos: Neutral oil 500, amplitude 42 mm, frequência 120 com e espaço livre 8,1 mm (10%) do Experimento 047.

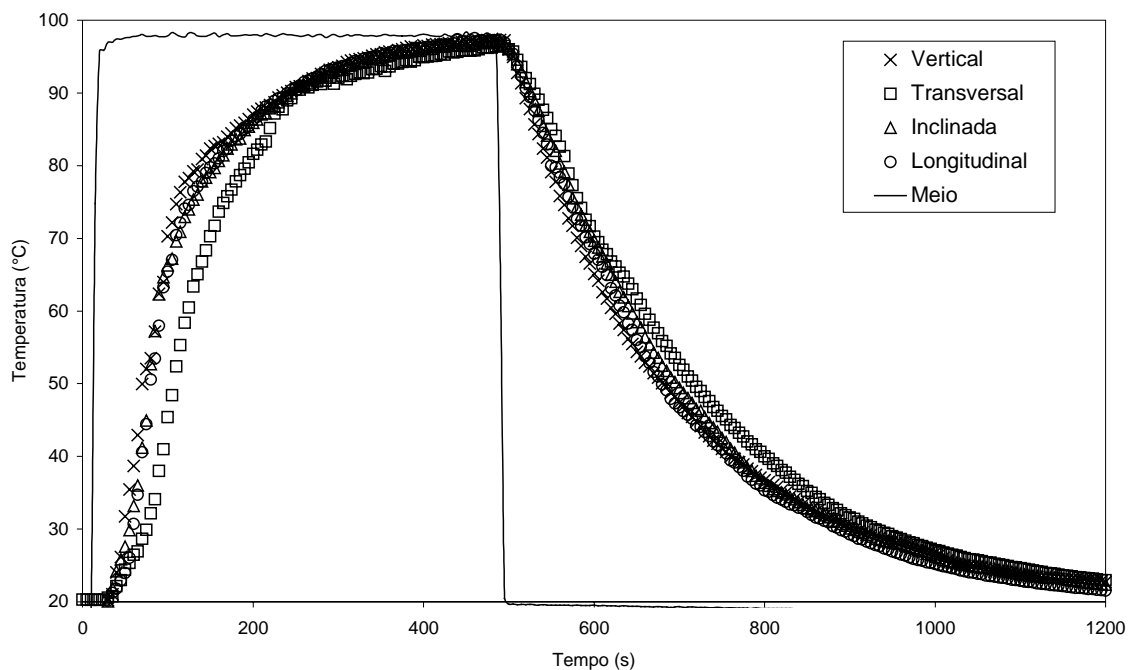


Figura 5. História térmica de penetração de calor em 4 latas do Experimento 047

Na Figura 6 está representado a curva de penetração de calor, na fase de aquecimento, nas quatro latas, em Gráfico semi-logaritmo. Estão apresentados os valores de $\log(T_1-T)$ ($^{\circ}\text{C}$) em função do Tempo (s).

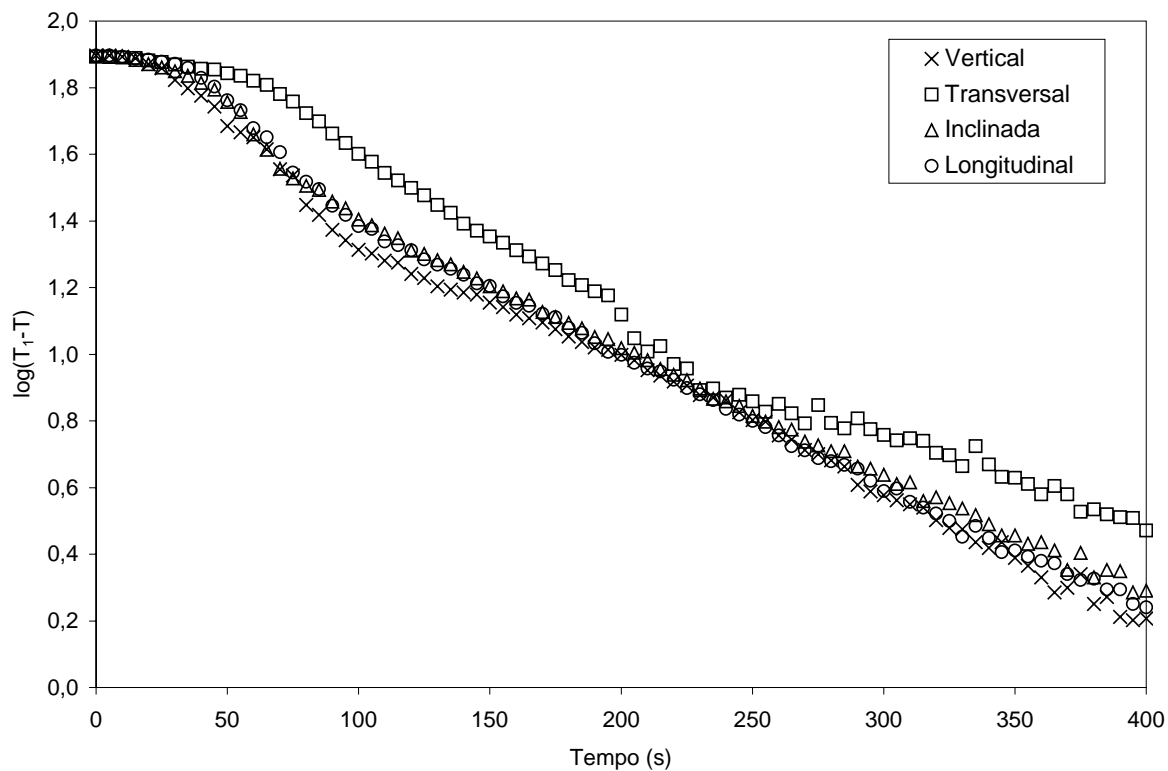


Figura 6. Curvas de aquecimento das quatro latas do Experimento 047

Na Figura 7 estão representadas as curvas de penetração de calor, na fase de resfriamento, nas quatro latas, em Gráfico semi-logaritmo. Estão apresentados os valores de $\log(T-T_w)$ ($^{\circ}\text{C}$) em função do Tempo (s).

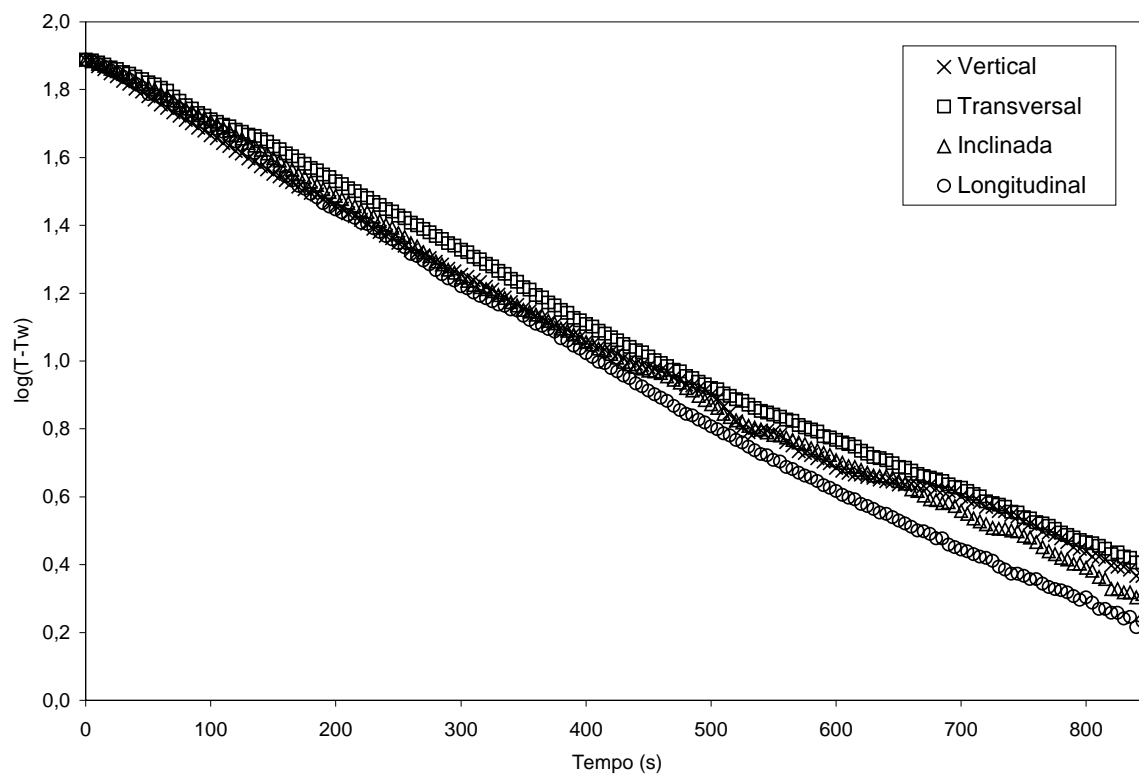


Figura 7. Curvas de resfriamento das quatro latas do Experimento 047

6.8 Resultados dos parâmetros obtidos nos testes

Foram feitos 294 ensaios de penetração de calor obtendo-se o mesmo número de valores de parâmetros de transferência de calor (fh , jh , fc e jc). Os valores dispostos nas Figuras 8, 9, 10 e 11 são resultados de desvios, calculados através da Equação (51) pelas respectivas médias de pelo menos duas observações e multiplicados por 100. Esse trabalho foi feito para avaliar a qualidade técnica dos dados coletados nos experimentos práticos.

A Figura 8 apresenta a distribuição dos desvios experimentais (em porcentagem) em função dos valores de fh (min). O desvio máximo foi de 22% e o mínimo de 0%. A Figura 9 apresenta a distribuição dos desvios experimentais (em porcentagem) em função dos valores de jh (min). O desvio máximo foi de 26% e o mínimo de 0%. A Figura 10 apresenta a distribuição dos desvios experimentais (em porcentagem) em função dos valores

de fc (min). O desvio máximo foi de 26% e o mínimo de 0%. A Figura 11 apresenta a distribuição dos desvios experimentais (em porcentagem) em função dos valores de jc (min). O desvio máximo foi de 24% e o mínimo de 0%.

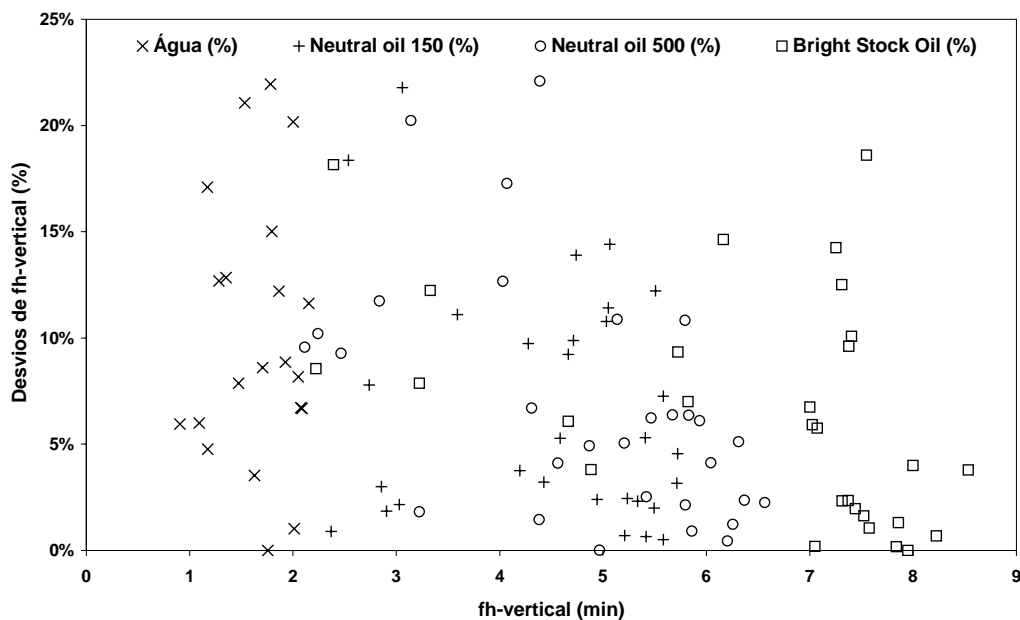


Figura 8. Desvios de fh (min) com nível de significância de 10% em função dos valores médios de fh (min)

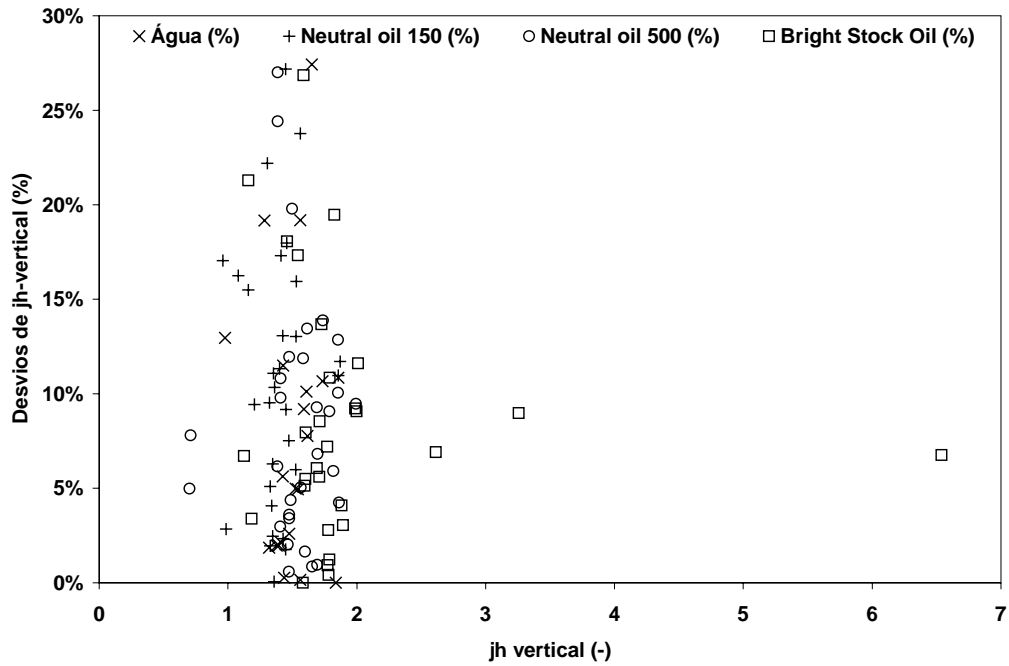


Figura 9. Desvios de jh (min) com nível de significância de 10% em função dos valores médios de jh (min)

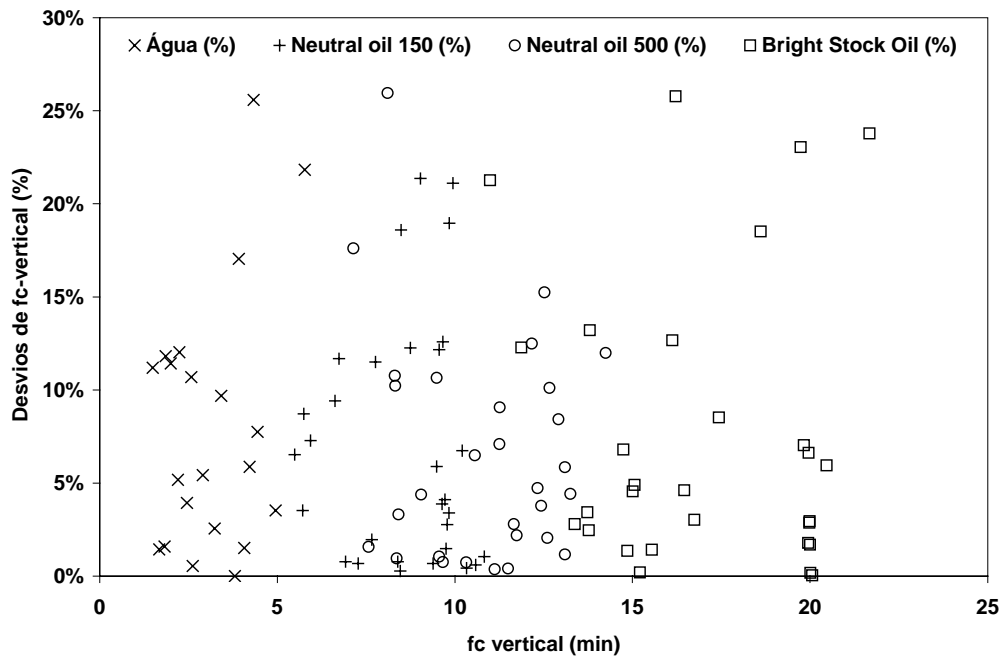


Figura 10. Desvios de fc (min) com nível de significância de 10% em função dos valores médios de fc (min)

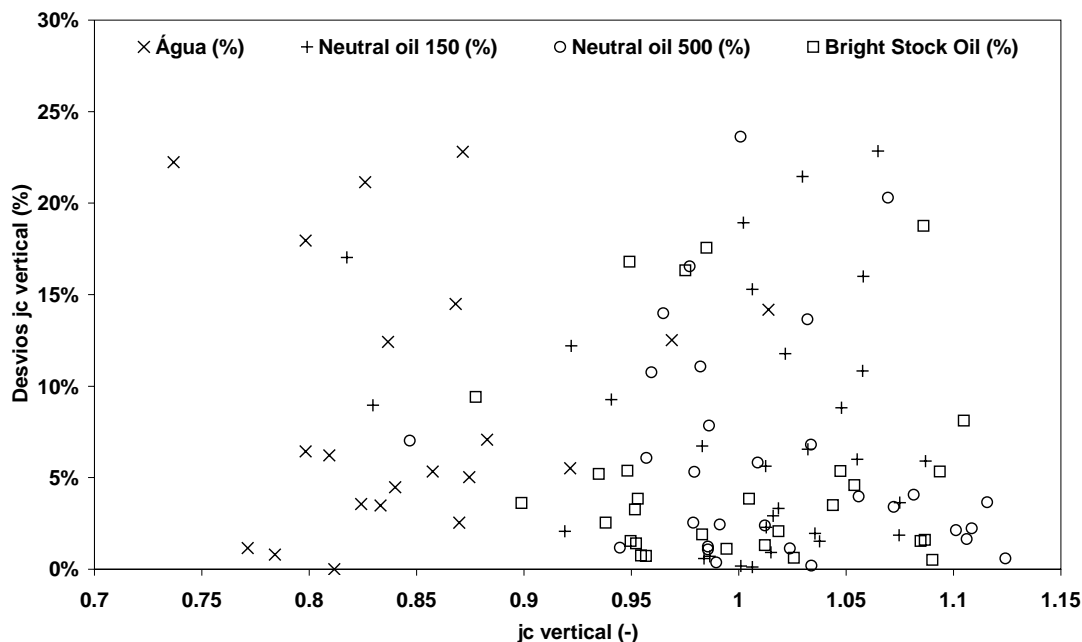


Figura 11. Desvios de jc (min) com nível de significância de 10% em função dos valores médios de jc (min)

5.86.9 Resultados dos valores de fh de cada simulante em função da frequência de agitação

Nos Gráficos abaixo estão plotados fh (min) em função da Frequência (cpm) de agitação para as latas testes em 4 posições das latas no pórtilco, sendo $fh@v$ vertical, $fh@t$ transversal, $fh@i$ inclinada e $fh@l$ longitudinal. As curvas foram suavizadas utilizando-se o programa MS-Excel[®], com a opção gráfica de dispersão (xy), que aplica, automaticamente, suavização pela técnica de spline cúbica (MICROSOFT CORPORATION, 1994).

As escalas dos gráficos foram ajustadas para o mínimo de 0,5 minutos e máximo de 9,0 minutos para valores de fh .

Optou-se por apresentar os resultados de fh e fc em função da frequência por ser esta o objeto de desenvolvimento desta pesquisa. A amplitude também é importante, contudo, a frequência expressa a energia de agitação dos fluidos nas embalagens.

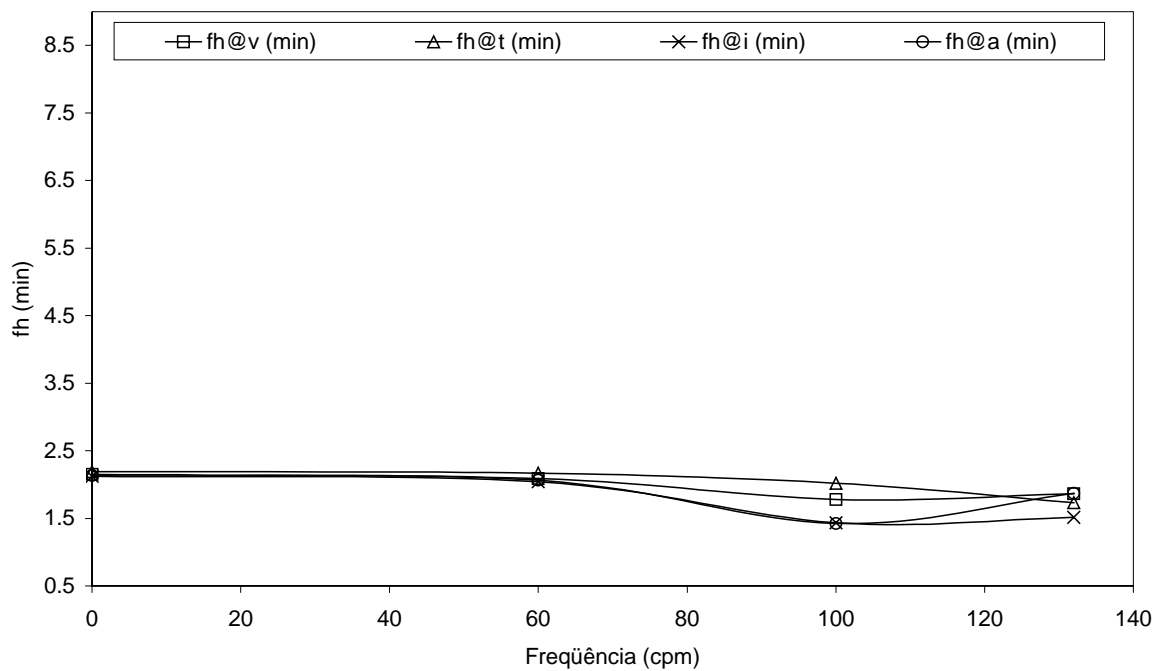


Figura 12. Água $\lambda = 25$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

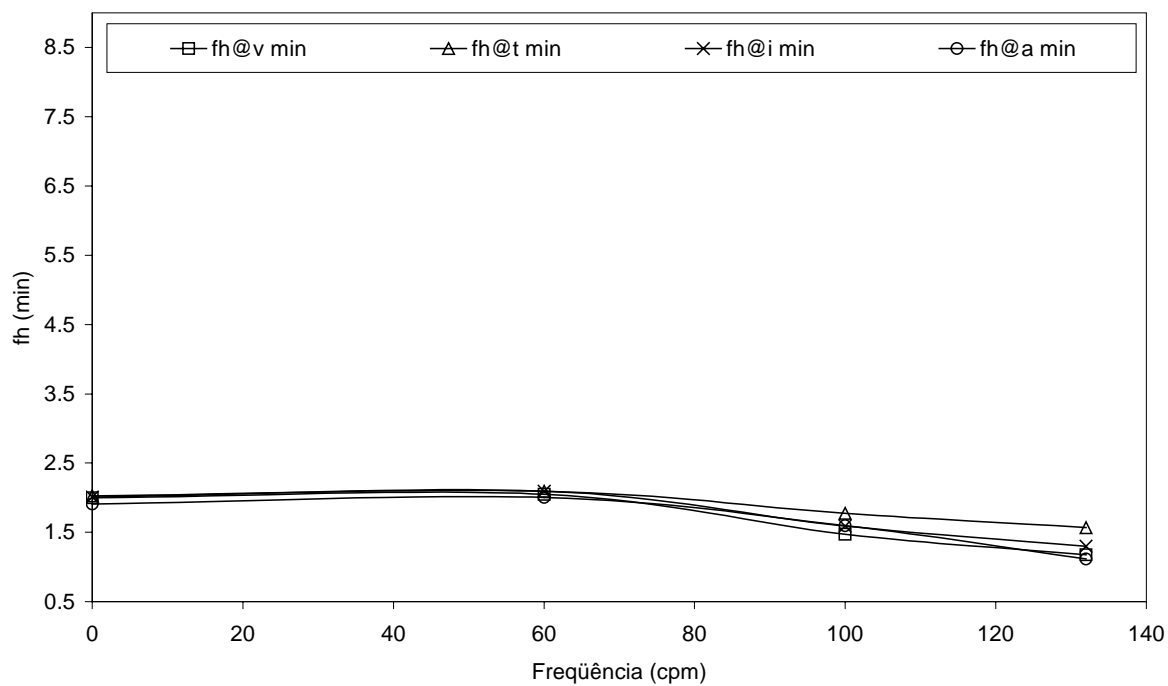


Figura 13. Água $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

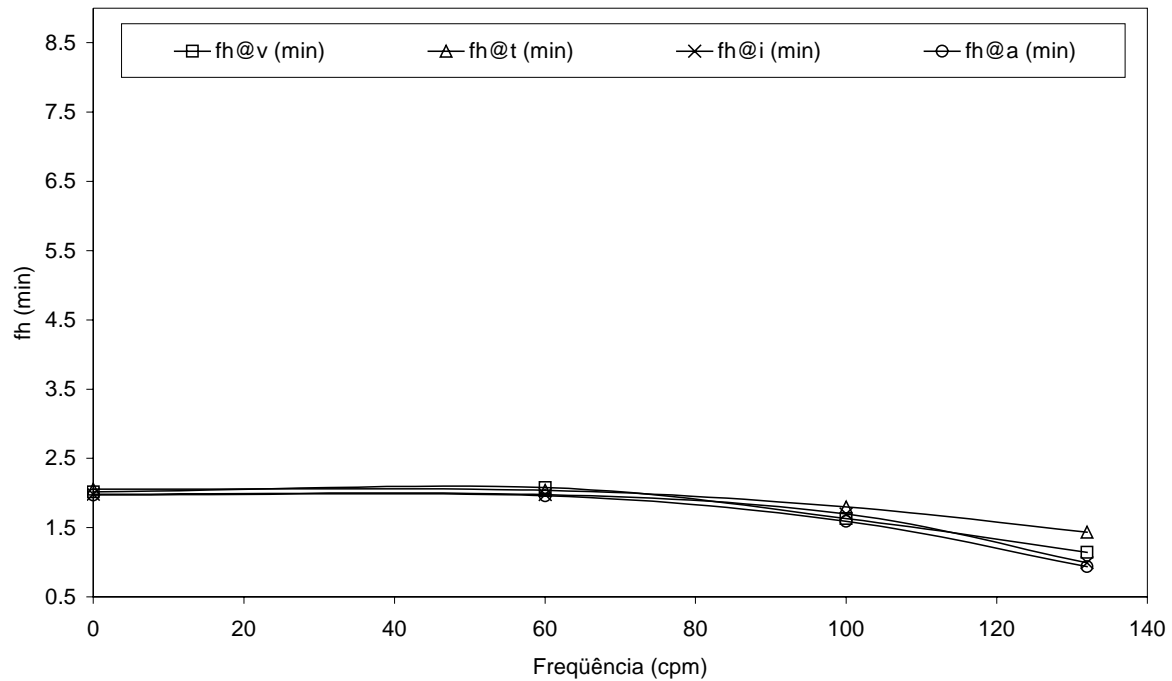


Figura 14. Água $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da frequência (cpm)

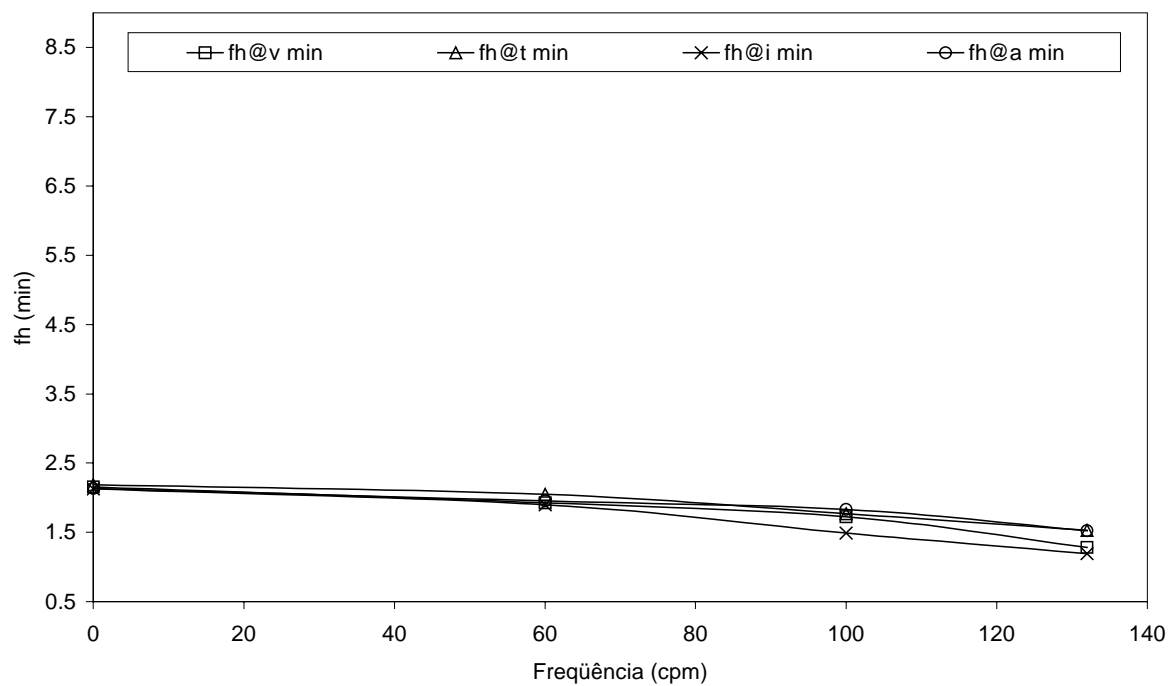


Figura 15. Água $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da frequência (cpm)

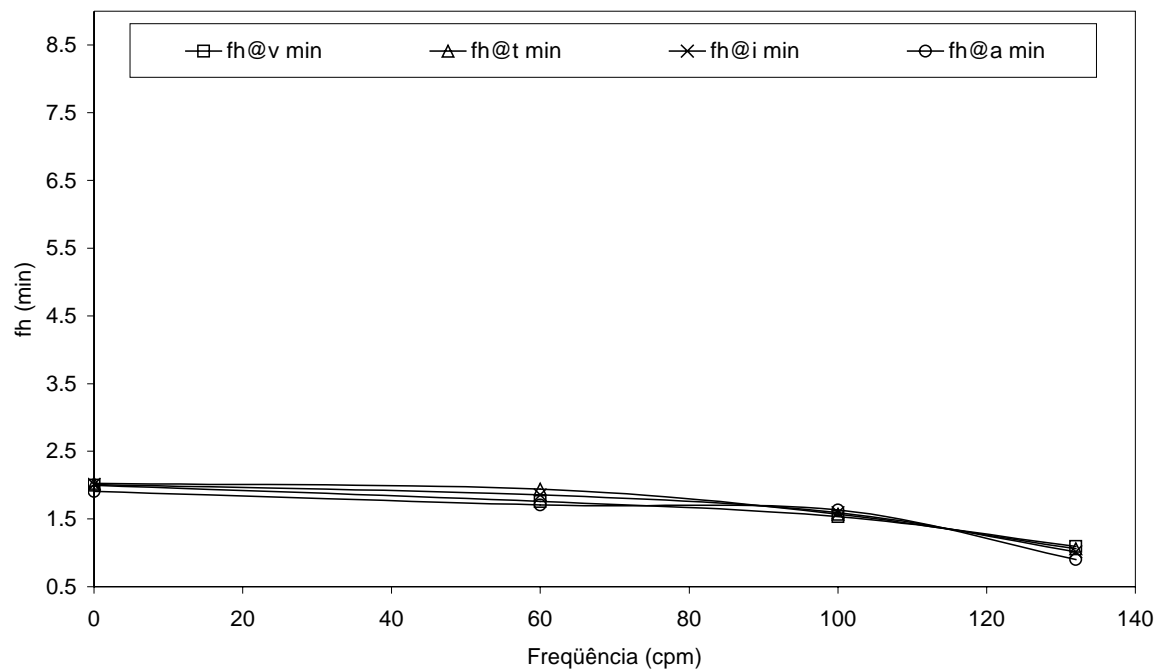


Figura 16. Água $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, f_h (min) em função da freqüência (cpm)

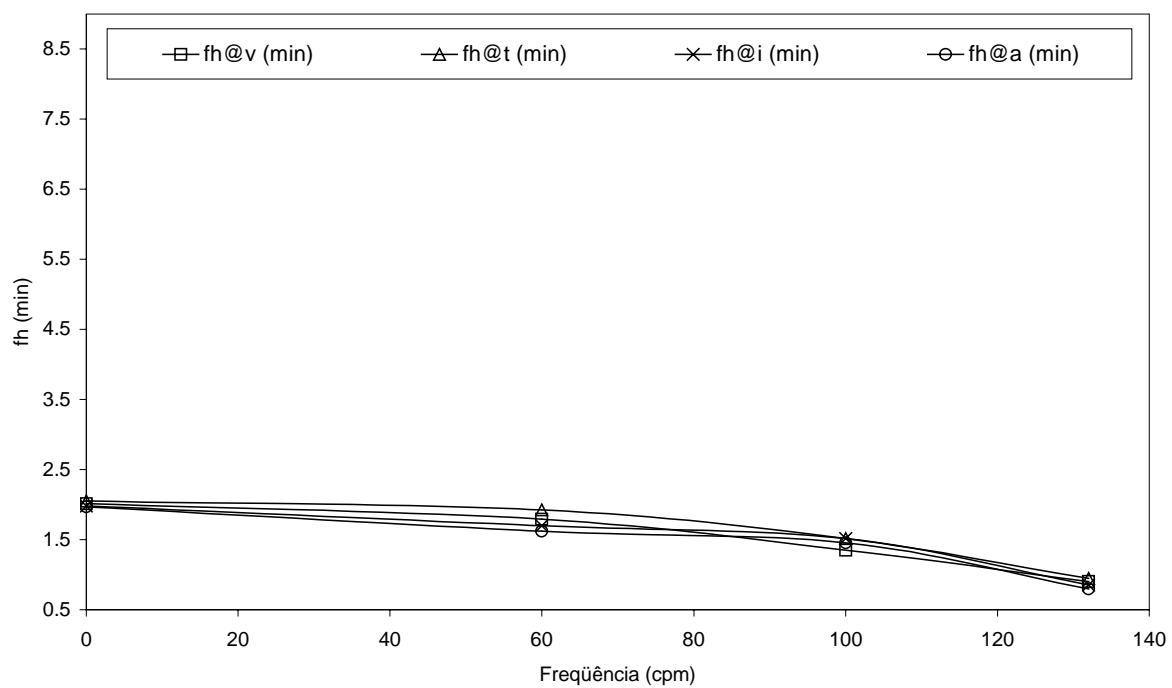


Figura 17. Água $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, f_h (min) em função da freqüência (cpm)

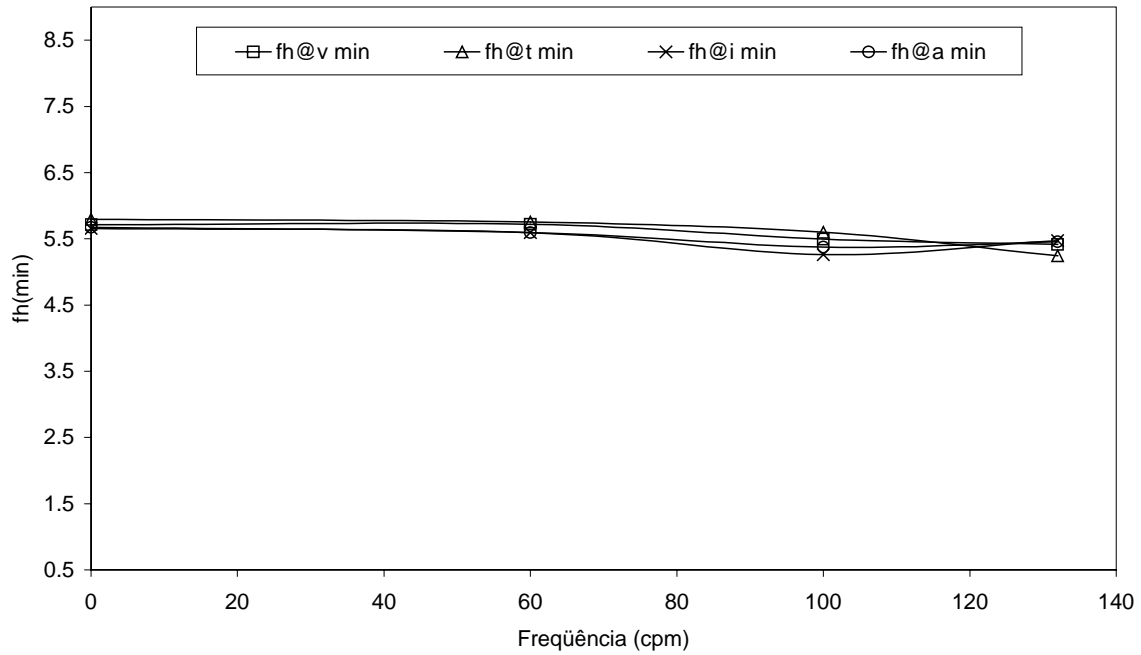


Figura 18. Neutral oil 150 $\lambda = 25$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

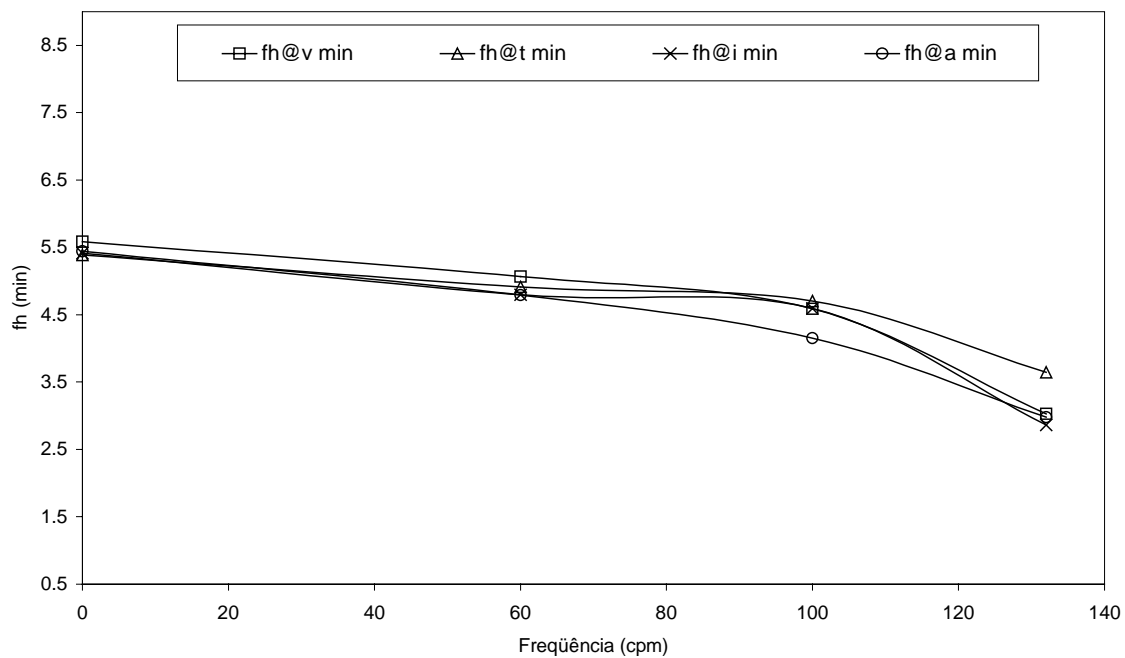


Figura 19. Neutral oil 150 $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

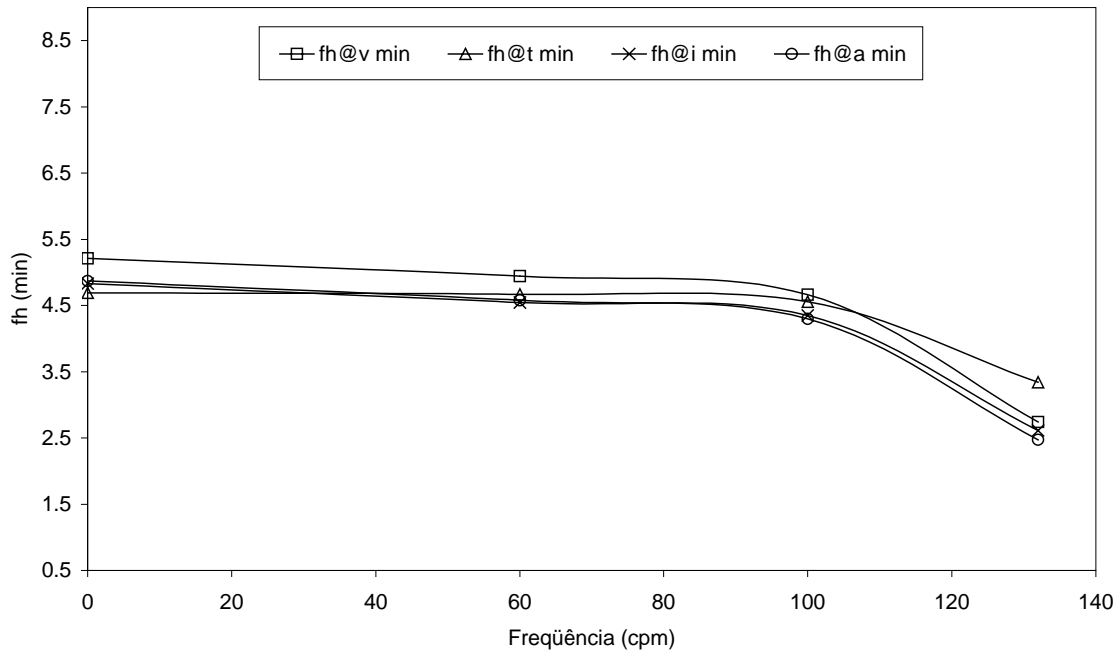


Figura 20. Neutral oil 150 $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

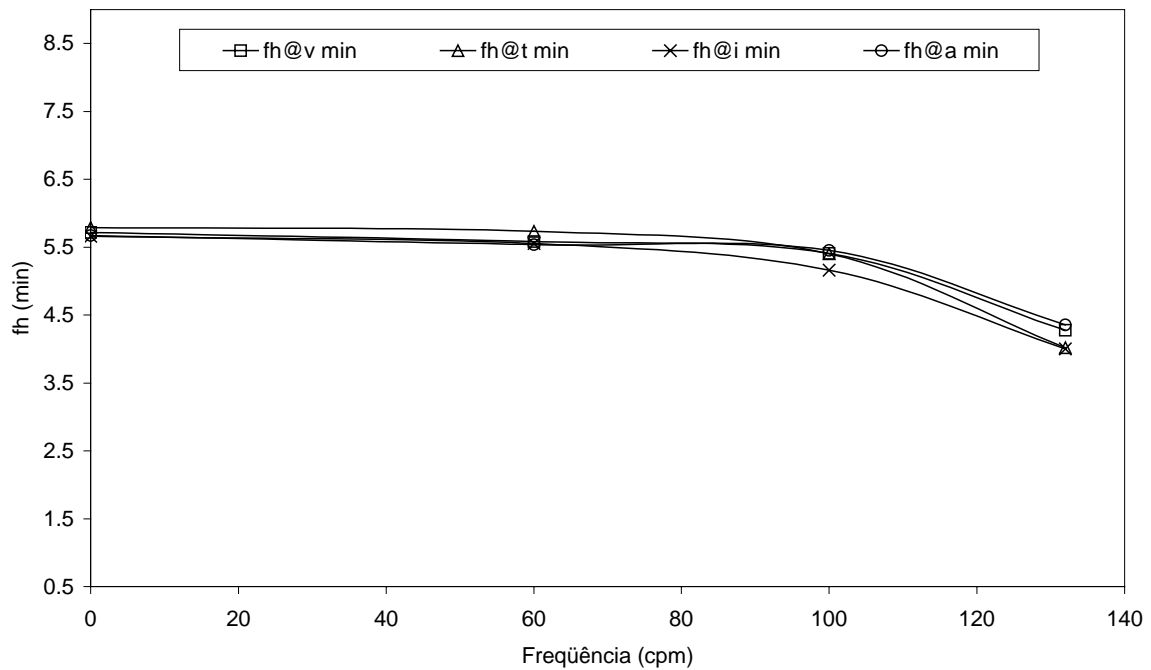


Figura 21. Neutral oil 150 $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

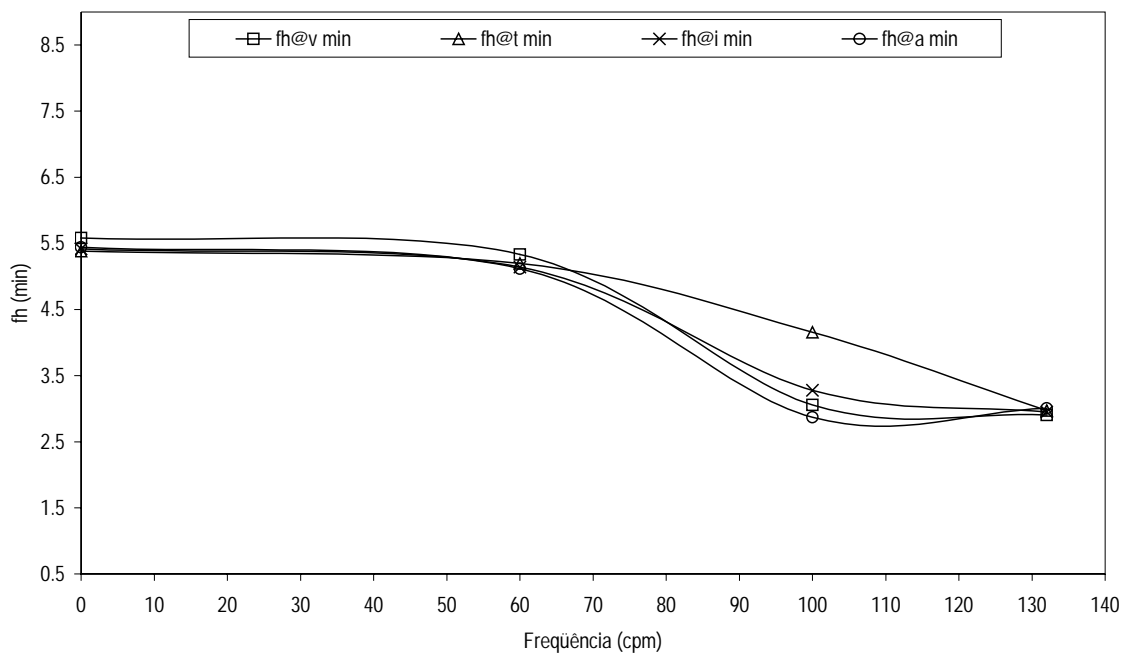


Figura 22. Neutral oil 150 $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

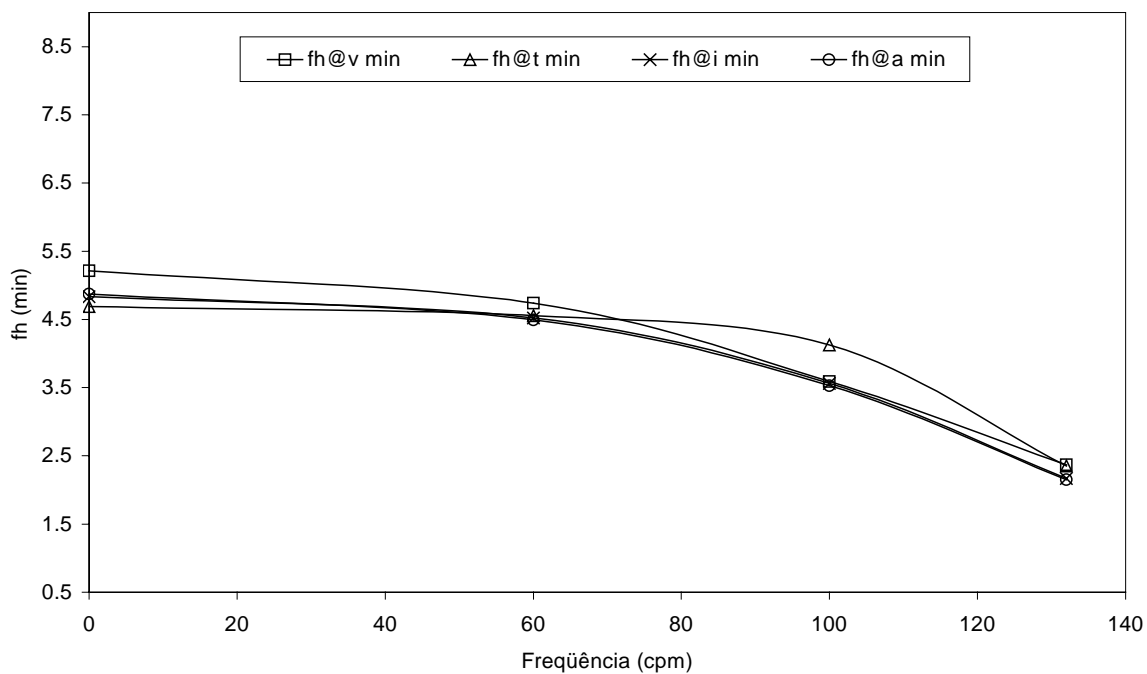


Figura 23. Neutral oil 150 $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

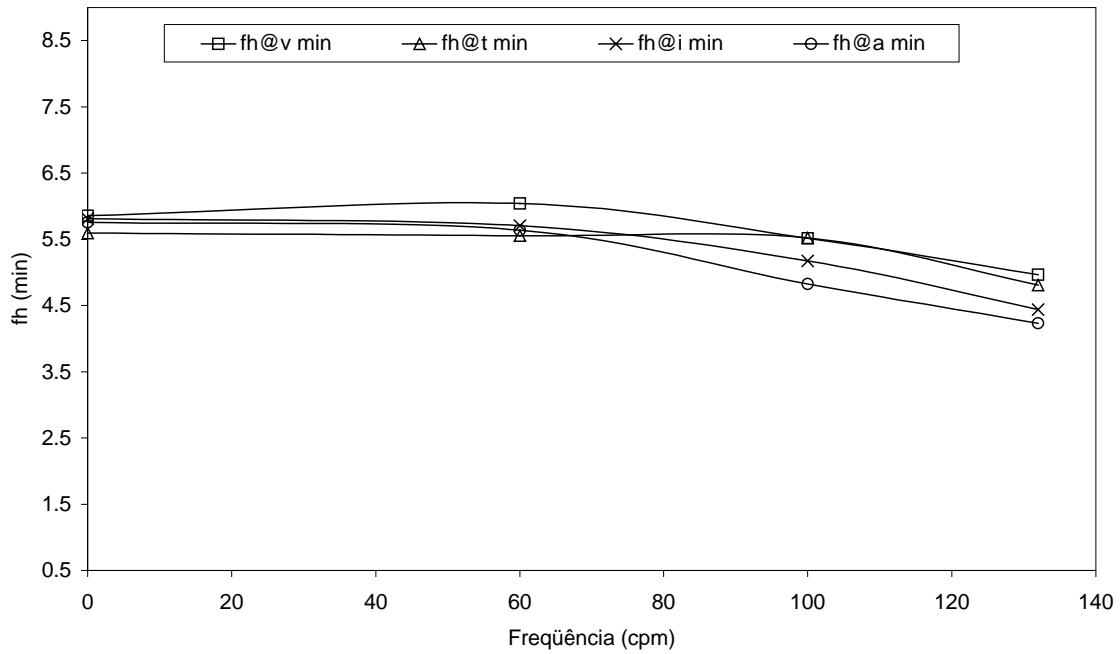


Figura 24. Neutral oil 500 $\lambda = 25$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

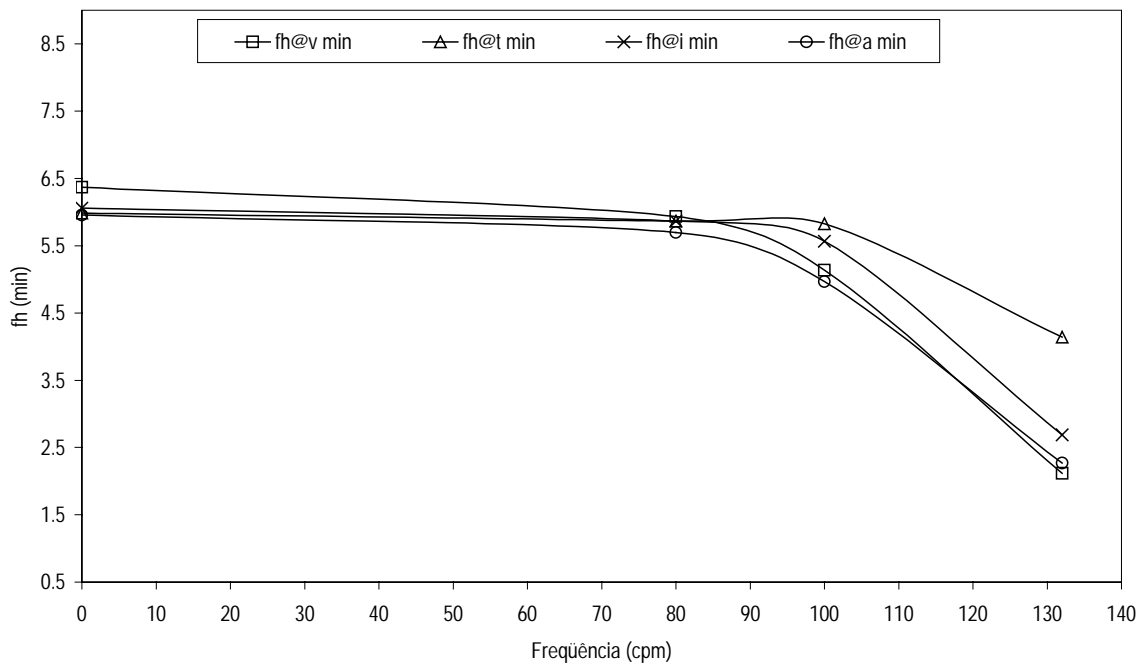


Figura 25. Neutral oil 500 $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

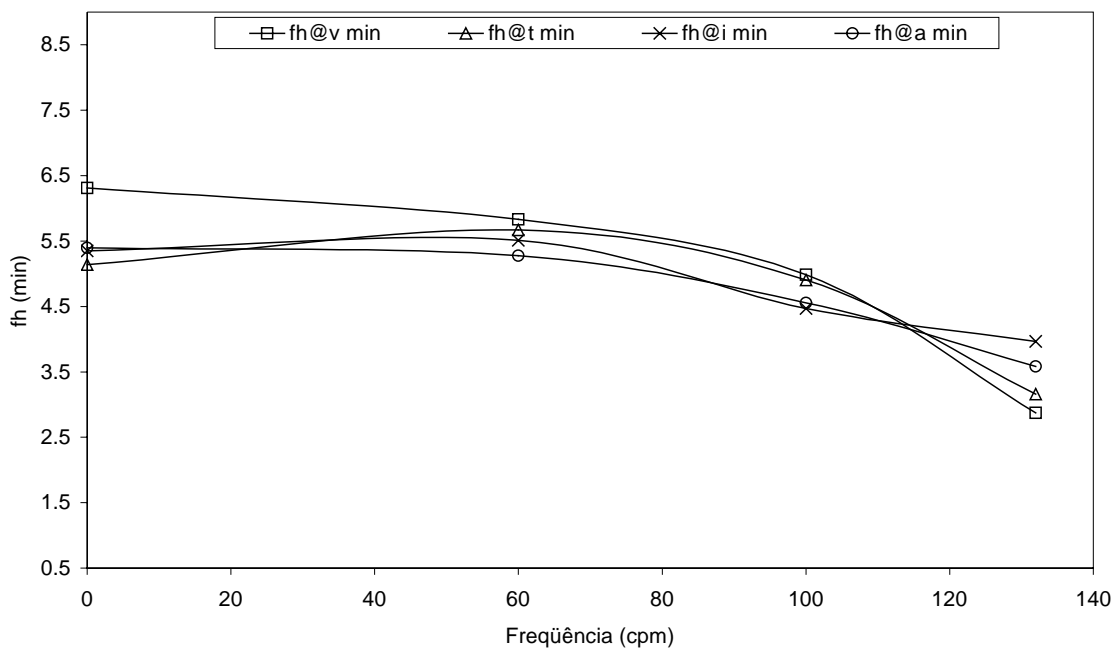


Figura 26. Neutral oil 500 $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

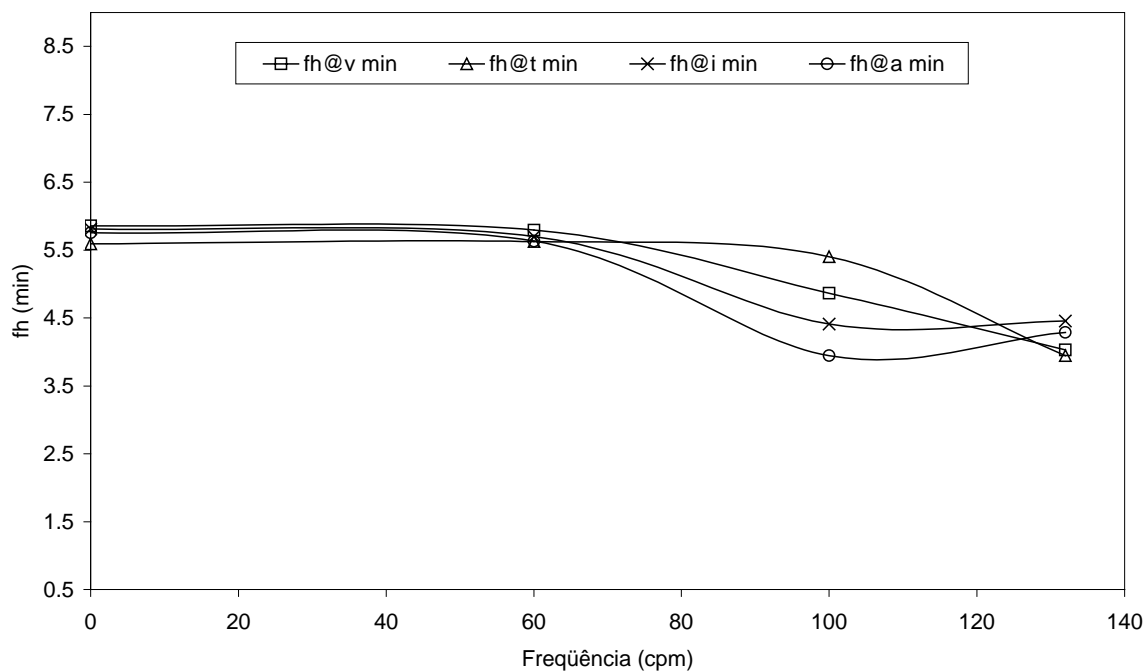


Figura 27. Neutral oil 500 $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

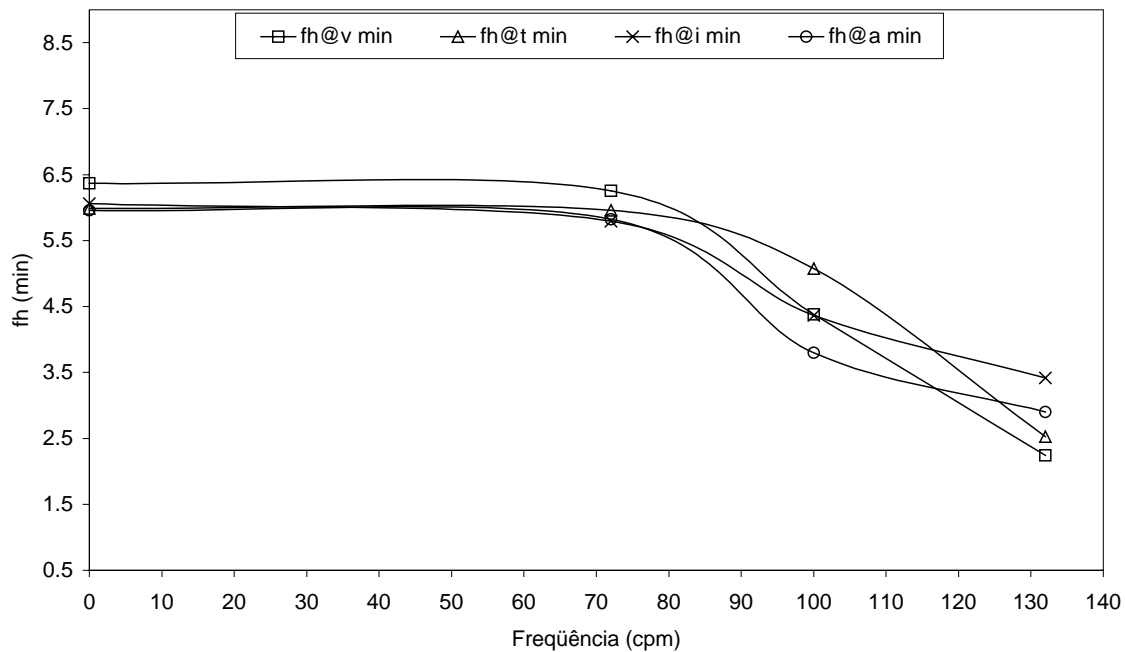


Figura 28. Neutral oil 500 $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

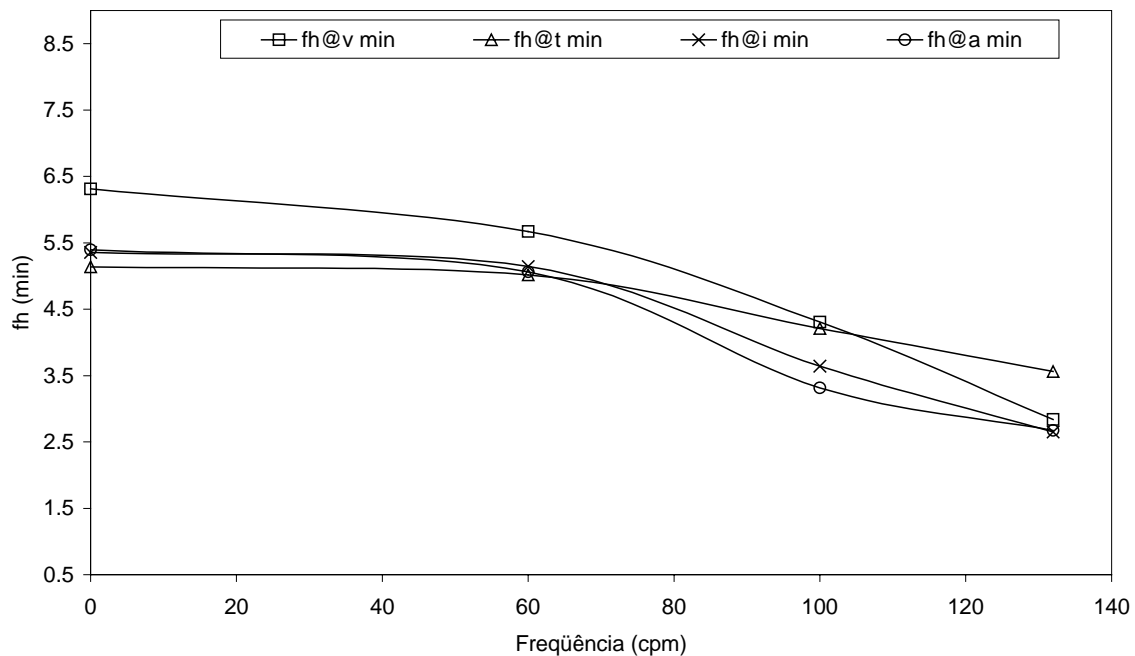


Figura 29. Neutral oil 500 $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

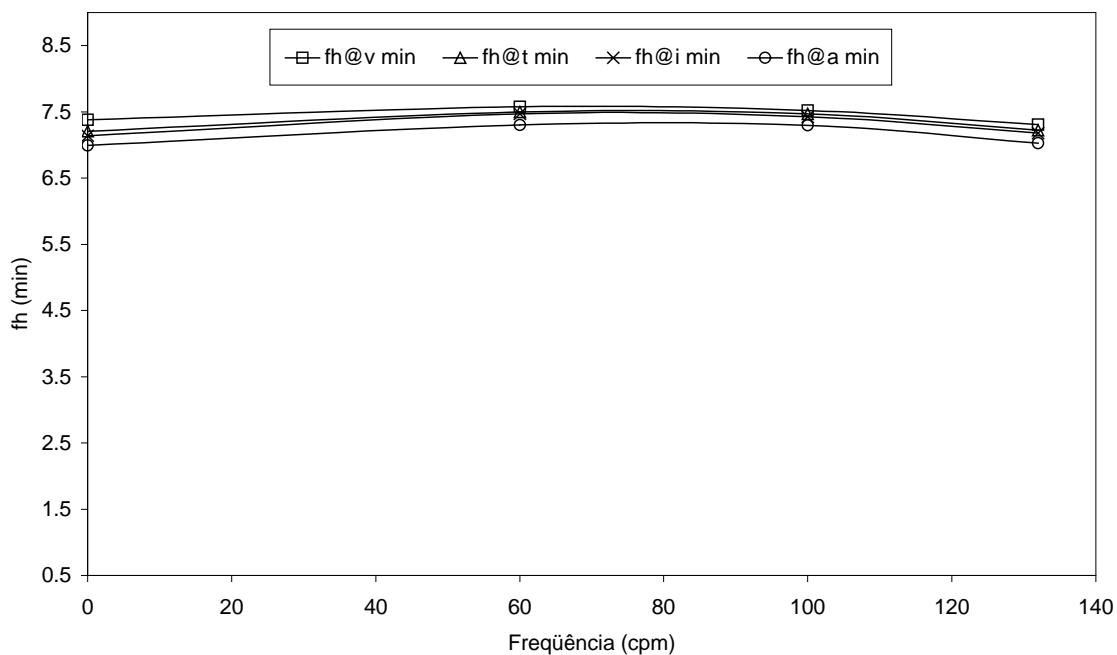


Figura 30. Bright stock oil $\lambda = 25$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

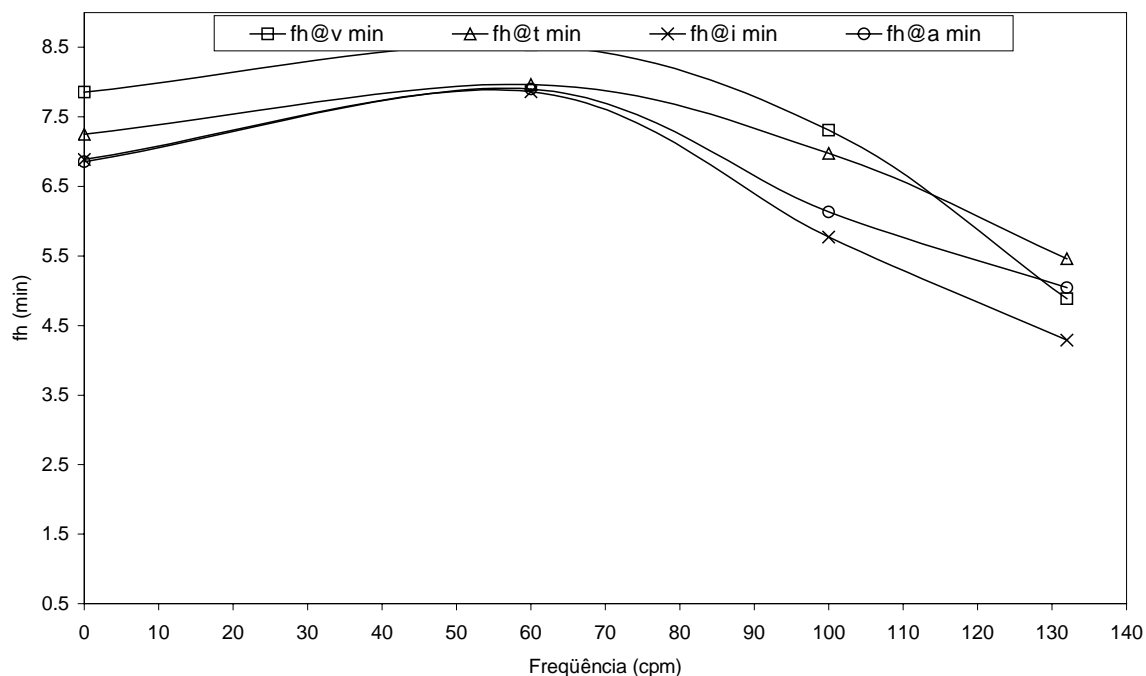


Figura 31. Bright stock oil $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

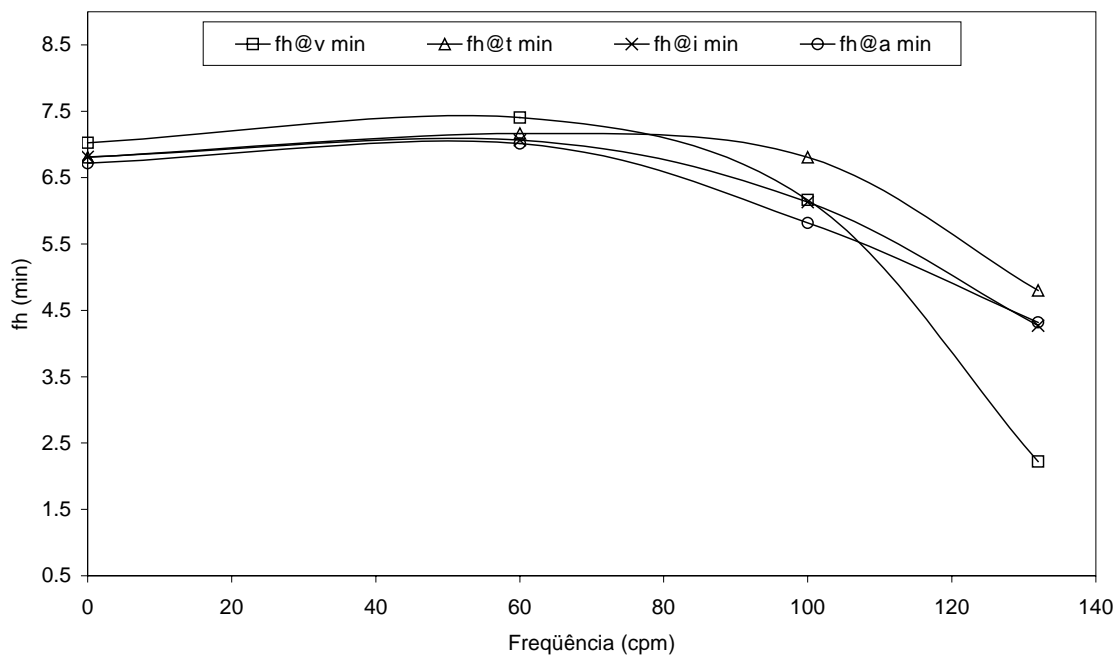


Figura 32. Bright stock oil $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

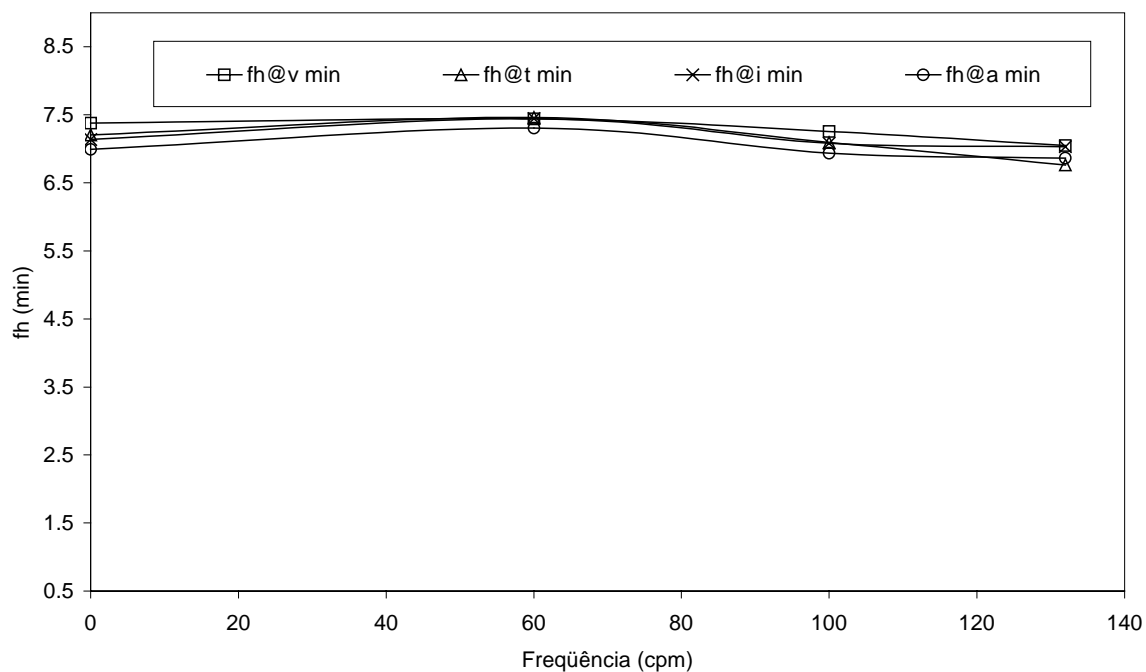


Figura 33. Bright stock oil $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fh (min) em função da freqüência (cpm)

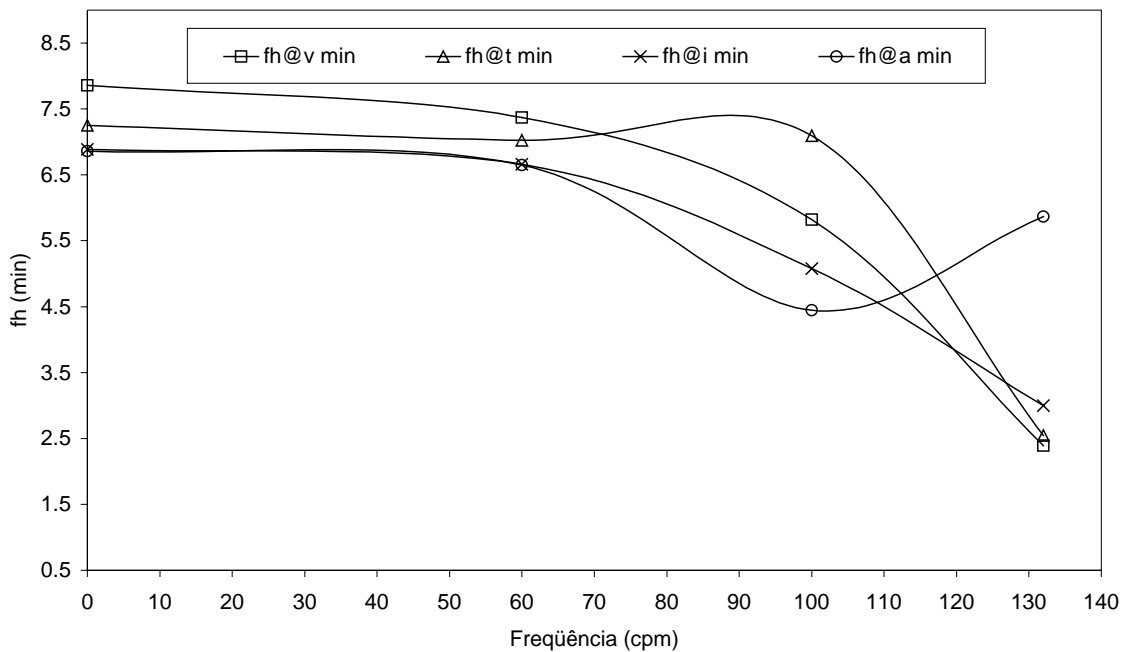


Figura 34. Bright stock oil $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, fh (min) em função da frequência (cpm)

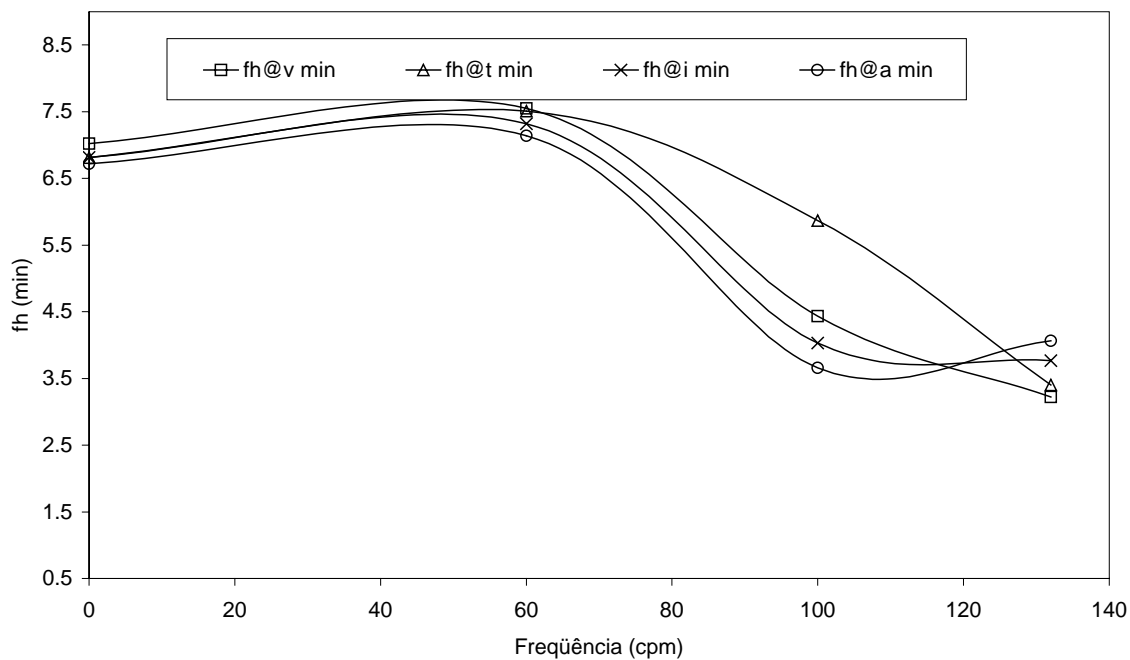


Figura 35. Bright stock oil $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, fh (min) em função da frequência (cpm)

5.96.10 Resultados dos valores de f_c de cada simulante em função da frequência de agitação

Nas Gráficos abaixo estão plotados f_c (min) em função da Frequência (cpm) de agitação para as latas testes em 4 posições das latas no pórtico, sendo $f_c@v$ vertical, $f_c@t$ transversal, $f_c@i$ inclinada e $f_c@l$ longitudinal.

As escalas dos gráficos foram ajustadas para o mínimo de 1 e máximo de 22 para valores de f_c (min).

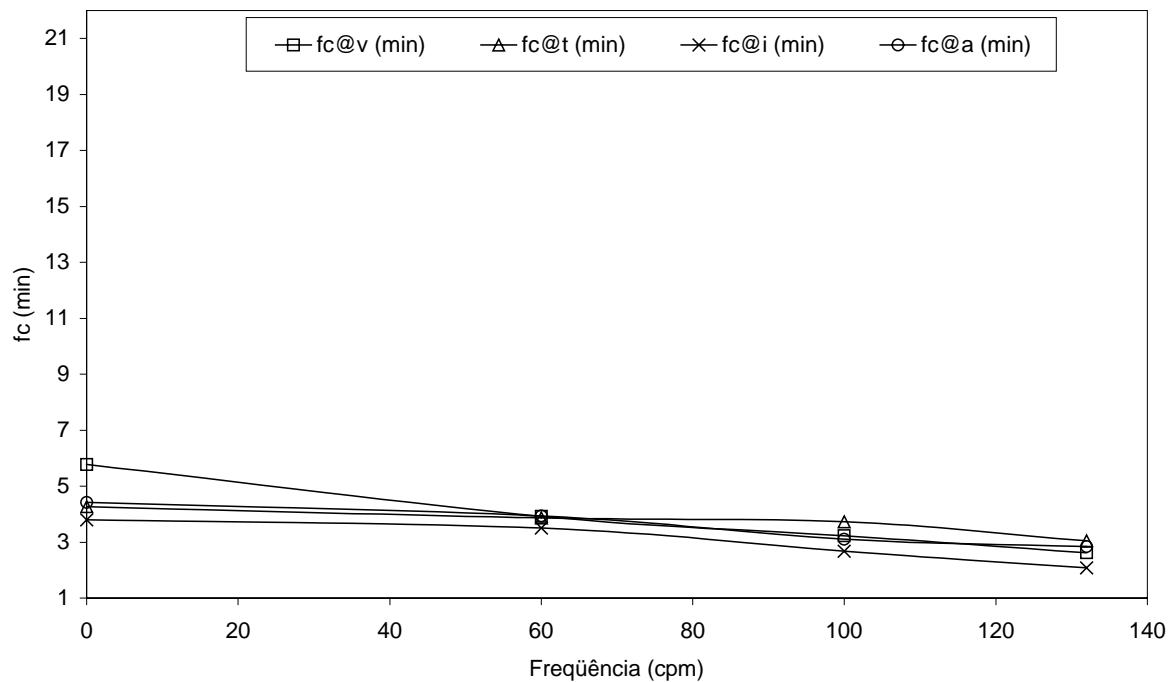


Figura 36. Água $\lambda = 25$ mm, $e_l = 4,1$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

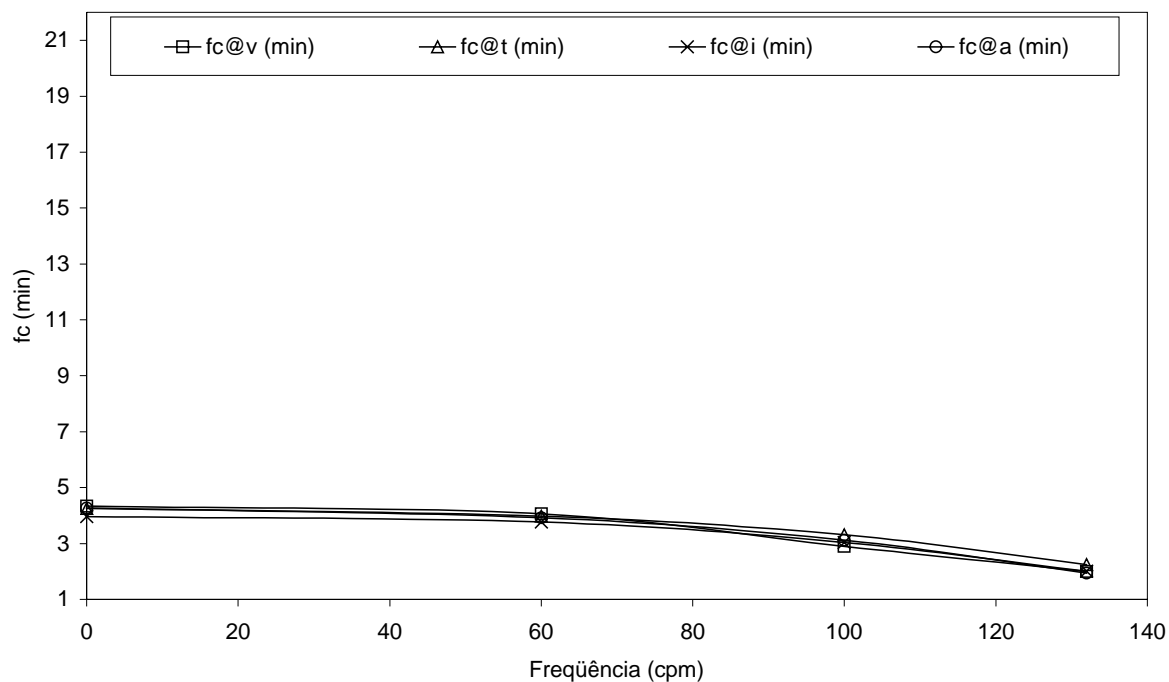


Figura 37. Água $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fc (min) em função da freqüência (cpm)

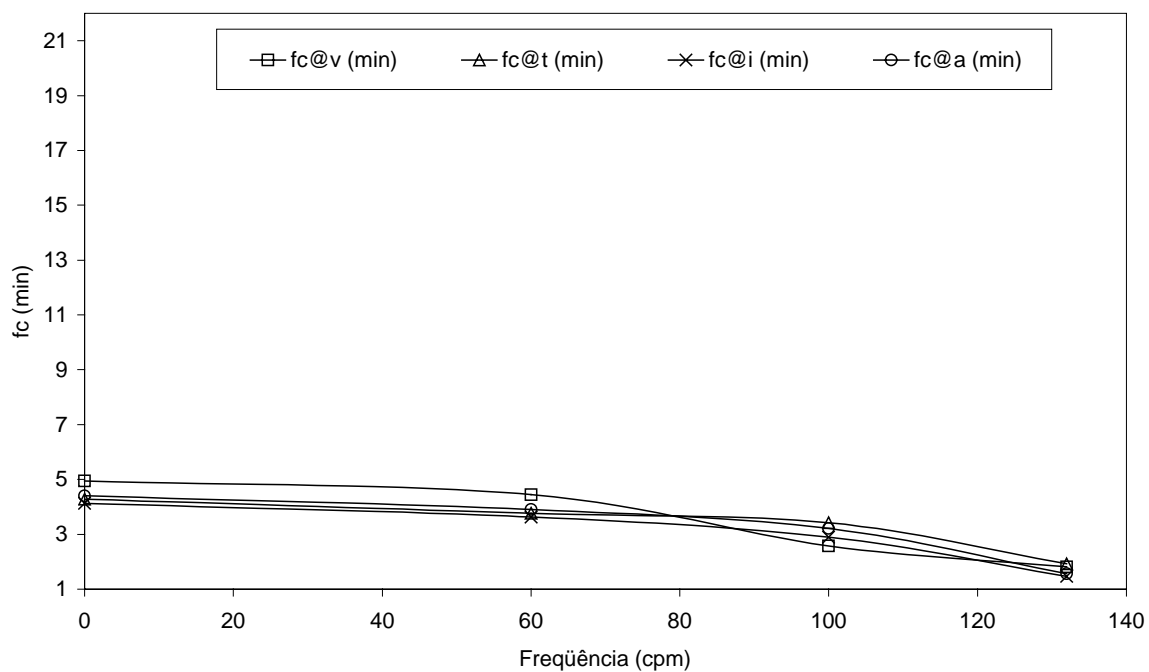


Figura 38. Água $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fc (min) em função da freqüência (cpm)

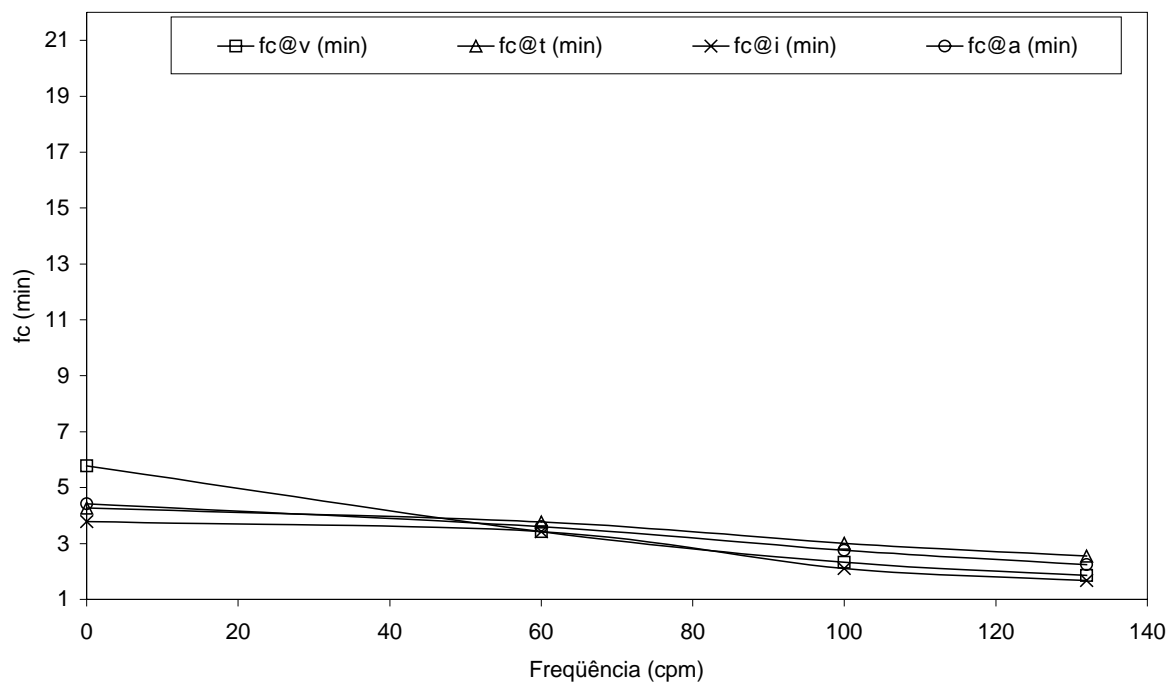


Figura 39. Água $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

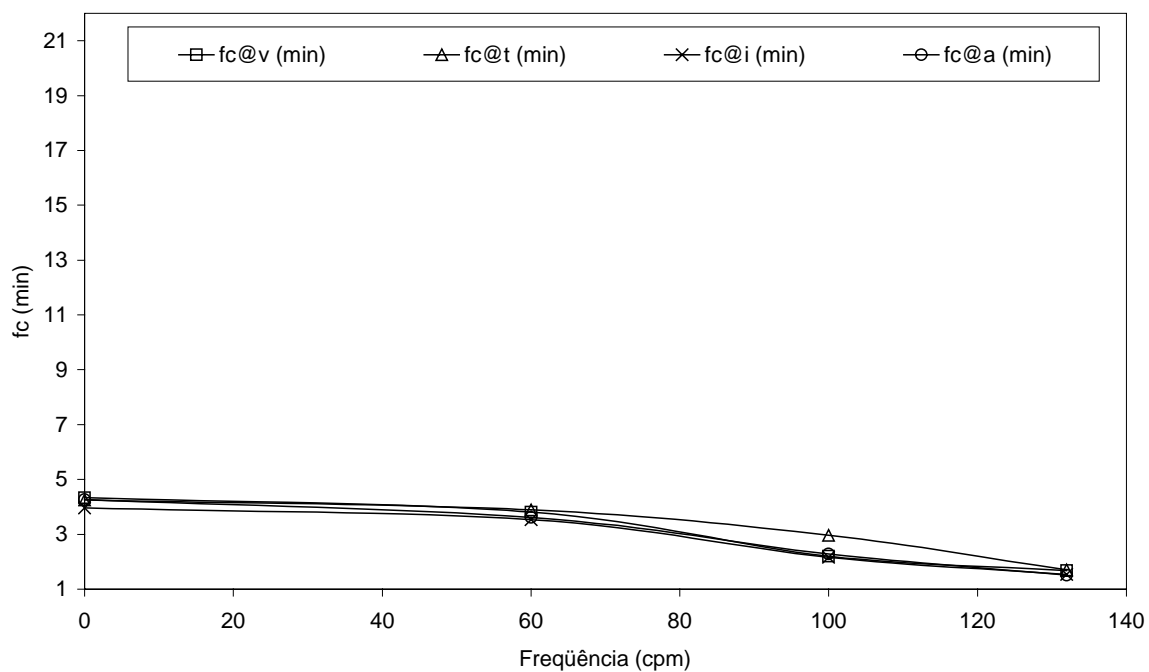


Figura 40. Água $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

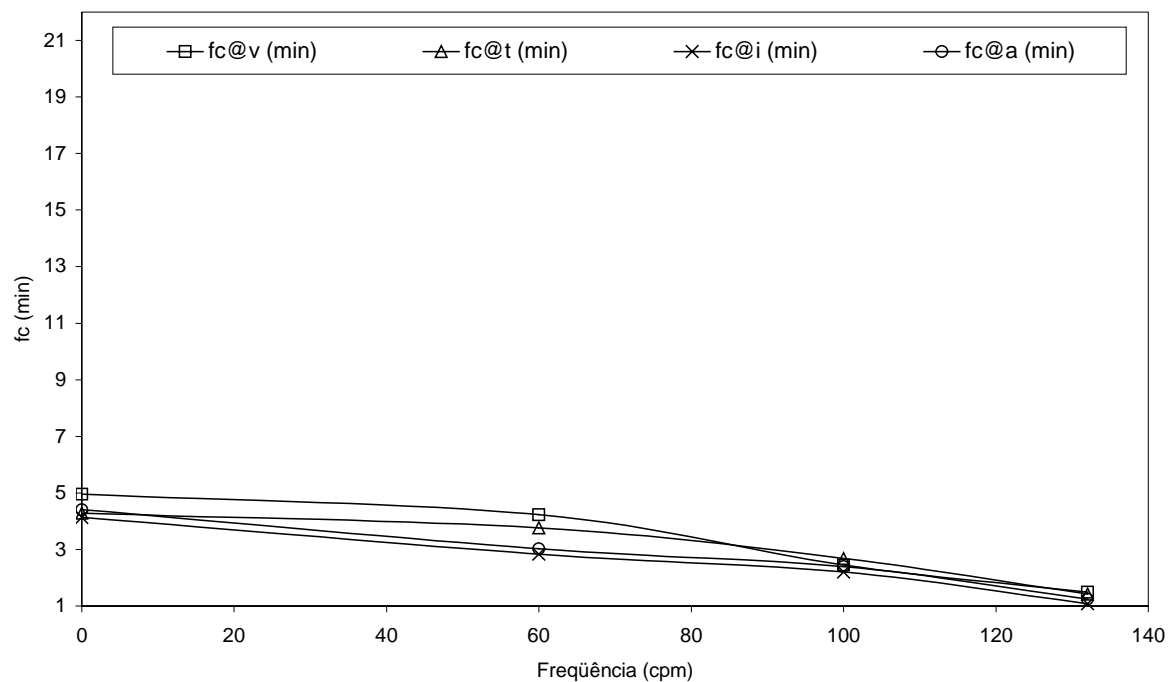


Figura 41. Água $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

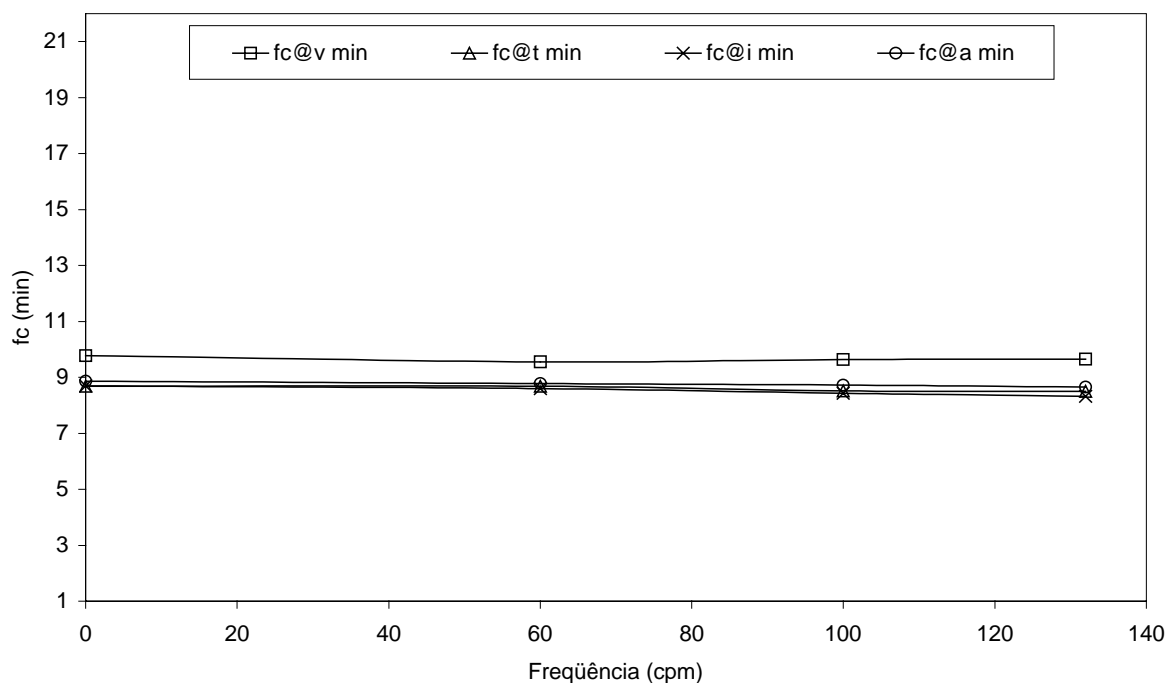


Figura 42. Neutral oil 150 $\lambda = 25$ mm, $el = 4,1$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

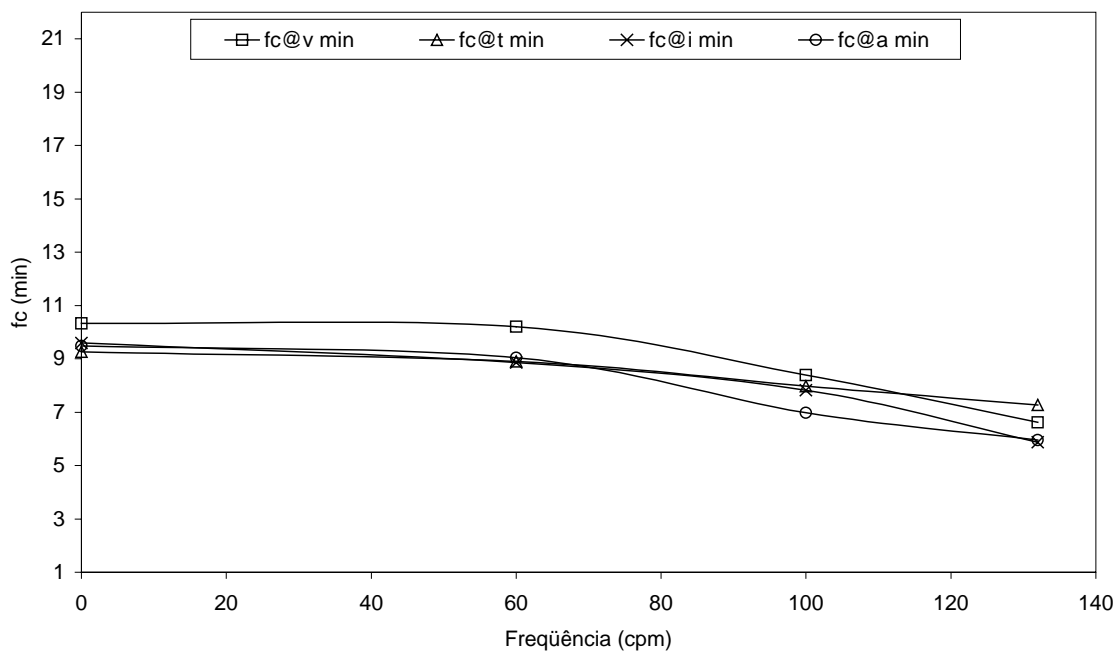


Figura 43. Neutral oil 150 $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

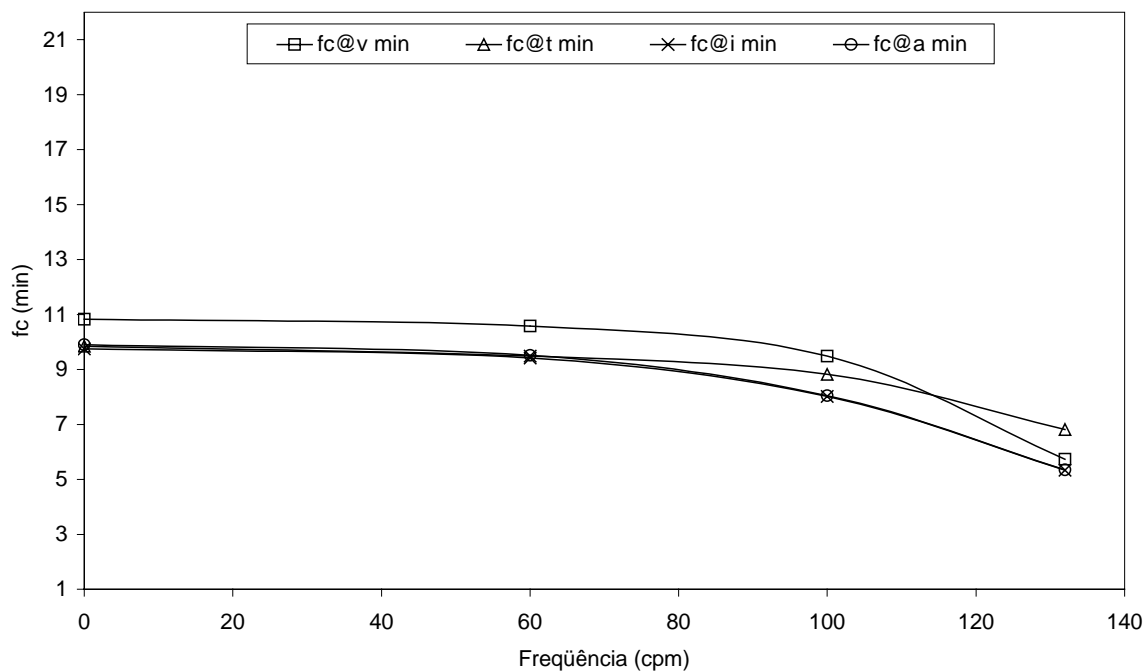


Figura 44. Neutral oil 150 $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

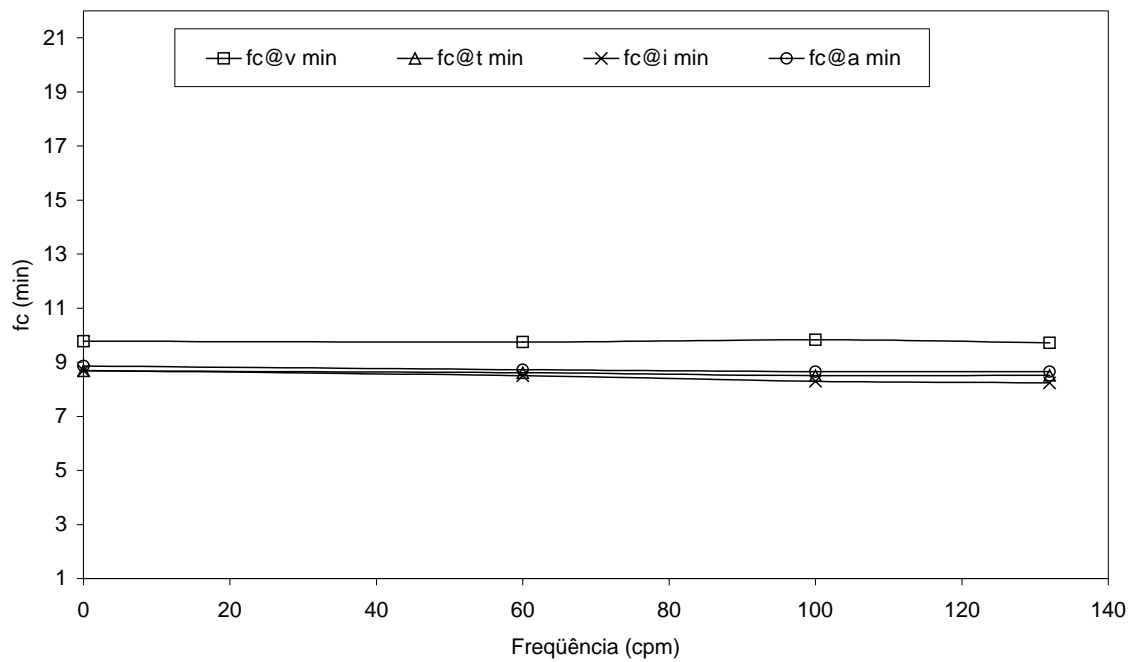


Figura 45. Neutral oil 150 $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

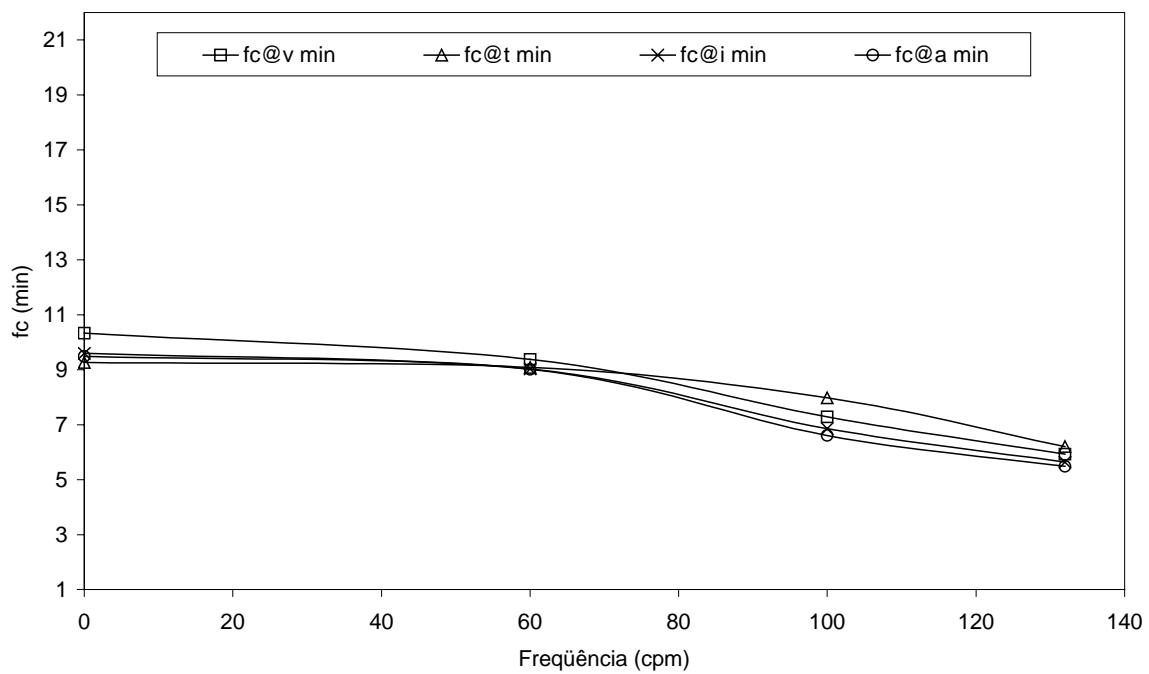


Figura 46. Neutral oil 150 $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

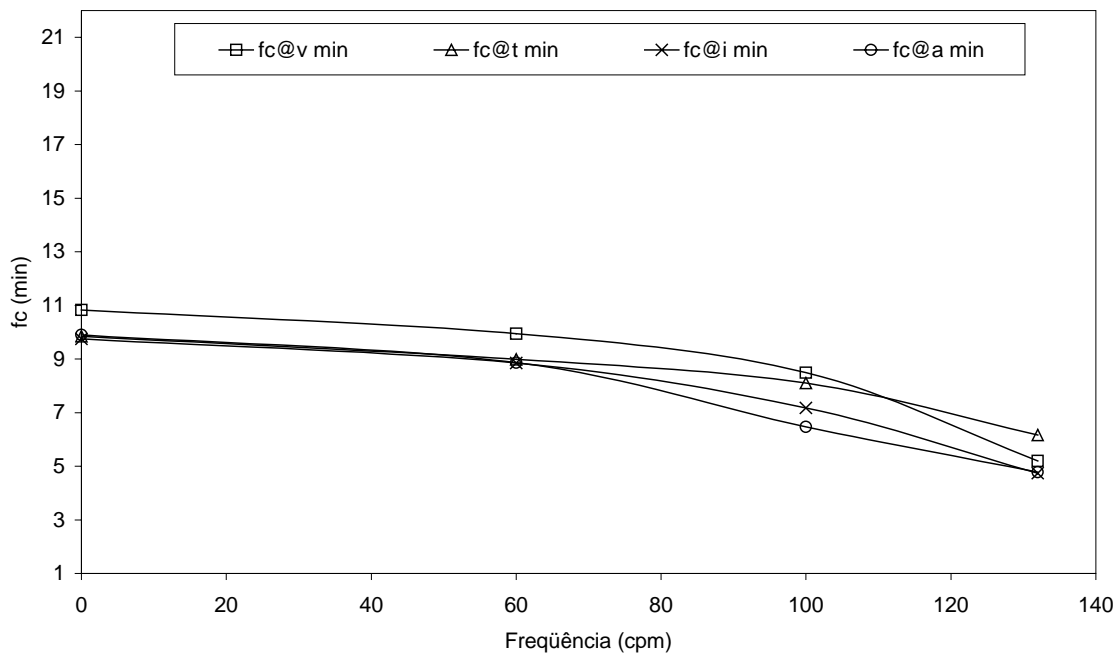


Figura 47. Neutral oil 150 $\lambda = 42$ mm, $e_l = 12,2$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

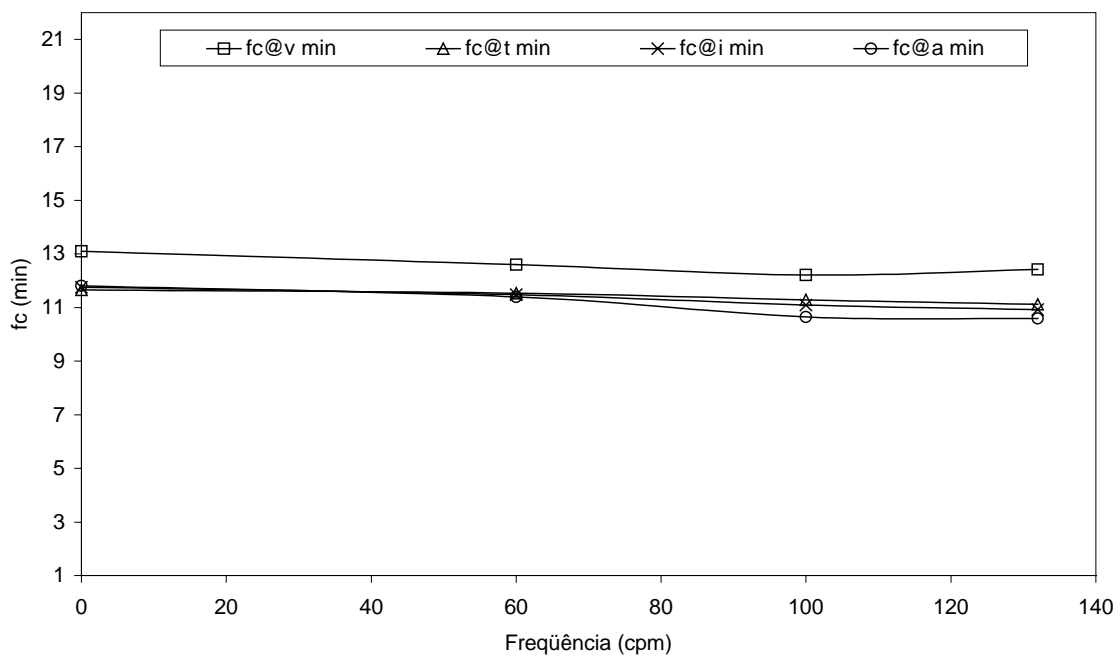


Figura 48. Neutral oil 500 $\lambda = 25$ mm, $e_l = 4,1$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

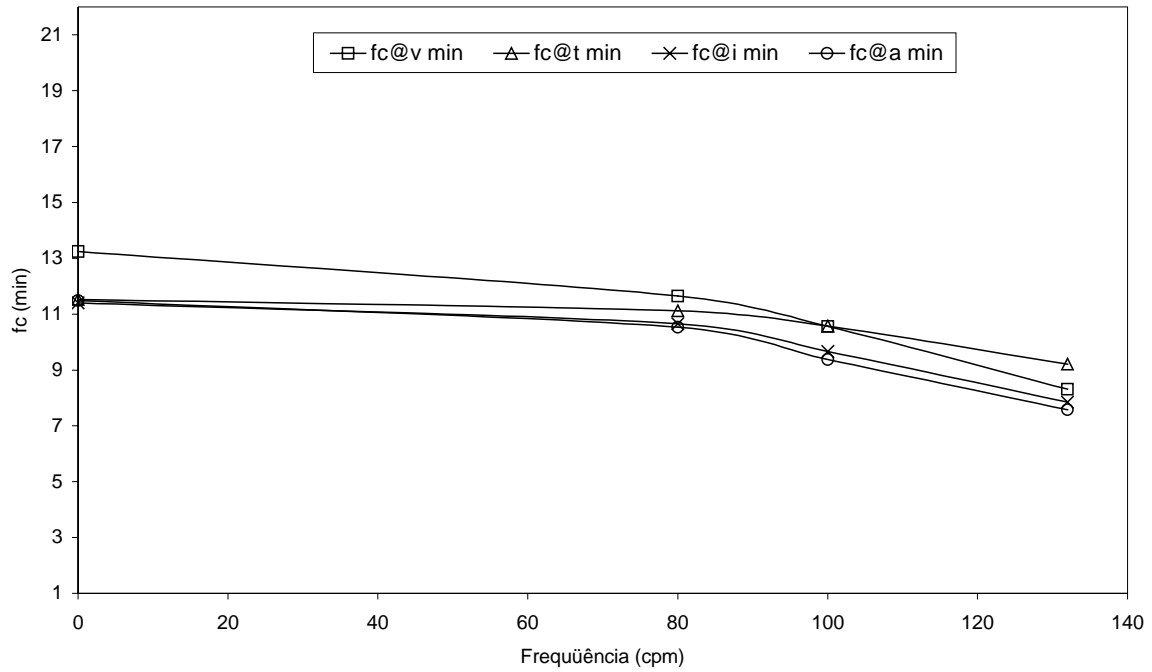


Figura 49. Neutral oil 500 $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

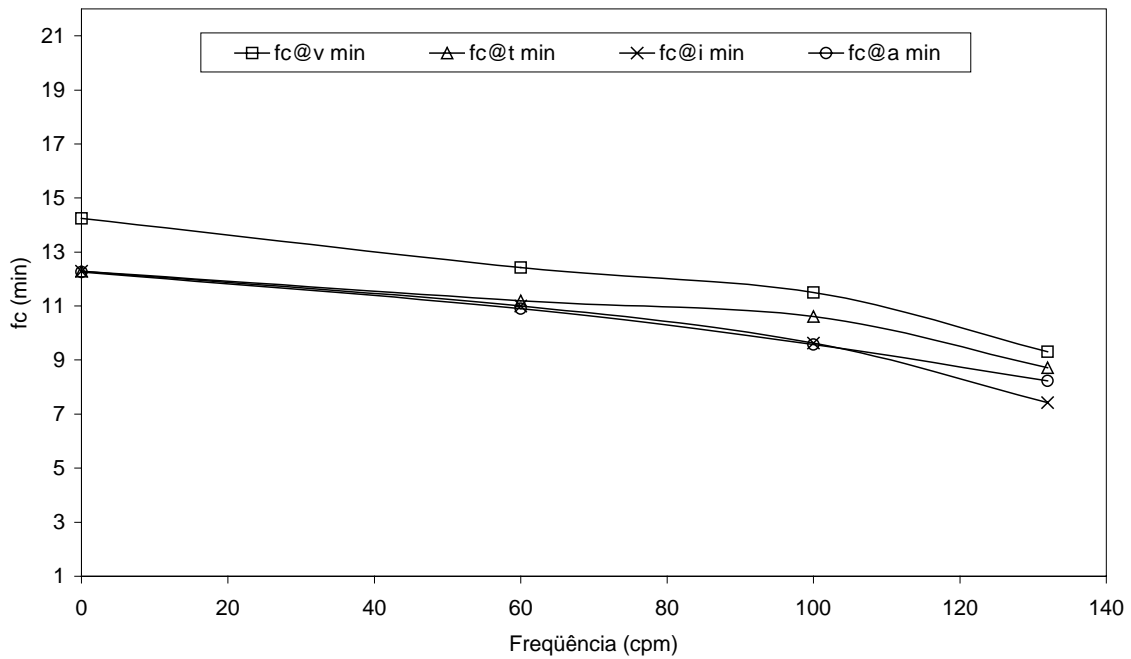


Figura 50. Neutral oil 500 $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

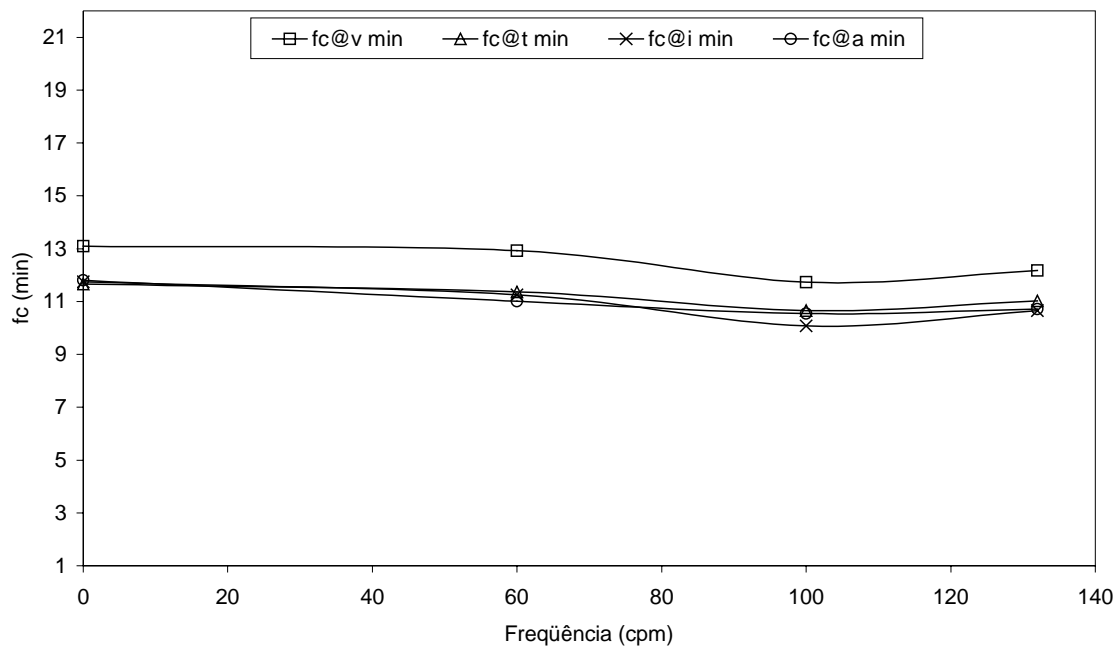


Figura 51. Neutral oil 500 $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

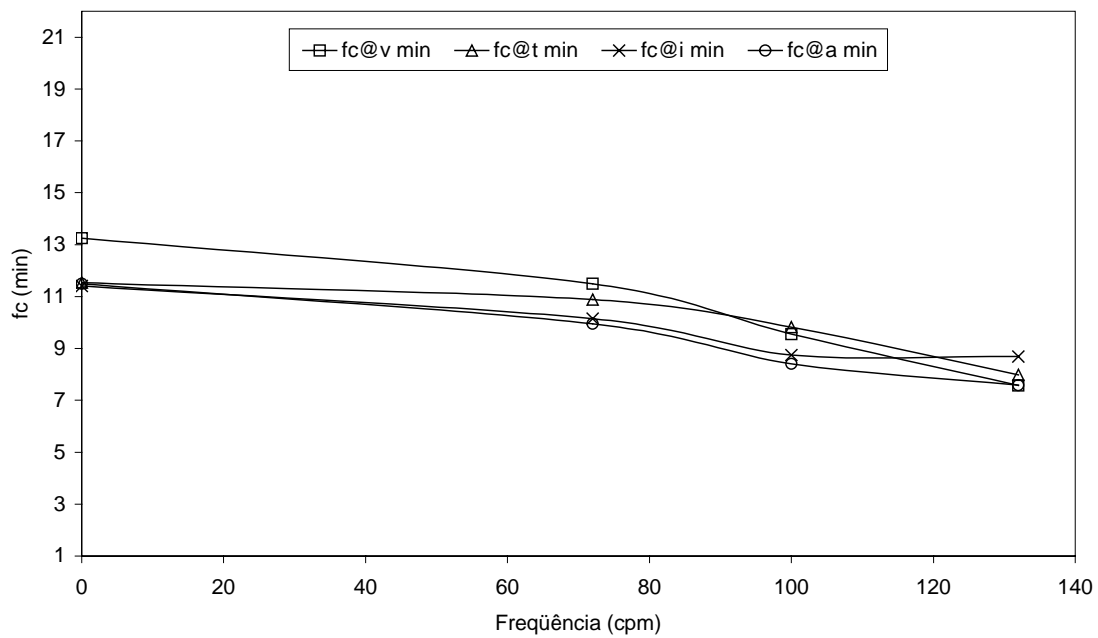


Figura 52. Neutral oil 500 $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

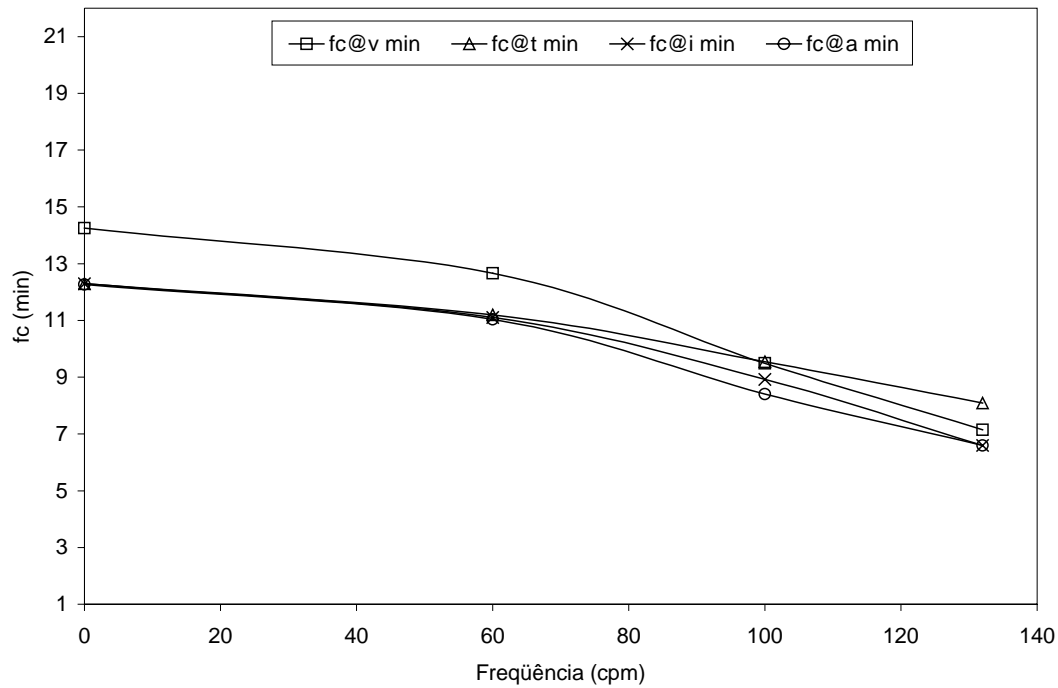


Figura 53. Neutral oil 500 $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

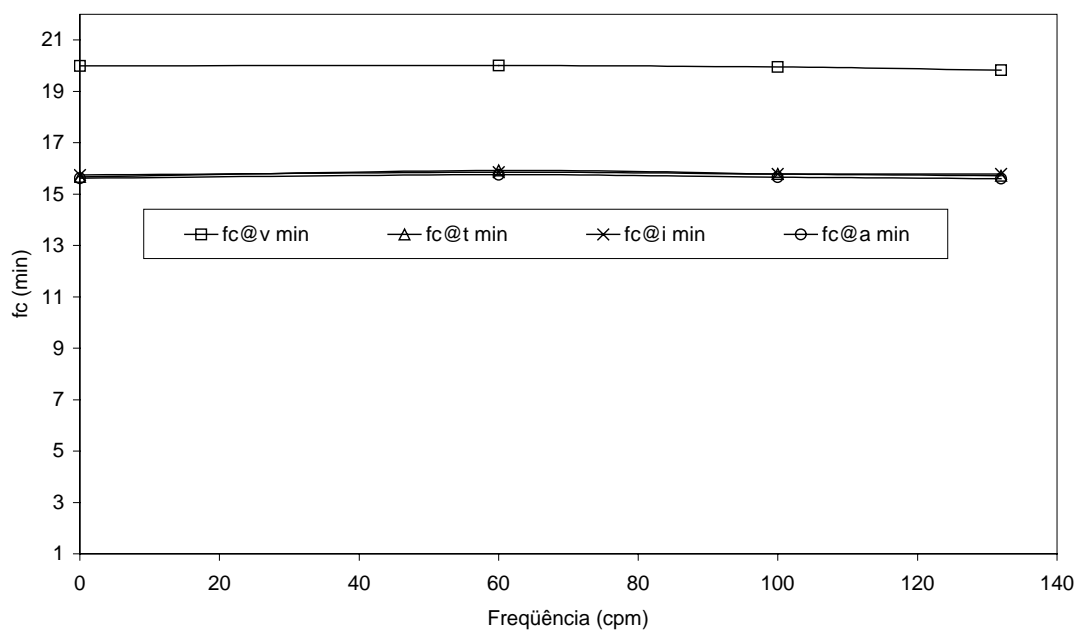


Figura 54. Bright stock oil $\lambda = 25$ mm, $el = 4,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

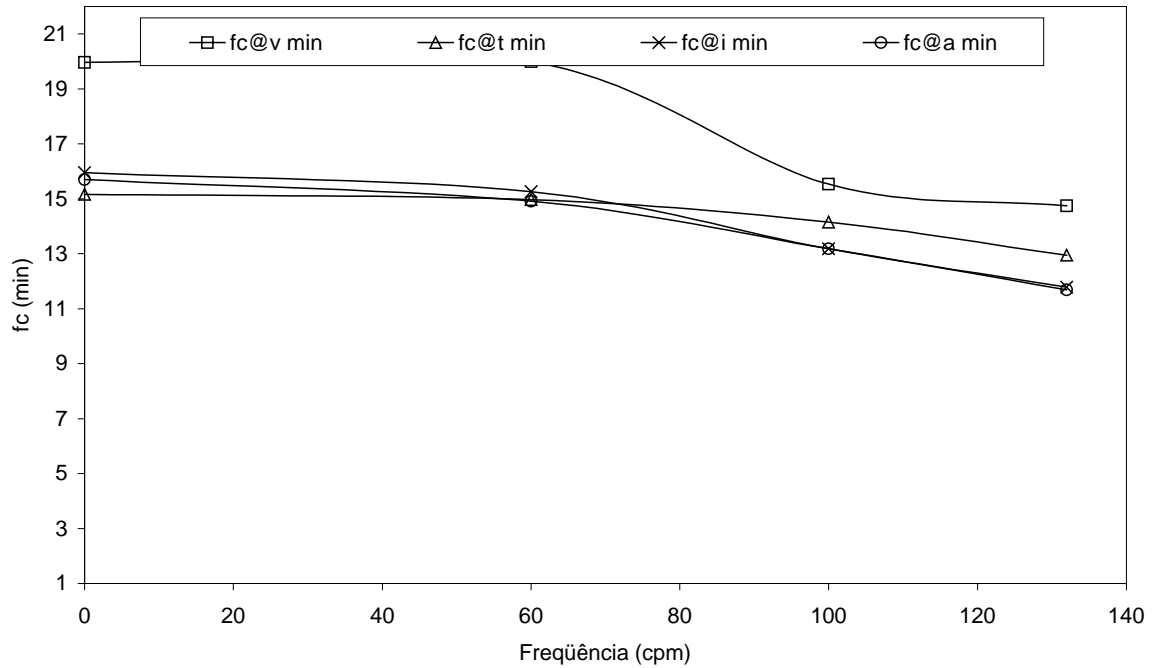


Figura 55. Bright stock oil $\lambda = 25$ mm, $el = 8,1$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

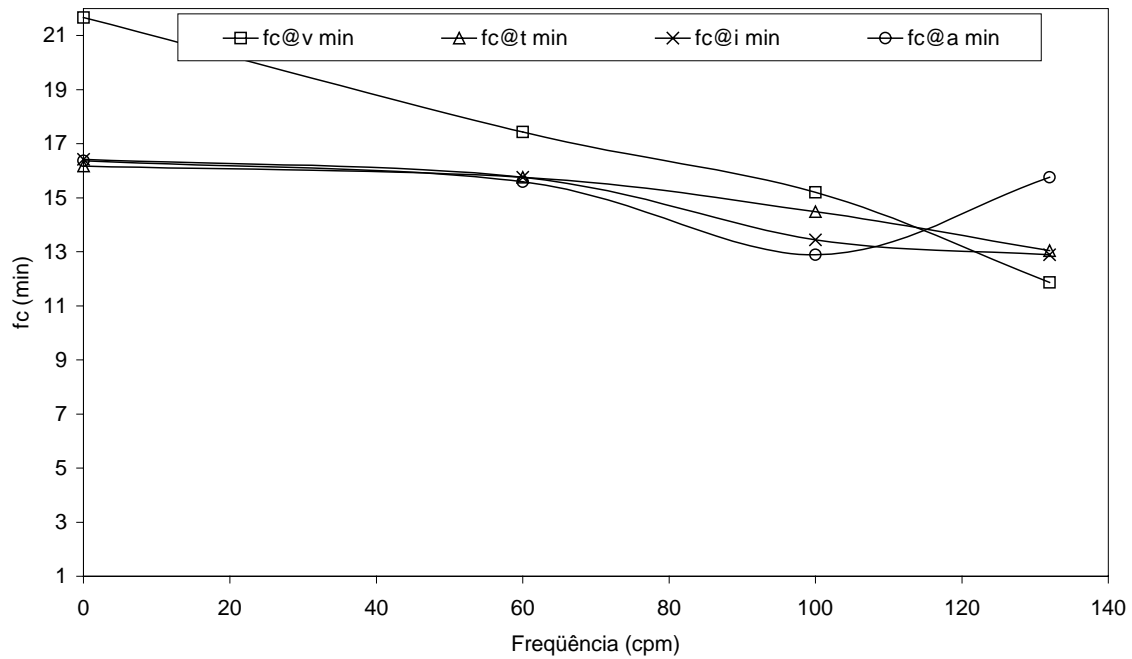


Figura 56. Bright stock oil $\lambda = 25$ mm, $el = 12,2$ mm, fc (min) em função da frequência (cpm)

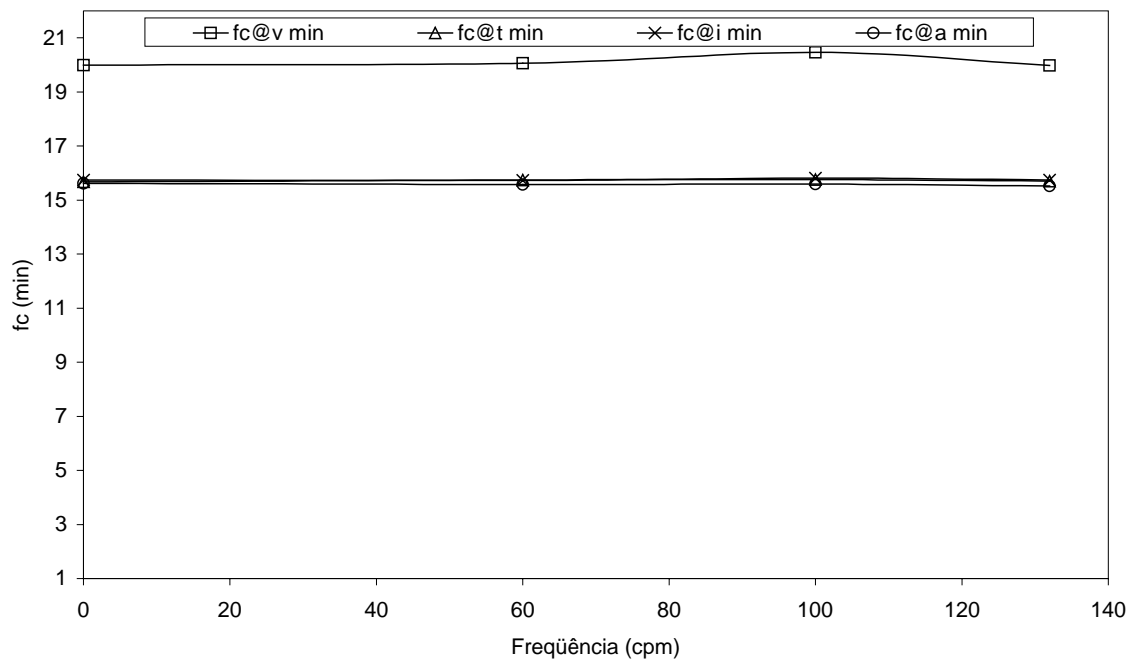


Figura 57. Bright stock oil $\lambda = 42$ mm, $el = 4,1$ mm, f_c (min) em função da freqüência (cpm)

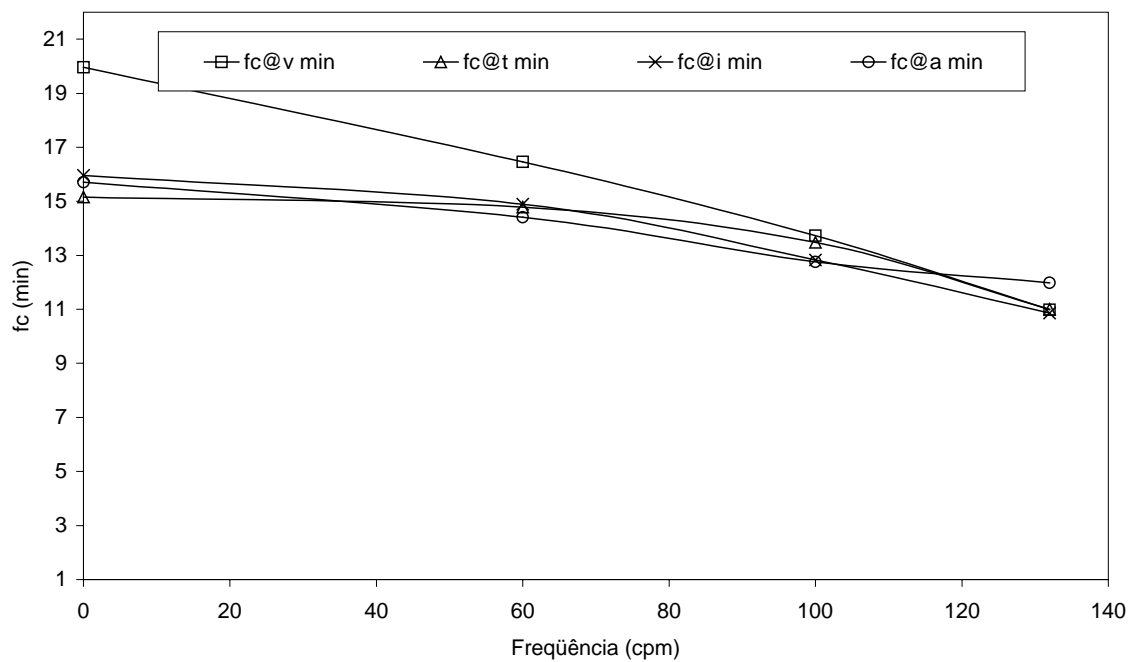


Figura 58. Bright stock oil $\lambda = 42$ mm, $el = 8,1$ mm, f_c (min) em função da freqüência (cpm)

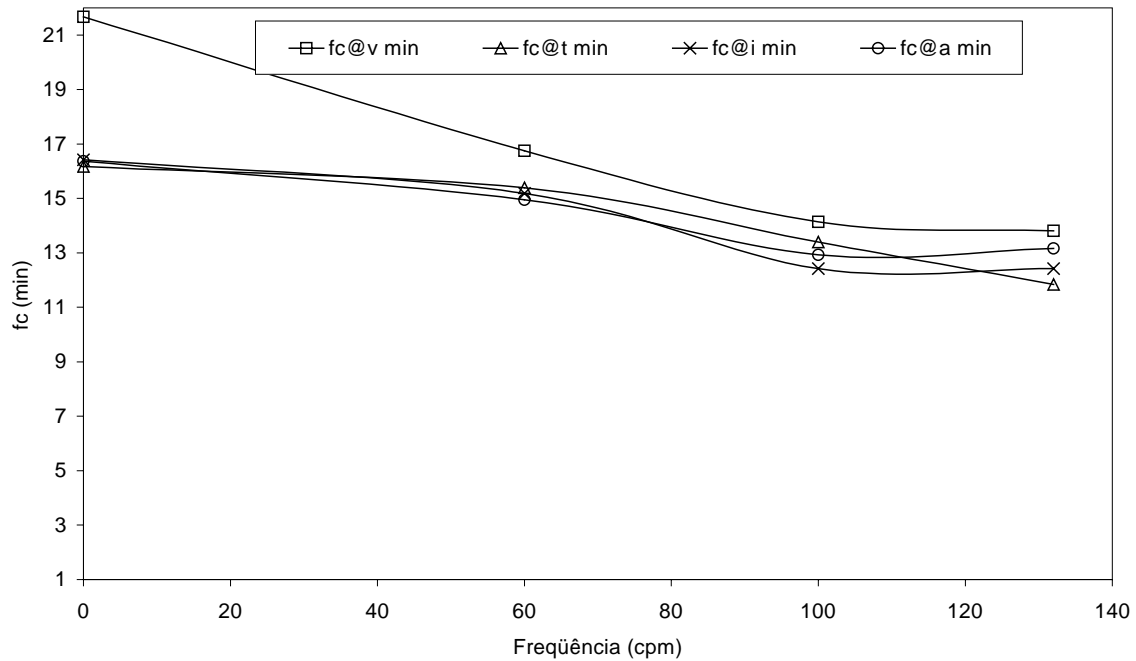


Figura 59. Bright stock oil $\lambda = 42$ mm, $el = 12,2$ mm, f_c (min) em função da frequência (cpm)

5.106.11 *Medidas da frequência de oscilação do pórtico*

A função que relaciona frequência de agitação (cpm) com frequência da tensão 220v está descrita na Equação (53):

$$\text{Frequência (cpm)} = \text{Frequência (Hz)} \cdot 0,4914 \quad (53)$$

Essa função foi usada para estimar a frequência programada em função da frequência desejada e apresentou $R^2 = 99,9\%$. Essa função serviu para selecionar a frequência no gerador de frequência. Contudo, em todo experimento que utilizou-se agitação, a frequência foi conferida diretamente com auxílio da contagem do número de ciclos por minuto cronometrado.

5.126.12 Modelo de transferência de calor

Foram analisados vários modelos na tentativa de associar fh (min) com medidas reológicas e características do processo. Os melhores resultados estão descritos na Tabela 11.

Os cálculos das propriedades dos fluidos simulantes (μ , ρ , C_p e k) para compor os adimensionais Re , Nu e Pr foram feitos utilizando-se temperaturas dos fluidos de 60°C, por ser a temperatura média entre as temperaturas final de processo e inicial do fluido simulante.

Os cálculos dos modelos de fh e fc foram feitos em Excel e os parâmetros das equações foram determinados por regressão linear, conforme etapas descritas em 5.8 (página 32).

Avaliou-se o efeito da posição das latas sobre o fh . Concluiu-se que a posição das latas (vertical, transversal, inclinada e longitudinal) por ter pouco efeito, conforme nível de significância de aproximadamente 41% ($= 1 - 0.595686$). Isso implica que nos testes posteriores poderemos trabalhar com latas somente na posição vertical.

Tabela 11. Resultado da análise do modelo $fh = \text{Espaço livre} + \text{Amplitude} + \text{Frequência} + \text{Posição} \times \text{Simulante}$

Efeito	Tipo de variável	Grau de liberdade	P
Intercepto		1	
Espaço livre	Contínua	1	.000000
Amplitude	Contínua	1	.000000
Frequência	Contínua	1	.000000
Posição	Categoria	3	.595686
Simulante	Categoria	3	.000000
Posição×Simulante		9	.908100

A posição de agitação da lata e também a combinação posição e simulante são pouco significativas. Por outro lado, os efeitos espaço livre, amplitude, frequência e simulante são bastante significativos.

6.12.1 Modelo de cálculo de fh para latas na posição vertical

Os resultados das constantes do modelo, quando considerado o modelo proposto inicialmente no item 4.4 estão descritos na Tabela 12. Na Tabela 12 a primeira coluna refere-se ao coeficiente da Equação do modelo, a segunda coluna, seu valor numérico e na terceira a precisão do resultado. Foi considerado nível de significância de 5%, ou seja, precisão de 95%.

Tabela 12. Coeficientes da equação de transferência de calor, no aquecimento, para latas verticais sob agitação alternada

Coeficiente	Valor	Precisão 95%
Reynolds adaptado	-0,199	±1,7%
Prandtl	-0,288	±1,1%
x_A/A	+0,406	±1,9%
x_f/F	-1,039	±8,4%
$X_f/F \cdot e_l/H \cdot \pi$	-4,556	±12,1%
R^2	93,8%	(-)

Aplicando as seguintes Equações:

$$Re = \frac{D_{lata} \cdot (2 \cdot x_A \cdot x_f) \cdot \rho}{\mu} \quad (54)$$

A Equação (54) foi adaptada substituindo-se o termo velocidade (v) por $2 \cdot x_A \cdot x_f$ que é o espaço teoricamente percorrido em um ciclo de agitação. O termo diâmetro foi mantido diâmetro da lata.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (55)$$

O número de Prandtl foi mantido sem alterações.

$$Nu = Re_A^{-0.199} \cdot Pr^{-0.288} \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{xa}{A}\right)^{0.406} \cdot \operatorname{cos}\left(\frac{xf}{F}\right)^{-1.039} \cdot \operatorname{cos}\left(\frac{xf}{F} \frac{el}{H} \pi\right)^{-4.556} \quad (56)$$

A Equação adimensional (56) foi desenvolvido utilizando-se, além do número de Reynolds e Prandtl, as funções trigonométricas seno e coseno. Essas funções foram utilizadas para transformar medidas discretas (frequência e amplitude de agitação) em uma função contínua (Nu). A aplicação dessas transformações foram inspiradas na física quântica (funções de níveis quânticos). Também foi utilizado o recurso gráfico para estudar o comportamento (distribuição de pontos) de Nusselt experimental em função da derivada de Nusselt calculado e avaliações dos coeficientes de regressão linear parciais.

Na Figura 60 destacou-se os resultados de número de Nusselt (Nu) calculado com auxílio da Equação (56) em função do número de Nusselt (Nu) experimental para aquecimento. Idealmente, os pontos deveriam ser colineares, com inclinação de 45° e intercepto no zero. Contudo, devido a erros experimentais ou aproximação de modelamento proposto obtivemos pontos fora do alinhamento (“outliers”). Esse efeito foi mais marcante nos simulantes Bright stock oil e Neutral oil 150 e 500, onde os valores de experimentais foram maiores que os calculados. Por outro lado, a água teve efeito ao contrário.

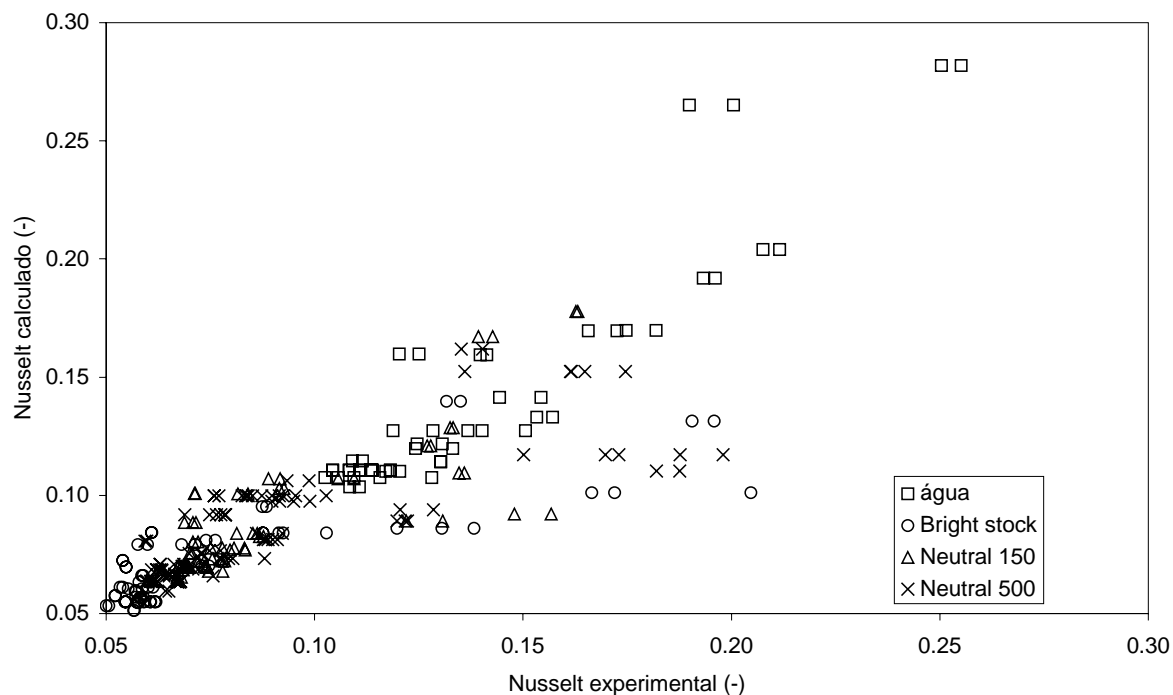


Figura 60. Nusselt calculado em função do Nusselt experimental com dados de aquecimento

Na Figura 61 observa-se que Resíduos em função dos valores fh experimental estão dentro da faixa de erro de +45% a -50%. Os resultados de erros maiores estão na faixa de 2 a 5 minutos de fh . Nessa faixa pode-se observar a distribuição dos pontos em forma de três retas inclinadas para a direita. Elas são efeitos residuais do modelamento matemático e ocorreram com os simulantes Bright stock oil e Neutral oil 150 e 500.

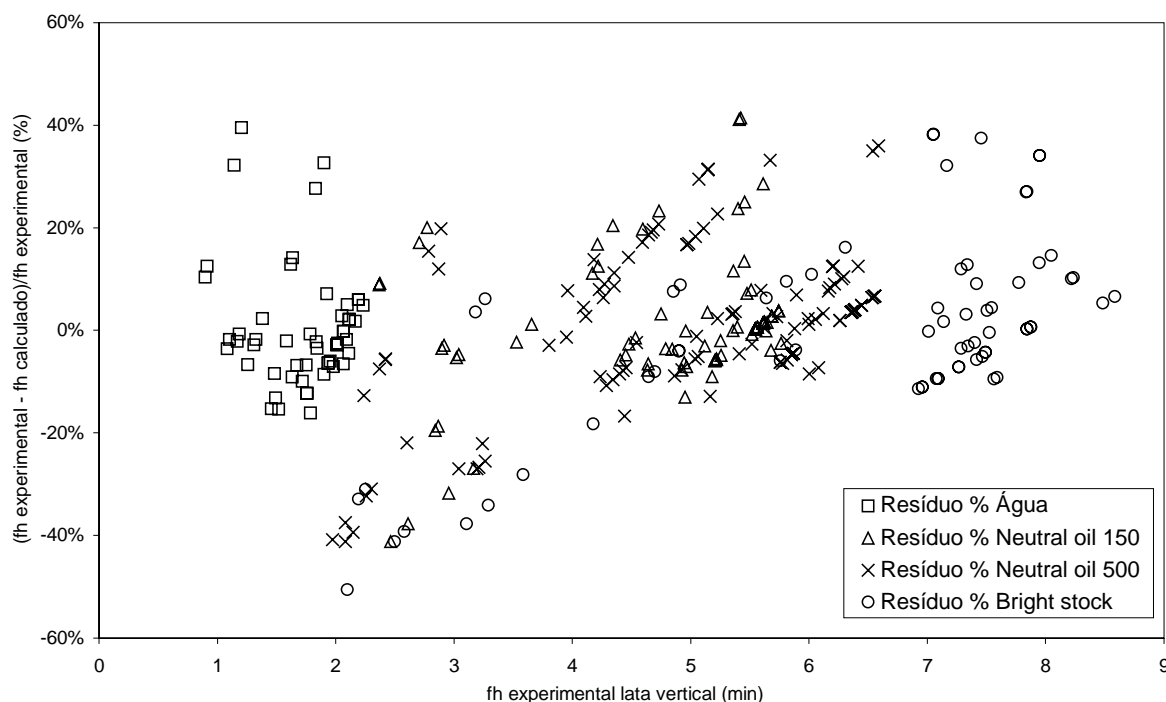


Figura 61. Resíduos $(fh_{\text{experimental}} - fh_{\text{calculado}})/fh_{\text{experimental}}$ em função do $fh_{\text{experimental}}$

Sobre o modelo apresentado na Equação (56) questiono-se a qual a razão do coeficiente de regressão (R^2) não ser próximo de 1. Para avaliar a distribuição dos pontos fh calculado em função de fh experimental montou-se 3 Figuras (62, 63 e 64) que destacam (1) o espaço livre, (2) amplitude e (3) a frequência de agitação aplicada. Elas estão apresentadas para ilustrar a baixa correlação dos efeitos (espaço livre, amplitude e frequência de agitação aplicados).

Na Figura 62 foi destacado o efeito do espaço livre e meio de simulação sobre os valores de fh experimental e calculado, através de gráficos coloridos. Na legenda do gráfico, ao lado de cada nome de meio simulador, estão escritos “el4.1”, “el8.2” e “el12.2”, que correspondem aos espaços livre (el) de 4.1 mm, 8,2 e 12,2 mm ou seja 5%, 10% e 15%, respectivamente.

Na Figura 63 foi destacado o efeito da amplitude de agitação e meio de simulação sobre os valores de fh experimental e calculado. Na legenda do gráfico, ao lado de

cada nome de meio simulador, estão escritos “a1”, “a25” e “a42”, que correspondem às amplitudes (λ) de 0 mm, 25 mm e 42 mm.

Na Figura 64 foi destacado o efeito da frequência de agitação e meio de simulação sobre os valores de fh experimental e calculado. Na legenda do gráfico, ao lado de cada nome de meio simulador, estão escritos “f1”, “f10”, “f60”, “f70”, “f100”, “f110”, “f120” e “f132”, que correspondem às frequências (f) de 0 cpm, 10 mm, 60 cpm, 70 cpm, 100 cpm, 110 cpm, 120 cpm e 132 cpm.

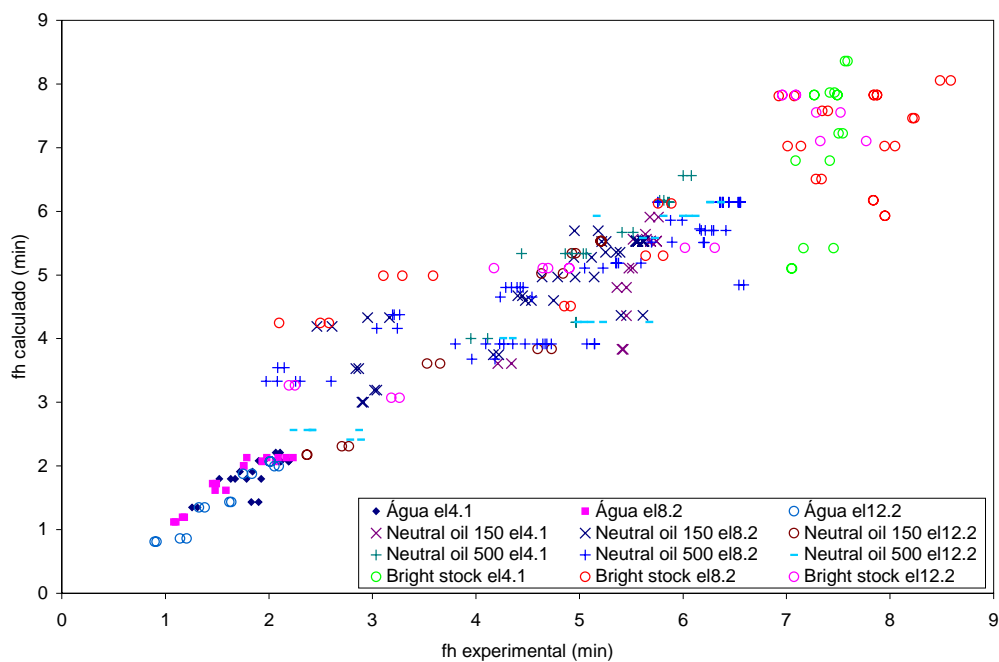


Figura 62. fh experimental (min) em função de fh calculado (min) destaque do efeito espaço livre

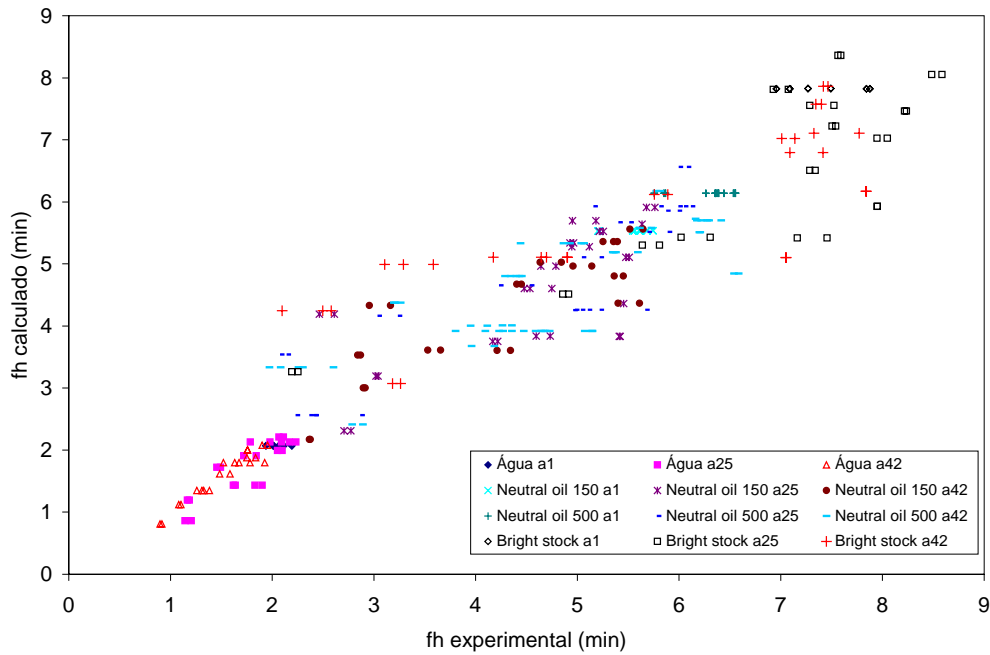


Figura 63. f_h experimental (min) em função de f_h calculado (min) destaque do efeito amplitude

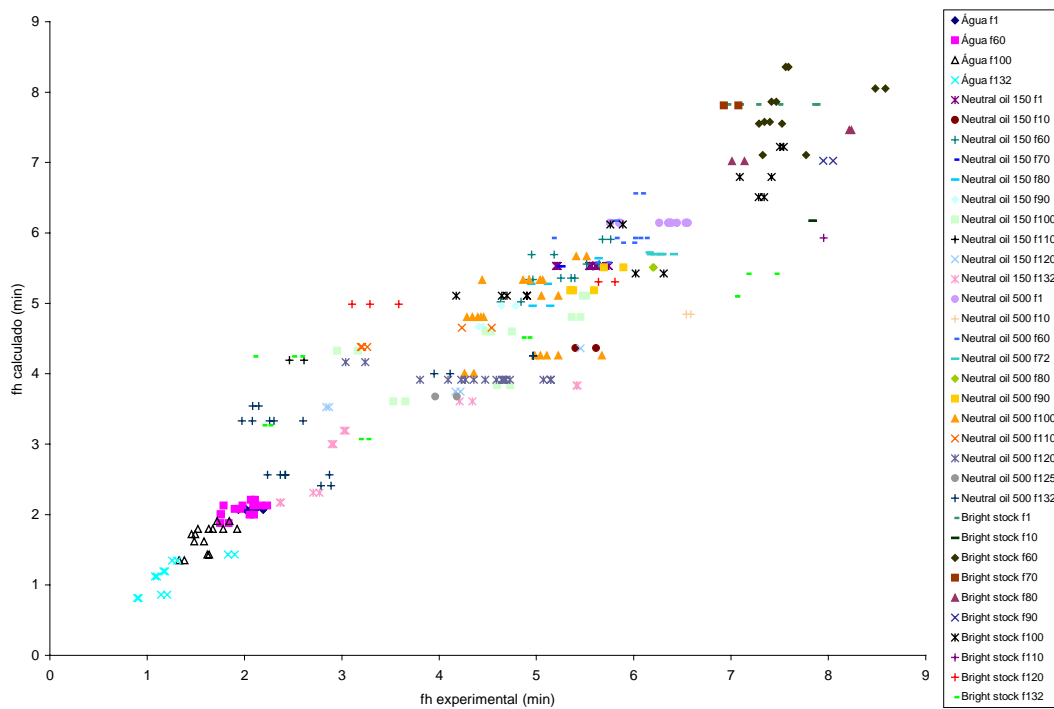


Figura 64. f_h calculado (min) em função de f_h experimental (min) destaque do efeito frequência de agitação

5.12.26.12.2 Modelo de cálculo de fc para latas na posição vertical

Os valores de fc menores que 5 minutos apresentaram maior desvio, quando comparado com fc maiores que 5. O ajuste apresentou-se bom na faixa de fc maior que 5 minutos.

Tabela 13. Coeficientes da equação de transferência de calor, no resfriamento, para latas verticais sob agitação alternada

Coeficiente	Valor	Precisão (95%)
K	$1,295 \times 10^{-1}$	$\pm 29,9\%$
Reynolds adaptado	-0,047	$\pm 19,2\%$
Prandtl	-0,193	$\pm 27,0\%$
xa/A	+0,114	$\pm 16,8\%$
xf/F	-0,641	$\pm 26,1\%$
$xf/F \cdot el/H \cdot \pi$	-2,476	$\pm 35,4\%$
R^2	85,3%	(-)

Aplicando as mesmas Equações (54) e (55):

$$Nu = 0.1295 Re_A^{-0.047} \cdot Pr^{-0.193} \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{xa}{A}\right)^{0.114} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F}\right)^{-0.641} \cdot \cos\left(\frac{xf}{F} \frac{el}{H} \pi\right)^{-2.476} \quad (57)$$

A Equação (57) foi desenvolvida de modo análogo a Equação (56) (ver página 80).

Foram calculados os mesmos coeficientes em outras duas temperaturas: 0°C e 100°C. Não foi observado diferença estatística entre os coeficientes adimensionais, contudo, houve diferença entre as constantes k. O valor numérico da constante diminuiu à medida que aumentou a temperatura de 0°C para 100°C. Nos casos analisados não houve alteração do R^2 .

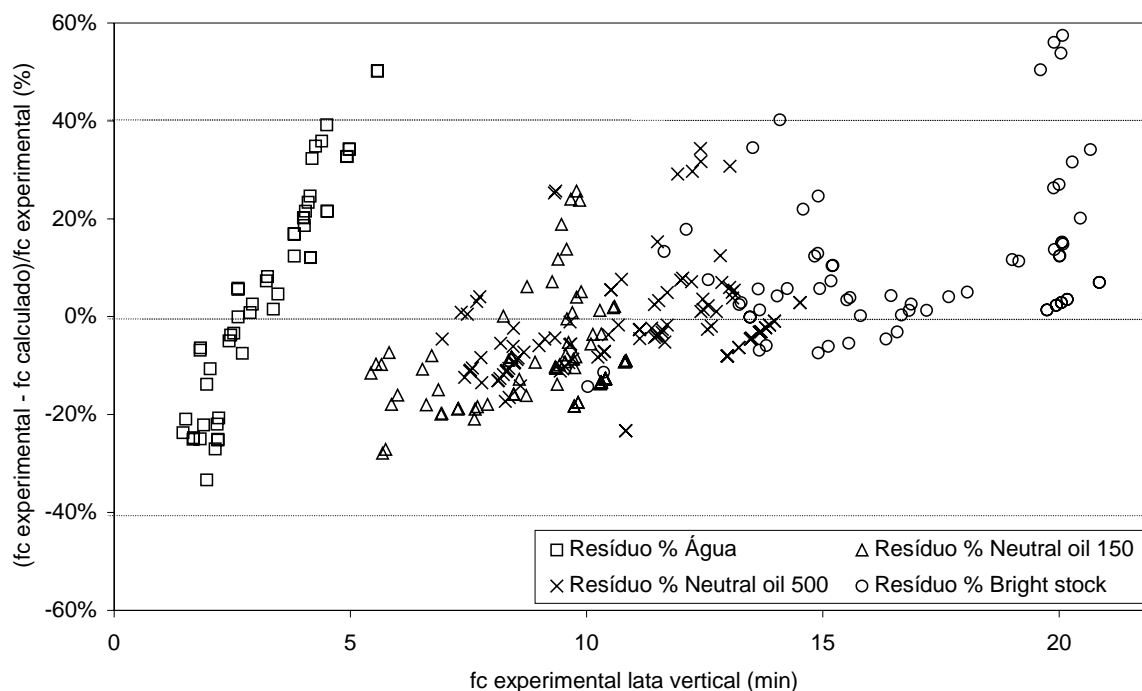


Figura 65. Resíduos $(fc_{\text{experimental}} - fc_{\text{calculado}})/fc_{\text{experimental}}$ em função de $fc_{\text{experimental}}$

Na Figura 65 estão representados os valores dos resíduos de fh $(fc_{\text{experimental}} - fc_{\text{calculado}})/fc_{\text{experimental}}$ em função de $fc_{\text{experimental}}$. O resíduo mínimo é -35% e o máximo é 58%. Esse gráfico mostra os desvios das medidas de fc quando aplicado o modelo conforme Equação (57). Observa-se que os resíduos são bem distribuídos e que ainda persiste uma “reta” de inclinação positiva que descreve o fluido água.

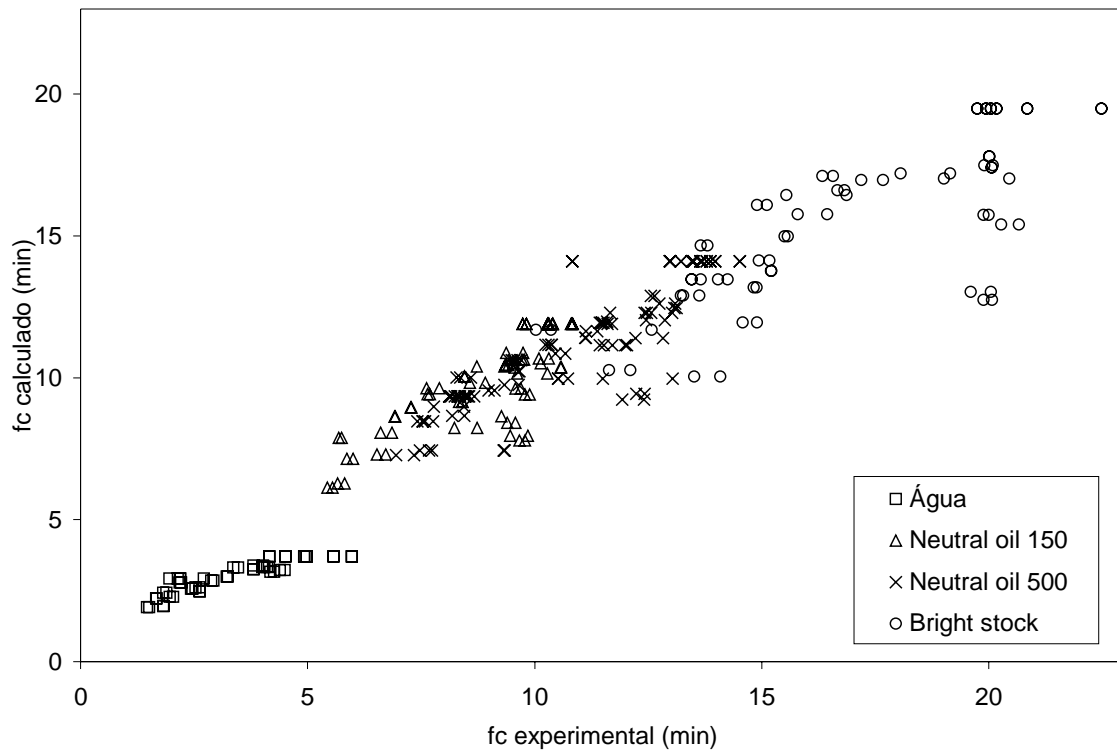


Figura 66. f_c calculado (min) em função de f_c experimental (min)

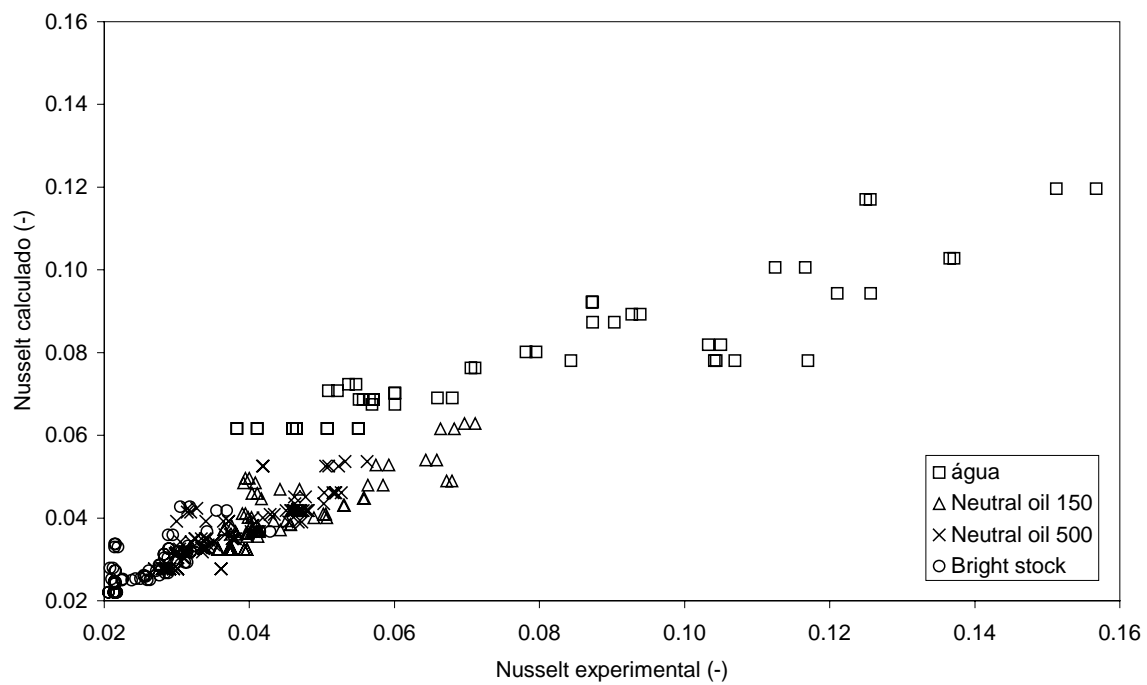


Figura 67. Nusselt calculado em função de Nusselt experimental de resfriamento

Idealmente, tanto na Figura 66 como na Figura 67 deveria ser uma reta, passando pelo zero e com coeficiente angular igual a 1. Observou-se nos gráficos acima descritos que aumenta a dispersão dos dados a medida que aumenta o valor numérico de Nusselt. A maior dispersão ocorreu com os dados obtidos com água. A maior distorção (diferença entre o experimental e o calculado) ocorreu com o Bright stock oil.

6.13 Comparação entre rotação e agitação “end-over-end”

Na Tabela 14 estão os resultados da comparação de fh entre rotação “end-over-end” e agitação alternada. Utilizou-se espaço livre de 15% (12,2 mm) em ambos os casos. Utilizou-se 20 rpm na Stock em duas posições: central ($d = 0$ mm) e lateral ($d = 400$ mm). A agitação foi feita com 132 cpm e amplitude de 25 mm.

Tabela 14. Comparação dos valores de fh obtidos para agitação rotativa e alternada

Produto (el = 15%)	fh (min)					
	Stock/20/0	desvios	Stock/20/400	desvios	Alternada/25/132	desvios
Água	2,34	±0,25	2,43	±0,17	1,14	±0,17
Neutral Oil 150	6,27	±0,55	6,26	±0,35	2,74	±0,21
Neutral Oil 500	9,44	±0,63	7,22	±0,71	2,87	±0,09
Bright Stock Oil	12,64	±1,82	9,01	±0,81	2,22	±0,09

A análise de variância foi aplicada considerando os tratamentos Stock/20/0, Stock/20/400 e Alternada/25/132, em dois níveis, conforme Tabela 14.

Tabela 15. Anova dos processos Stock 20 rpm centro, Stock 20 rpm 400 mm afastamento e Alternada 25 mm amplitude 132 rpm

Fonte de variação	Soma de quadrados	grau de liberdade	Quadrado médio	F	p	F crítico
Simulantes	58,92	3	19,64	4,84	4,8%	4,76
Processo	63,26	2	31,63	7,79	2,1%	5,14
Erro	24,35	6	4,06			
Total	146,52	11				

Observa-se que o tratamento tem efeito significativo 2,1% que é devido ao processo aplicado (Stock/20/0, Stock/20/400 e Alternada/25/132).

Observou-se que latas colocadas no centro ($d = 0$ mm) apresentaram fh maior que aquelas colocadas na periferia do cesto ($d = 400$ mm).

Tabela 16. Resumo dos fh para Stock 20 rpm latas no centro, Stock 20 rpm latas a 400 mm afastamento e Alternada 25 mm amplitude 132 rpm

Resumo fh (min)	Contagem	Média
Stock 20 rpm latas no centro	4	7.67
Stock 20 rpm latas a 400 mm	4	6.23
Alternada 25 mm amplitude 132 rpm	4	2.24

O intervalo de confiança para os resultados das médias entre os tratamentos é $\pm 2,07$ com nível de significância de 5%. Comparando-se os resultados das médias e seus intervalos de confiança conclui-se que o processo Stock 20 rpm latas a 400 mm é equivalente ao processo Alternada 25 mm amplitude 132 rpm e também o processo Alternada 25 mm amplitude 132 rpm é mais eficiente que o processo Stock 20 rpm latas no centro.

A Figura 68 ilustra a comparação entre os resultados de fh para os sistemas com agitação intermitente e rotacional na autoclave Stock.

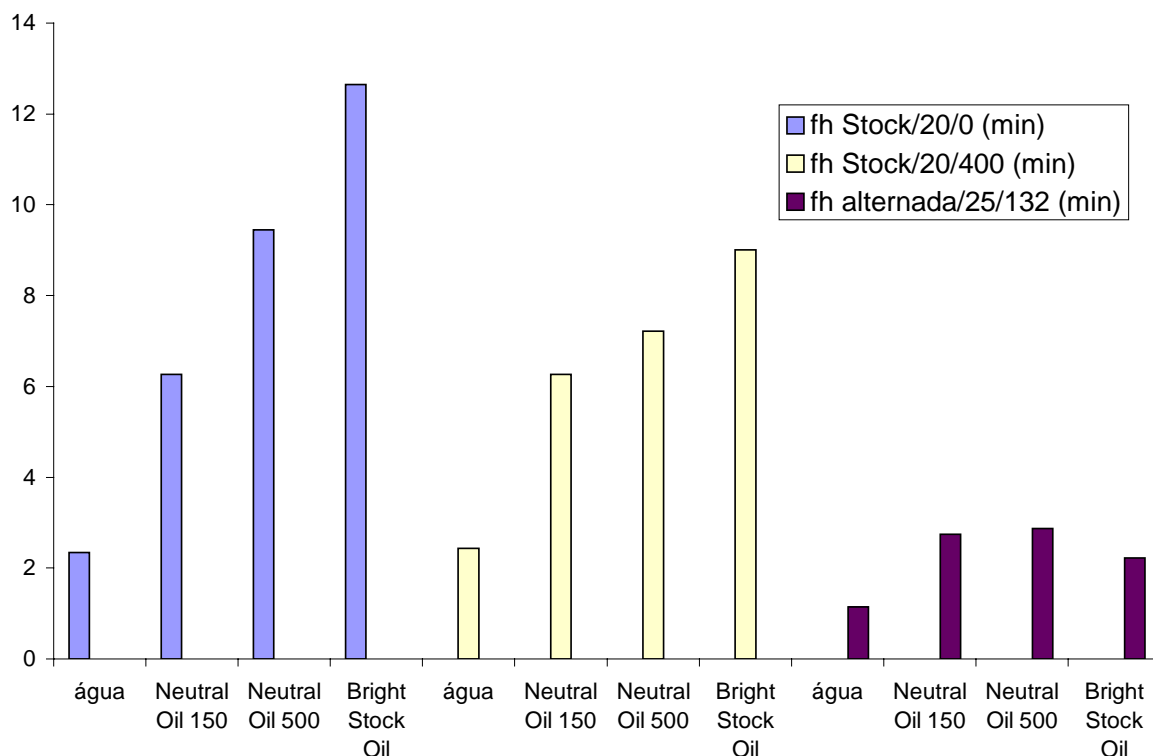


Figura 68. Comparação dos *fh* para Stock 20 rpm latas no centro (stock/20/0), Stock 20 rpm latas a 400 mm afastamento (stock/20/400) e Alternada 25 mm amplitude 132 rpm

6.14 Análise econômica de comparação de autoclaves

Foram montadas 3 tabelas para avaliar o custo das autoclaves, considerando uma autoclave estática, uma autoclave agitada (rotativa) e uma autoclave agitada com movimento alternado (objeto desta tese). Foram consideradas latas envasadas com água. Não foram considerados nos cálculos os custos de produto, envase, recravação, rotulação, embalagem secundária e expedição.

Na Tabela 17 estão listados os custos de geração de vapor, energia elétrica, custo de produção de ar comprimido, mão-de-obra e taxa mínima de retorno (sem inclusão de impostos). Estes custos foram calculados baseando-se em um trabalho prático junto com a equipe de Engenharia de Processos, que objetivou o projeto de uma autoclave industrial para comercialização. A energia elétrica foi calculada utilizando-se um valor de

demanda de 450 CV (= 335,6 kwh) de energia contratada ao valor de R\$8,66 kw; mais R\$0,77 por 3 horas para consumo na ponta; R\$0,0811 por 21 horas para consumo fora da ponta. O consumo médio da energia elétrica contratada foi de R\$ 0,2115. A mão-de-obra de operação da autoclave foi de R\$500,00 mais R\$ 500,00 de encargos, por 180 horas por mês. O ar comprimido foi gerado por compressor de pistão de 44 CV (=32,82 kwh), com funcionamento contínuo, de vazão 6 m³/minuto e pressão de saída de 7 bar. Considerou-se a taxa de atratividade mínima de 35%, sem impostos.

Tabela 17. Custos utilizados no cálculo de comparação de autoclaves

Suprimento de vapor	R\$ 0,07	/kg
Energia elétrica contratada	R\$ 8,66	kw
Demanda contratada	450	CV no mês
Custo energia elétrica na ponta	R\$ 0,77	/kwh (em 3 horas)
Custo energia elétrica fora da ponta	R\$ 0,0811	/kwh (em 21 horas)
Demanda contratada	R\$ 2.905,99	/mês
Custo da demanda fora de ponta	R\$ 17.145,02	
Custo da demanda na ponta	R\$ 23.254,65	
Custo total de energia elétrica com ICMS	R\$ 51.100,69	
Potência total mensal	241.606	Kwh/mês
Valor médio de energia elétrica	R\$ 0,2115	/kwh médio
Mão-de-obra operador pagamento	R\$ 500,00	/mês
Mão-de-obra operador encargos	R\$ 500,00	/mês
Mão-de-obra operador	R\$ 5,68	hh
Ar comprimido tempo funcionamento	720	horas por mês
Ar comprimido consumo energia elétrica	32,82	kwh
Consumo mensal compressor	787,68	kwh/dia
Consumo horário compressor	R\$ 166,60	kwh/h
Produção compressor	6	m ³ /min
Pressão de produção	7	bar
Produção compressor	2.520	Nm ³ /hora
Custo Ar comprimido	R\$ 0,066	Nm ³ /hora
TIR (mínima)	35,0%	

Na Tabela 18 estão discriminados os detalhes técnicos de cada uma das autoclaves. O número de cestos foi de 6, 4 e 6 respectivamente para as autoclaves estática, agitada (rotativa) e agitada (alternada). O consumo de vapor foi calculado com base em 6 libras de vapor por 24 latas (TOLEDO, 1991) e corrigido para o número de latas de capacidade de produção para cada uma das autoclaves. O consumo de energia elétrica foi

calculado segundo (TOLEDO, 1991). A mão-de-obra foi calculada baseando-se em um trabalho prático junto com a equipe de Engenharia de Processos. O suprimento de ar comprimido foi calculado conforme (TOLEDO, 1991). Os custos de manutenções foram estimados em uma porcentagem do preço de compra do equipamento sendo 4,3%, 5,0% e 6,0%, respectivamente para as autoclaves estática, agitada (rotativa) e agitada (alternativa). A autoclave estática tem a menor taxa de manutenção e a maior taxa é da autoclave agitada alternada devido ao desgaste dos cestos e dos acionadores pneumáticos que produzem o movimento alternado. As três autoclaves permitem produzir 10 bateladas de processamento de esterilização por dia, gastando 2 horas e 12 minutos em cada batelada. Foi considerado embalagem padrão como sendo lata de 74 mm de altura por 83 mm de diâmetro interno. A mesma embalagem utilizada nos testes desta tese. A vida útil das autoclaves foi estimada em 10 anos.

Tabela 18. Discriminação das características técnicas das autoclaves estática, agitada e modificada

Discriminação Técnica	Autoclaves		
	Estática	Agitada	Modificada Nacional
Número de cestos operação	6	4	6
Número de cestos auxiliar	6	4	6
Vapor (kg/Batelada)	1141	761	810
Energia Elétrica (kwh/Batelada)	12	32	25
Mão-de-obra (hh/dia)	48	48	48
Ar comprimido (Nm ³ /Batelada)	15	15	80
Manutenção anual em % do preço	4,3%	5,0%	6,0%
Bateladas/dia	10	10	10
Dias/Ano	350	350	350
Bateladas/Ano	3500	3500	3500
Produção de latas 74×83/Cesto	1690	1690	1200
Produção de latas 74×83/Batelada	10140	6760	7200
Produção (Latas/Ano)	35490000	23660000	25200000
Vida (anos)	10	10	10
Produção (Latas/Vida do equipamento)	$3,5 \times 10^8$	$2,4 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$

Na Tabela 19 estão listados os custos de comparação entre autoclaves agitada (2 a 12 rpm), estática e modificada. Os dados da autoclave estática e a agitada foram fornecidos por um fabricante de autoclave (FMC FoodTech, 2004) e a autoclave modificada foi fornecida por uma indústria brasileira. Os custos da autoclave agitada (alternada) foi estimado baseando-se no custo de uma autoclave estática, de construção de aço inox, fabricada no Brasil, com cestos mecanicamente adaptados ao movimento alternado, com mesmo número de cestos da autoclave estática. A capacidade de latas foi estimada em 7200 latas, que é menor do que a capacidade da autoclave estática. Essa diminuição da capacidade ocorre pois o cesto requererá espaço lateral para a agitação alternada. O custo de adaptação para implementação do mecanismo de agitação foi estimado em R\$ 20,000.00. O custo total

desse investimento corresponde a 45,3% do custo de uma autoclave agitada, o que é uma economia significativa.

O custo presente líquido foi calculado conforme Hirschfeld (1989).

Tabela 19. Comparação de custos das autoclaves estática, agitada e modificada

Discriminação Custos	Autoclaves		
	Estática	Agitada	Modificada Nacional
Preço da autoclave	R\$ 444.571,20	R\$ 1.011.456,42	R\$ 255.000,00
Preço dos cestos	R\$ 53.201,35	R\$ 42.533,04	R\$ -
Mecanismo para agitação	R\$ -o-	R\$ -o-	R\$ 20.000,00
Instalação	R\$ 38.551,70	R\$ 38.551,70	R\$ 7.000,00
Start up	R\$ 38.551,70	R\$ 38.551,70	R\$ 6.000,00
Custo manutenção periódica/Ano	R\$ 19.116,56	R\$ 50.572,82	R\$ 15.300,00
Custo utilidades: vapor/Batelada	R\$ 79,85	R\$ 53,24	R\$ 56,70
Custo utilidades: energia elétrica/Batelada	R\$ 2,54	R\$ 6,77	R\$ 5,29
Custo utilidades: A.C./Batelada	R\$ 0,99	R\$ 0,99	R\$ 5,29
Custo utilidades: M.O./Batelada	R\$ 27,27	R\$ 27,27	R\$ 27,27
Custo utilizado: total+M.O./Batelada	R\$ 110,65	R\$ 88,27	R\$ 94,55
Custo de utilidades e M.O./Ano	R\$ 387.292,22	R\$ 308.936,21	R\$ 330.921,8929
Valor de venda após a vida útil	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Custo presente líquido	R\$ 1.678.193,69	R\$ 2.107.075,80	R\$ 1.227.907,785
Custo presente líquido/lata produzida	R\$ 0,00473	R\$ 0,00891	R\$ 0,00487

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os trabalhos de ensaios de penetração de calor foram obtidos em temperaturas abaixo de 100°C por motivo de economia. Os parâmetros de penetração de calor, tanto para aquecimento como resfriamento, podem ser aplicados para processos de esterilização. No caso de alimentos que não sofrem mudança de fase durante o processamento térmico, podemos utilizar os parâmetros de penetração de calor (*fh*, *jh*, *fc* e *jc*) obtidos de experimentos realizados em processos com temperatura inferior a 100°C. Quando trabalha-se com temperaturas baixas, gastamos menos vapor e menos tempo no preparo da instalação experimental. Por essa razão realizou-se ensaios em tanque pasteurizador, assim como, a autoclave Stock foi também utilizada como pasteurizados rotativo “end-over-end”. Desse modo, respeitando-se o três critérios de semelhanças: a geométrica, a cinemática e a **dinâmica**, poderemos utilizar as Equações (56) e (57) para estimar os parâmetros de penetração de calor (*fh*, *jh*, *fc* e *jc*) independentemente da temperatura final de processo.

Os fluidos utilizados neste trabalho não sofreram qualquer outra reação química que alterasse suas propriedades termo-físicas, tais como polimerizações. Não foram observadas curvas quebradas durante a fase de aquecimento e resfriamento. Os fluidos tem características termo-físicas e reológicas próximas de vários alimentos fluidos. A viscosidade do Bright stock oil equivale a alimentos oleosos e méis (OKOS, 1986).

A temperatura tem importante influência sobre a resistência ao fluxo de um fluido e também na transferência de calor. O índice de comportamento do fluido, μ , é relativamente constante com a temperatura (exceto quando há mudanças químicas). Por outro lado, o índice de consistência e a viscosidade são bastante dependentes da temperatura (TOLEDO, 1991).

Esses modelos foram avaliados através de regressão linear entre os valores de viscosidades e o inverso das temperaturas (em K) experimentadas, conforme Equação (48) (ver página 36). O modelo descreveu muito bem o comportamento de óleos e água, na faixa de temperatura deste trabalho.

O modelo que melhor descreveu a dependência da massa específica dos óleos simuladores com temperatura foi o modelo linear simples, uma equação de reta. O modelo foi avaliado através de regressão linear entre das massa específicas obtidas e temperaturas experimentadas.

Os valores de calor específico para os óleos simulantes foram linearmente crescentes, para a faixa de temperatura de trabalho de 20 a 100°C, conforme Kern (1982).

Na Figura 8 e na Figura 10 observa-se que não há nenhuma tendência entre os desvios com os valores de fh e fc , respectivamente. Essas Figuras foram feitas para avaliar a qualidade técnica dos dados coletados nos experimentos práticos, uma vez que, não houve nenhum modelamento matemático proposto para esse equacionar esse mecanismo de transferência de calor.

Na Figura 9 observamos a maioria dos resultados de jh estão concentrados em 1,4. Os fatores de curvilinearidade são dependentes do raio da lata segundo Ball e Olson (1957). Dois valores de jh estão fora da faixa de 1,4 e não foram explicados (3 e 6,5).

Na Figura 11 observamos a maioria dos resultados de jc estão concentrados em 1,0. Esses resultados estão de acordo com Ball e Olson (1957).

Na análise das curvas de fh em função da frequência de agitação e amplitude de agitação (da Figura 12 a Figura 35) observamos que o aumento da frequência de agitação para as latas na posição vertical implica na diminuição de fh (acima de 50 cpm), o que implica na melhoria da transferência de calor na fase de aquecimento. Os resultados apresentados na Figura 35 apontam para um limite para diminuição do valor de fh quando a frequência de agitação tende 120 a 130 cpm, aproximadamente.

A amplitude da agitação é um fator relevante na transferência de calor (fh), conforme Tabela 11 (página 78). Quanto maior a amplitude de agitação maior foi o valor de fh .

Na análise das curvas de fc em função da frequência de agitação e amplitude de agitação (da Figura 36 a Figura 59), observou-se que a frequência de agitação para as latas na posição vertical implicou na diminuição de fc , com melhoria na transferência de calor na fase de resfriamento. Em geral, as latas na posição vertical apresentaram fc maiores que as latas de outras posições. O fator amplitude foi importante no efeito de fc , quanto maior a amplitude maior fc . Do mesmo modo que amplitude e frequência, quanto maior o espaço livre maior será fc . Contudo, quanto maior o espaço livre menos produto é embalagem (e comercializado).

Foram analisados 4 posições de latas vertical, transversal, inclinada e longitudinal conforme item 5.13 Planejamento experimental (página 40). O fator posição teve pouca influência nos resultados de fh (ver Tabela 11, página 78), conforme resultados dos ensaios de transferência de calor na fase de aquecimento. Por essa razão, optou-se para prosseguir com os trabalhos de cálculo para latas na vertical é importante no manejo das mesmas. Além disso, é prática comum nas indústrias de alimentos, o processo de carga e descarga mecanizadas de latas nos cestos de produção com as latas na posição vertical. Essa prática diminui os danos mecânicos na litografia e evita amassamentos gerais.

Os gráficos com destaques nos efeitos (mostrados na Figura 62, Figura 63 e Figura 64) foram montados para entender as relações entre os pontos não alinhados na regressão linear. Com os resultados da interpretação destes gráficos com destaques foi

possível incluir os dois fatores trigonométricos, seno e cosseno, para correções dos efeitos de amplitude e freqüência de agitação. Essas correções trigonométricas são adimensionais e foram incluídas nas Equações (56) e (57).

O número de Reynolds adaptado foi modificado para adequar ao processo de agitação dessa forma foi incluído o diâmetro da lata e a velocidade de agitação nos termos xa e xf , que são a proporção de amplitude e proporção da freqüência de agitação, respectivamente. O número de Reynolds adaptado variou de $8,7 \times 10^{-3}$ a $2,4 \times 10^{+4}$ e quantifica o comportamento do escoamento (teórico) do fluido na lata.

Os valores do coeficiente de película, h , variaram de $9,7 \times 10^{+1}$ a $2,3 \times 10^{+3}$ W·K/m². Os valores encontrados foram observados para latas mantidas estáticas e sob agitação.

O número de Nusselt foi calculado utilizando-se os valores de coeficiente de película, h , e variou de $5,0 \times 10^{-2}$ a $2,6 \times 10^{-1}$.

O número de Prandtl variou do mínimo 3,6 a máximo $3,4 \times 10^{+3}$.

Todas as propriedades termo-físicas e reológicas dos fluidos foram calculadas considerando-se a temperatura média do processos ensaiados.

Os fatores de curvatura, jh e jc , foram calculados considerando todos os fluidos estudados e o valor médio para jh é de 1,4 e jc 1,0 (Figura 9 e Figura 11). Ball e Olson (1957) recomendam j , fator de curvatura, de 1,4 para alimentos condutivos e 1,0 para alimentos convectivos. O Bright stock oil resultou em uma curvatura maior no aquecimento, jh , quando sob alta agitação (132 cpm) e amplitude 42 mm. Os demais fluidos simuladores apresentaram valores menores e próximos de 1,4.

A comparação do processo de pasteurização agitado (movimento alternado) com agitação por rotação “end-over-end” foi importante para poder comparar os processos atuando nos fluidos simuladores. Na autoclave Stock rotativa utilizou-se os eixos central (0 mm de raio) e o máximo 400 mm de raio. Essas medidas de penetração de calor

foram importantes para mostrar que o grau de agitação é diferente nos diferentes pontos de rotação da autoclave. Por outro lado, o processo de agitação linear alternada não sofre o efeito de posição dentro do cesto, pois todos os pontos do cesto são uniformemente movimentados.

8 CONCLUSÕES

- 1) Não há diferença significativa entre dos valores de fh entre as posições das latas. Isso resulta no processamento das latas na posição vertical, aparentemente mais favorável, com separadores plásticos dentro dos cestos que foram mecanizados para agitação.
- 2) Esse processo de agitação é homogêneo (todas as latas passam pela mesma intensidade de agitação) e garante o mesmo fh entre as latas de todas as posições distribuídas pelos cestos. Por outro lado, isso não ocorre em autoclaves agitadas rotativas, onde as latas centrais giram menos que as colocadas na periferia.
- 3) O parâmetro de transferência de calor fh em latas agitadas pode ser estimado com auxílio da Equação (56) com desvio máximo de 40% para valores de fh entre 3 a 5 minutos.
- 4) Quanto maior a frequência de agitação das latas, menor foi o valor de fh e, portanto, maior a transferência de calor para o alimento. O limite para o aumento da frequência é de ordem de construção mecânica da autoclave. Alguns processos apresentaram limites em 120 cpm, concluídos das tendências das curvas de fh (min) em função da frequência (cpm). Esse resultado está de acordo com Clifcorn, (1950). Não foram investigados frequências maiores que 132 cpm.
- 5) A agitação alternada mostrou ser mais eficiente quando comparada com o processo “end-over-end” nas condições experimentais limitadas estabelecidas nos testes (conforme

Tabela 16, na página 89) e restritos a rotação de 20 rpm na autoclave stock e 25 mm de amplitude e 132 cpm de agitação no pósito.

- 6) As Equações (56) e (57) permitem relacionar amplitude e freqüência de agitação, massa específica, calor específico, condutividade térmica e viscosidade com fh e fc para o processo de agitação com movimento linear alternado.
- 7) O processo de agitação com movimento alternado é 45,3% mais econômico que o processo de agitação por rotação.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução - RDC nº 352, de 23 de dezembro de 2002. Resolução - CNNPA nº 13, de 15 de julho de 1977. Palmito em conserva. Resolução - RDC nº 81, de 14 de abril de 2003. Resolução - RDC nº 80, de 14 de abril de 2003. Resolução - RDC nº 18, de 19 de novembro de 1999 e Resolução - RDC nº 17, de 19 de novembro de 1999. As Resoluções 17 e 18 republicam a Resolução 362 de 29 de julho de 1999.** (2004) www.anvisa.gov.br (acesso em 18 de Setembro de 2004, 21:31)

BALL, C. O. e OLSON, F. C. W. **Sterilization in food technology.** Theory, Practice and Calculation. McGraw–Hill Book Company, Inc. New York. (1957).

BARROS, Neto B.; SCARMINIO, I. S. ; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Segunda edição. Campinas: Editora da UNICAMP. 2002, 401 p.

BIRD, R. B. et al. **TRANSPORT PHENOMENA.** Jhon Wiley e Sons, Inc. New York, New York. (1960).

CLIFCORN, L. E. *et al.* A new principle of canned foods. **Food Technology**, New York, Vol. 4, No 11, p. 450~460, dec. 1950.

FMC FoodTech. **Custos de autoclaves agitada e estática de fabricação FMC**. Carta orçamento de compra e instalação. Araraquara, São Paulo. 2004.

FOUST, A. S. *et al.* **Princípios das operações unitárias**. Tradução Horacio Macedo, Segunda Edição, Rio de Janeiro: Guanabara Dois – BRASIL. 1982. 632 p. (1982).

GRATZEK, J. P.; TOLEDO, R. T. **Solid food thermal conductivity determination at high temperatures**. Journal of food science, Vol. 58, No. 4, p. 908~913. 1993.

HAWNG, M. P. ; HAYAKAWA, K. **A specific heat calorimeter for foods**. Journal of Food Science, Vol. 44, No. 2, p. 435~438. 1979.

HERMAN STOCK – Maschinenfabrik, Rendsburger Straße 93, D–2350 Neumünster, RDA. **Manual para autoclave Stock – Pilot Rotor 900**. Número de série 31490. 40 p. 1980.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. Editora Atlas, São Paulo, São Paulo, 4a edição. 453p. (1989)

JAY, J. M. **Modern food microbiology**. Fifth Edition, Chapman e Hall, New York, New York. (1996).

KERN, D. Q. **Process heat transfer**. McGraw–Hill International Book Company. Internation Student Edition. 1982, 871p.

KESSLER, H. G. **Food Engineering and Dairy Technology**. D–8050 Freising (F. R. Germany), Verlag A. Kessler, 1981, 625p.

MEMBROS DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, **“Alimentos Enlatados: Princípios de Controle do Processo Térmico, Acidificação e Avaliação do Fechamento de Recipientes”**, Quarta Edição, Campinas, Campinas, 2001.

MICROSOFT CORPORATION, **VISUAL BASIC – USER’S GUIDE**. Microsoft Excel, version 5.0. 1994.

OKOS, R. M. **Physical and Chemical Properties of Foods**. American Society of Agricultural Engineers, 1986, 407 p.

PERRY, R. H. e CHILTON, C. H. **Chemical Engineer’s Handbook**. 15th edition. McGraw–Hill Book Company, New York. 1977.

PINTO NETO, M. **Estudo da transferência de calor no aquecimento de fluidos newtonianos com partículas sólidas em latas cilíndricas com rotação longitudinal**. 1989. 179 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

QUAST, D. G. *et al.* **Transferência de calor durante a concentração de soluções–modelo e purê de banana em tanque, para diferentes tipos de agitação**. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos. No 46, p. 67~83. jun. 1976.

QUAST, D. G. *et al.* **Transferência de calor durante o resfriamento de polpas de frutas em latas de 20kg**. Campinas: Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos. No 49, p. 151~177. Jan/Fev. 1977.

QUAST, D. G. e SIOSAWA, Y. Y. **Tempo de aquecimento de latas sob rotação axial em pasteurizador a vapor**. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Número 43, Setembro, Campinas, p. 67~78, 1975.

RAO, M. A. *et al.* **Thermal conductivity and thermal diffusivity of process variety squash and white potatoes**. New York: Transactions of the ASAE, p. 1188~1196. 1975.

RAO, M. A. *et al.* **Convective heat transfer to canned liquid foods in a Steritort**. Journal of Food Science, Chicago, vol. 50, p. 150~154. 1985.

SCHMIDT, F. L. **Transferência de calor em sistemas líquido/particulados envasados sob alto vácuo**. 2000. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SOLER, M. P. *et al.* **Avaliação da eficiência de diferentes tratamentos térmicos na estabilização microbiológica do leite de coco**. Coletânea ITAL, Campinas, Vol. 26, Número 2, p:127~132, Julho/Dezembro. 1996.

STUMBO, C. R. **Thermobacteriology in Food Process**. 2nd edition. London: Academic Press. 300 p. 1973.

TEIXEIRA N. *et al.* O. **Resfriamento de polpas semiconcentradas em tambores de 200 litros**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, Vol. 1, No 1, p. 1~22. 1981.

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of Food Process Engineering**. 2nd Edition. New York: Van Nostrand Reinhold, 602 p. 1991.

VITALI, A. de A. **Comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado a baixas temperaturas**. 1995. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

YAMAGATA, H. *et al.* **Transferência de calor aquecimento e resfriamento de polpas em latas cilíndricas de 20 litros**. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campians, Vol. 19, No 3, p. 325~345. jun. 1982.

10 APÊNDICE

Abaixo está apresentado um exemplo ilustrativo de cálculo de fh e fc para um alimento.

10.1 Exemplo de cálculo de fh e fc para um alimento

O exemplo de cálculo de fh e fc visa ilustrar a utilização do sistema de agitação para processamento de alimento em conserva.

Quais são os parâmetros de penetração de calor (fh , jh , fc e jc) no processo especificado abaixo ?

Um alimento será envasado em lata de 85 mm de diâmetro por 37 mm de altura. O processamento deste alimento será feito sob agitação para prevenir a queima do produto na parede da embalagem. A frequência de agitação será de 56 ciclos por minuto e amplitude de 40 mm. As características reológicas do alimento são: viscosidade 0,629 Pa·s, massa específica do alimento 1085 kg/m³, calor específico do alimento 3,874 (kJ/kg·K) e condutividade térmica do alimento 0,625 (W/m·K). O alimento é conhecido e não sofre gelatinização por aquecimento e o fenômeno de transferência de calor é convectivo.

Dados da Embalagem:

Diâmetro da lata (mm) = 85 e Altura da lata (mm) = 37

Dados da Autoclave com agitação:

Frequência de agitação (cpm) = 56

Amplitude de agitação (mm) = 40

Espaço livre do produto (mm) = 8,5

Características termo-físicas do alimento:

Viscosidade do alimento (Pa·s) = 0,629

Massa específica do alimento (kg/m³) = 1085

Calor específico do alimento (kJ/kg·K) = 3,874

Condutividade térmica do alimento (W/m·K) = 0,625

Resolução

Qual fh ?

$x_a = \text{Amplitude (mm)} + 1 = 41$ (soma-se 1 para correção de x_a)

$x_f = \text{Frequência (cpm)} + 1 = 57$ (soma-se 1 para correção de x_f)

$A = \text{fixo} = 42$

$F = \text{fixo} = 132$

$Re = 6,85 \times 10^{+5}$, conforme Equação (54) (página 79)

$Pr = 3,899$, conforme Equação (55)

$\text{Sen}(x_a/A) = 0,8284$

$$\text{Cos}(xf/F) = 0,9082$$

$$\text{Cos}(xf/F \times el/H \times \pi) = 0,9908$$

$$\text{Nu} = 4,98 \times 10^{-2} \text{ Aquecimento conforme Equação (56) (página 80)}$$

$$A = (\text{m}^2) = 0,0099 \text{ e } V = (\text{m}^3) = 0,0002$$

$$\boxed{fh = 3,3 \text{ minutos}}$$

Qual fc ?

Utilizou-se os mesmo adimensionais para fh . Podemos utilizar Re e Pr , pois a amplitude e velocidade de agitação serão mantidas no resfriamento.

$$\text{Nu} = 5,64 \times 10^{-2} \text{ Resfriamento conforme Equação (57) (página 85)}$$

$$\boxed{fc = 2,9 \text{ minutos}}$$

Quais jh e jc ?

$$jh = 1,4 \text{ e } jc = 1,0 \text{ (BALL e OLSON, 1957)}$$

10.2 Tabelas de dados de parâmetros de transferência de calor

Nas próximas páginas estão listados os dados que foram utilizados para cálculo neste trabalho. Os dados estão apresentados em forma de tabelas. As três primeiras colunas são as variáveis de processo (A = amplitude, F = frequência e $e.l.$ = espaço livre). As 4 grandes colunas são as posições das latas no pórtico experimental (Vertical, Transversal, Inclinada e Longitudinal). Dentro de cada uma dessas grandes colunas têm quatro colunas com os parâmetros de penetração de calor (fh , jh , fc e jc). A última coluna é o número do teste que está associado ao número do arquivo de aquisição de temperaturas colhidos durante os ensaios.

Tabela 20. Resultados de penetração de calor em Água

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquiritor de dados												Teste					
A (mm)	F (cpm)	e.l. (mm)	Vertical				Transversal				Inclinada				Longitudinal				
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	Jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	Jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	Jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	Jc@l (-)	
0	0	4,1	2,19	1,40	5,97	0,87	2,22	1,42	4,35	0,92	2,12	1,42	3,94	0,88	2,16	1,39	4,59	0,91	3,48
0	0	4,1	2,19	1,40	5,97	0,87	2,22	1,42	4,35	0,92	2,12	1,42	3,94	0,88	2,16	1,39	4,59	0,91	3,48
0	0	4,1	2,11	1,46	5,57	0,87	2,16	1,47	4,19	0,88	2,13	1,40	3,64	0,82	2,10	1,42	4,26	0,89	3,49
0	0	4,1	2,11	1,46	5,57	0,87	2,16	1,47	4,19	0,88	2,13	1,40	3,64	0,82	2,10	1,42	4,26	0,89	3,49
25	60	4,1	2,07	1,44	4,02	0,83	2,16	1,44	3,91	0,85	2,03	1,41	3,56	0,82	2,05	1,42	3,98	0,87	3,50
25	132	4,1	1,90	0,96	2,62	0,87	1,68	1,18	3,08	0,77	1,54	1,03	2,14	0,79	1,82	0,90	2,83	0,78	3,53
25	100	4,1	1,84	1,55	3,24	0,83	1,99	1,49	3,77	0,84	1,54	1,63	2,73	0,82	1,42	1,85	3,13	0,87	3,55
25	60	4,1	2,11	1,44	3,81	0,84	2,18	1,44	3,83	0,85	2,06	1,44	3,44	0,81	2,08	1,44	3,88	0,87	3,58
25	132	4,1	1,83	1,00	2,62	0,88	1,79	1,05	3,02	0,78	1,48	1,00	2,03	0,85	1,92	0,86	2,84	0,79	3,61
25	100	4,1	1,72	1,53	3,22	0,82	2,05	1,45	3,70	0,83	1,32	1,87	2,61	0,81	1,42	1,81	3,09	0,88	3,63
42	60	4,1	1,90	1,47	3,47	0,82	2,02	1,49	3,76	0,82	1,90	1,46	3,42	0,80	1,94	1,46	3,58	0,83	3,66
42	132	4,1	1,31	1,60	1,89	1,04	1,52	1,52	2,58	0,73	1,15	1,60	1,71	0,80	1,47	1,47	2,23	0,82	3,69
42	100	4,1	1,52	1,65	1,96	0,86	1,81	1,54	2,97	0,90	1,47	1,32	2,14	0,80	1,81	1,27	2,77	0,79	3,71
42	60	4,1	1,95	1,48	3,37	0,85	2,08	1,46	3,77	0,86	1,89	1,50	3,42	0,83	1,98	1,46	3,62	0,84	3,74
42	132	4,1	1,26	1,64	1,82	0,99	1,53	1,50	2,54	0,84	1,23	1,51	1,65	0,90	1,58	1,42	2,25	0,91	3,77
42	100	4,1	1,93	1,46	2,71	0,78	1,73	1,59	3,04	0,85	1,51	1,35	2,09	0,82	1,85	1,19	2,74	0,81	3,79
0	0	8,1	2,06	1,40	4,16	0,87	2,08	1,40	4,09	0,90	1,97	1,43	4,01	0,90	1,96	1,43	4,12	0,91	3,82
0	0	8,1	2,06	1,40	4,16	0,87	2,08	1,40	4,09	0,90	1,97	1,43	4,01	0,90	1,96	1,43	4,12	0,91	3,82
0	0	8,1	1,94	1,41	4,51	0,89	1,98	1,45	4,42	0,92	2,05	1,36	3,93	0,88	1,86	1,49	4,42	0,93	3,83
0	0	8,1	1,94	1,41	4,51	0,89	1,98	1,45	4,42	0,92	2,05	1,36	3,93	0,88	1,86	1,49	4,42	0,93	3,83
42	60	8,1	1,76	1,84	3,81	0,81	1,94	1,75	3,90	0,85	1,86	1,77	3,53	0,85	1,71	1,90	3,62	0,80	3,84
42	132	8,1	1,08	1,71	1,68	0,79	1,05	1,62	1,71	0,77	1,02	1,74	1,52	0,77	0,90	1,86	1,50	0,72	3,87
42	100	8,1	1,58	1,51	2,18	0,77	1,58	1,68	2,99	0,74	1,49	1,70	2,23	0,73	1,65	1,44	2,23	0,75	3,89
42	60	8,1	1,76	1,84	3,81	0,81	1,94	1,75	3,90	0,85	1,86	1,77	3,53	0,85	1,71	1,90	3,62	0,80	3,92
42	132	8,1	1,10	1,76	1,67	0,81	1,07	1,81	1,69	0,79	1,02	1,92	1,57	0,79	0,91	2,09	1,52	0,72	3,95
42	100	8,1	1,48	1,61	2,22	0,77	1,56	1,66	2,93	0,74	1,70	1,28	2,10	0,75	1,62	1,54	2,34	0,71	3,97
25	60	8,1	1,79	1,43	4,15	0,80	1,90	1,43	4,03	0,84	1,91	1,41	3,67	0,81	1,71	1,55	4,03	0,82	4,00
25	132	8,1	1,18	1,72	1,96	0,90	1,51	1,44	2,22	0,80	1,33	1,51	2,00	0,79	1,12	1,64	1,94	0,78	4,03
25	100	8,1	1,46	1,56	2,88	0,76	1,68	1,49	3,47	0,86	1,57	1,50	3,07	0,71	1,50	1,45	3,17	0,85	4,05
25	60	8,1	1,98	1,40	4,11	0,80	2,00	1,42	3,94	0,87	2,01	1,39	3,69	0,84	1,97	1,40	3,93	0,83	4,08
25	132	8,1	1,17	1,58	2,03	0,84	1,63	1,33	2,29	0,80	1,27	1,56	2,01	0,78	1,11	1,58	1,94	0,77	4,11
25	100	8,1	1,49	1,56	2,93	0,71	1,87	1,46	3,15	0,80	1,61	1,48	3,02	0,73	1,68	1,52	3,06	0,84	4,13
0	0	12,2	2,02	1,38	4,98	0,93	2,05	1,41	4,52	0,92	1,96	1,42	3,93	0,89	1,97	1,41	4,36	0,91	4,16
0	0	12,2	2,02	1,38	4,98	0,93	2,05	1,41	4,52	0,92	1,96	1,42	3,93	0,89	1,97	1,41	4,36	0,91	4,16
0	0	12,2	2,01	1,37	4,92	0,91	2,06	1,38	4,05	0,86	2,00	1,37	4,34	0,89	1,96	1,39	4,44	0,88	4,17
0	0	12,2	2,01	1,37	4,92	0,91	2,06	1,38	4,05	0,86	2,00	1,37	4,34	0,89	1,96	1,39	4,44	0,88	4,17
25	60	12,2	2,05	1,32	4,39	0,89	2,03	1,34	3,72	0,85	1,96	1,33	3,58	0,75	1,35	3,87	0,79	4,18	
25	132	12,2	1,20	1,57	1,83	0,80	1,41	1,49	1,91	0,86	0,98	1,79	1,53	0,76	0,92	1,84	1,58	0,74	4,21
25	100	12,2	1,64	1,51	2,62	0,78	1,79	1,38	3,78	0,76	1,69	1,50	2,90	0,78	1,58	1,52	3,40	0,77	4,23
25	60	12,2	2,10	1,31	4,50	0,85	2,04	1,38	3,81	0,83	1,99	1,36	3,69	0,75	1,97	1,37	3,96	0,75	4,26

Tabela 21. Resultados de penetração de calor em Neutral oil 150

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquisitor de dados																									
A (mm)	F (cpm)	e.l. (mm)	Vertical						Transversal						Inclinada						Longitudinal						Teste
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)									
0	0	8,1	5,55	1,36	10,30	1,04	1,07	5,33	1,26	9,14	1,07	5,32	1,22	9,60	1,09	5,37	1,28	9,52	1,07	021							
0	0	8,1	5,55	1,36	10,30	1,04	1,07	5,33	1,26	9,14	1,07	5,32	1,22	9,60	1,09	5,37	1,28	9,52	1,07	021							
0	0	8,1	5,62	1,30	10,31	1,01	1,05	5,42	1,19	9,29	1,06	5,47	1,16	9,60	1,08	5,47	1,22	9,48	1,06	022							
0	0	8,1	5,62	1,30	10,31	1,01	1,05	5,42	1,19	9,29	1,06	5,47	1,16	9,60	1,08	5,47	1,22	9,48	1,06	022							
0	0	8,1	5,61	1,29	10,29	1,02	1,07	5,40	1,19	9,32	1,07	5,45	1,14	9,57	1,09	5,46	1,21	9,47	1,07	023							
0	0	8,1	5,61	1,29	10,29	1,02	1,07	5,40	1,19	9,32	1,07	5,45	1,14	9,57	1,09	5,46	1,21	9,47	1,07	023							
0	0	8,1	5,56	1,35	10,40	1,01	1,05	5,38	1,24	9,36	1,07	5,40	1,20	9,61	1,08	5,46	1,26	9,50	1,07	024							
0	0	8,1	5,56	1,35	10,40	1,01	1,05	5,38	1,24	9,36	1,07	5,40	1,20	9,61	1,08	5,46	1,26	9,50	1,07	024							
0	0	8,1	5,62	1,31	10,28	1,02	1,07	5,41	1,21	9,17	1,06	5,47	1,18	9,57	1,08	5,49	1,24	9,48	1,06	025							
0	0	8,1	5,62	1,31	10,28	1,02	1,07	5,41	1,21	9,17	1,06	5,47	1,18	9,57	1,08	5,49	1,24	9,48	1,06	025							
0	0	8,1	5,55	1,36	10,39	1,01	1,05	5,37	1,25	9,30	1,06	5,38	1,21	9,60	1,08	5,39	1,28	9,47	1,06	026							
0	0	8,1	5,55	1,36	10,39	1,01	1,05	5,37	1,25	9,30	1,06	5,38	1,21	9,60	1,08	5,39	1,28	9,47	1,06	026							
42	60	8,1	5,25	1,37	9,36	1,04	1,05	5,14	1,28	9,08	1,05	5,10	1,24	9,00	1,05	5,08	1,26	8,98	1,06	065							
42	60	8,1	5,39	1,30	9,36	1,05	1,06	5,28	1,21	9,07	1,06	5,21	1,17	9,01	1,05	5,16	1,19	8,99	1,06	066							
42	60	8,1	5,36	1,31	9,42	1,03	1,04	5,18	1,23	9,12	1,04	5,12	1,19	9,06	1,03	5,11	1,21	9,07	1,04	067							
42	100	8,1	3,16	1,83	7,29	0,94	1,08	4,40	1,49	8,05	1,08	3,32	1,76	6,89	1,01	2,78	1,78	6,64	0,98	068							
42	120	8,1	2,87	1,11	5,68	0,95	2,92	2,92	1,63	6,60	1,09	3,12	1,02	6,05	0,99	2,78	1,12	5,62	1,02	069							
42	132	8,1	2,91	0,99	5,87	0,84	2,94	2,94	1,07	6,22	0,86	2,97	1,00	5,85	1,00	3,01	0,94	5,47	1,01	070							
42	100	8,1	2,95	1,89	7,27	0,90	3,91	3,91	1,52	7,89	1,05	3,23	1,67	6,82	1,02	2,97	1,58	6,57	0,98	071							
42	120	8,1	2,84	1,05	5,75	0,93	2,98	2,98	1,50	6,70	1,05	2,98	1,06	6,15	0,97	2,74	1,09	5,99	0,93	072							
42	132	8,1	2,90	0,98	6,00	0,82	3,01	3,01	1,06	6,19	0,90	2,93	1,01	5,42	1,11	3,01	0,93	5,49	1,02	073							
42	10	8,1	5,40	1,33	10,13	1,02	1,05	5,17	1,21	9,50	1,07	5,35	1,17	9,62	1,08	5,26	1,20	9,61	1,07	088							
42	80	8,1	4,96	1,34	8,91	0,97	4,96	4,96	1,23	8,70	1,06	4,64	1,26	8,25	1,04	4,55	1,24	8,05	1,06	089							
42	10	8,1	5,61	1,35	9,54	1,04	5,35	5,35	1,23	9,45	1,05	5,34	1,22	9,50	1,06	5,36	1,26	9,51	1,06	090							
42	90	8,1	4,40	1,57	7,69	1,00	4,65	4,65	1,44	8,52	1,06	4,23	1,50	7,27	1,06	4,07	1,55	7,21	1,04	091							
42	80	8,1	5,14	1,35	8,57	1,03	5,30	5,30	1,17	8,71	1,08	5,04	1,21	7,89	1,07	4,85	1,29	7,77	1,07	092							
42	90	8,1	4,45	1,49	7,64	1,04	4,25	4,25	1,47	8,43	1,10	4,10	1,51	7,25	1,09	4,10	1,48	7,20	1,06	093							
25	60	8,1	5,18	1,44	10,31	0,99	5,02	5,02	1,39	9,25	1,04	4,95	1,36	9,17	1,05	4,95	1,32	9,40	1,06	112							
25	120	8,1	4,22	0,93	6,61	1,07	4,72	4,72	1,39	7,67	1,10	3,42	0,84	5,86	1,20	3,24	1,00	6,08	1,10	113							
25	80	8,1	4,95	1,45	8,45	1,08	4,90	4,90	1,40	8,41	1,09	4,72	1,39	8,19	1,08	4,69	1,36	8,44	1,10	114							
25	132	8,1	3,04	1,50	6,72	1,01	3,56	3,56	1,71	7,20	1,11	2,89	1,05	5,89	1,20	3,54	0,87	5,84	1,16	115							
25	90	8,1	4,79	1,43	7,90	1,08	4,93	4,93	1,38	8,32	1,09	4,68	1,38	7,72	1,07	4,42	1,42	7,94	1,09	116							
25	110	8,1	2,46	1,90	6,91	1,08	5,17	5,17	1,36	7,97	1,11	2,30	2,25	6,40	1,16	4,00	1,50	6,96	1,07	118							
25	70	8,1	5,22	1,38	9,33	1,03	4,96	4,96	1,36	8,38	1,12	4,69	1,39	8,32	1,11	4,66	1,35	8,52	1,12	119							
25	60	8,1	4,95	1,45	10,09	0,97	4,80	4,80	1,40	8,55	1,11	4,65	1,40	8,54	1,12	4,63	1,35	8,69	1,13	120							
25	120	8,1	4,17	0,99	6,86	1,05	4,77	4,77	1,35	7,75	1,11	3,33	0,91	5,95	1,22	3,16	1,07	6,02	1,16	121							
25	80	8,1	5,12	1,39	8,46	1,07	4,88	4,88	1,39	8,42	1,09	4,68	1,40	8,23	1,08	4,60	1,38	8,41	1,10	122							
25	132	8,1	3,02	1,62	6,52	1,01	3,72	3,72	1,70	7,34	1,09	2,84	1,16	5,85	1,21	2,42	1,43	6,06	1,12	123							
25	90	8,1	4,64	1,47	7,62	1,10	5,11	5,11	1,35	8,18	1,11	4,53	1,44	7,74	1,08	4,43	1,43	7,98	1,11	124							
25	110	8,1	2,61	1,84	6,93	1,04	4,97	4,97	1,40	8,03	1,11	2,65	2,01	6,43	1,16	3,96	1,50	6,99	1,08	126							

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquisitor de dados												Teste					
A (mm)	F (cpm)	Vertical				Transversal				Inclinada				Longitudinal					
		fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)		
25	70	8,1	5,26	1,43	8,72	1,10	4,97	1,42	8,45	1,12	4,75	1,43	8,39	1,11	4,60	1,44	8,55	1,13	127
25	60	4,1	5,76	1,34	9,38	1,06	5,76	1,27	8,68	1,12	5,60	1,25	8,55	1,14	5,61	1,25	8,75	1,14	144
25	120	4,1	5,45	1,32	9,27	1,05	5,35	1,29	8,49	1,11	5,34	1,03	8,34	1,14	5,52	1,08	8,67	1,13	145
25	80	4,1	5,64	1,33	9,56	1,02	5,76	1,24	8,50	1,12	5,47	1,25	8,68	1,13	5,47	1,25	8,43	1,13	146
25	132	4,1	5,41	1,38	9,47	1,03	5,26	1,25	8,46	1,14	5,54	0,99	8,28	1,17	5,49	1,13	8,60	1,15	147
25	100	4,1	5,51	1,34	9,58	1,02	5,67	1,26	8,52	1,13	5,28	1,19	8,41	1,15	5,39	1,20	8,72	1,14	149
25	60	4,1	5,68	1,38	9,74	0,99	5,74	1,28	8,68	1,09	5,58	1,26	8,64	1,11	5,58	1,27	8,81	1,12	152
25	132	4,1	5,42	1,33	9,85	0,98	5,23	1,26	8,53	1,11	5,40	1,05	8,37	1,14	5,43	1,15	8,71	1,13	155
25	100	4,1	5,48	1,36	9,70	1,01	5,54	1,30	8,51	1,13	5,24	1,19	8,46	1,15	5,36	1,21	8,72	1,14	157
42	60	4,1	5,65	1,37	9,72	1,00	5,79	1,25	8,65	1,11	5,63	1,22	8,55	1,13	5,58	1,25	8,76	1,12	160
42	132	4,1	4,21	1,51	9,66	0,99	3,73	1,68	8,52	1,10	3,64	1,28	8,35	1,14	4,22	1,45	8,67	1,12	163
42	100	4,1	5,45	1,36	9,78	0,98	5,43	1,31	8,49	1,12	5,19	1,09	8,30	1,15	5,48	1,12	8,65	1,13	165
42	60	4,1	5,52	1,45	9,77	1,00	5,68	1,33	8,57	1,12	5,47	1,32	8,47	1,14	5,49	1,33	8,69	1,14	168
42	132	4,1	4,34	1,38	9,79	0,99	4,30	1,29	8,52	1,10	4,36	0,93	8,11	1,16	4,49	1,27	8,63	1,12	171
42	100	4,1	5,36	1,36	9,89	0,98	5,38	1,35	8,52	1,11	5,13	1,09	8,30	1,15	5,43	1,14	8,66	1,14	173
0	0	4,1	5,74	1,26	9,82	1,02	5,82	1,17	8,64	1,12	5,71	1,14	8,70	1,13	5,72	1,14	8,89	1,14	176
0	0	4,1	5,74	1,26	9,82	1,02	5,82	1,17	8,64	1,12	5,71	1,14	8,70	1,13	5,72	1,14	8,89	1,14	176
0	0	4,1	5,69	1,35	9,74	1,01	5,77	1,25	8,73	1,11	5,61	1,22	8,70	1,13	5,62	1,22	8,84	1,13	177
0	0	4,1	5,69	1,35	9,74	1,01	5,77	1,25	8,73	1,11	5,61	1,22	8,70	1,13	5,62	1,22	8,84	1,13	177
42	60	12,2	4,84	1,22	9,61	1,08	4,57	1,14	8,67	1,09	4,47	1,09	8,52	1,09	4,43	1,19	8,47	1,08	178
42	132	12,2	2,37	1,19	5,43	1,02	2,36	1,20	6,46	0,74	2,15	1,22	4,92	0,83	2,14	1,20	4,99	0,78	181
42	100	12,2	3,65	1,50	8,74	0,92	3,88	1,42	8,08	1,07	3,33	1,35	7,26	0,98	3,06	1,50	6,52	1,02	183
42	60	12,2	4,63	1,19	10,28	1,03	4,54	1,03	9,32	1,04	4,57	0,88	9,18	1,03	4,56	0,96	9,25	1,02	186
42	132	12,2	2,37	1,13	5,54	1,00	2,34	1,18	5,87	0,70	2,18	1,15	4,55	0,84	2,17	1,11	4,55	0,85	189
42	100	12,2	3,53	1,56	8,24	0,92	4,37	1,35	8,12	1,04	3,79	1,29	7,09	0,98	4,00	1,05	6,42	1,03	191
25	60	12,2	4,93	1,41	10,57	1,03	4,66	1,36	9,42	1,02	4,53	1,30	9,39	1,02	4,58	1,35	9,51	1,02	194
25	132	12,2	2,77	1,30	5,82	0,80	3,54	1,34	6,60	1,10	2,65	1,22	5,44	0,83	2,46	1,25	5,13	0,97	197
25	100	12,2	4,73	1,46	9,40	1,02	4,77	1,40	8,77	1,05	4,42	1,35	7,96	1,07	4,33	1,46	8,03	1,04	199
25	60	12,2	4,96	1,50	10,59	1,06	4,68	1,44	9,55	1,04	4,56	1,37	9,43	1,04	4,58	1,45	9,52	1,04	202
25	132	12,2	2,71	1,34	5,66	0,84	3,14	1,79	7,03	1,00	2,58	1,29	5,23	0,95	2,48	1,27	5,55	0,83	205
25	100	12,2	4,60	1,49	9,57	1,01	4,34	1,55	8,87	1,05	4,28	1,40	8,07	1,06	4,27	1,48	8,07	1,05	207
0	0	12,2	5,22	1,42	10,80	1,04	4,67	1,45	9,85	1,05	4,83	1,29	9,76	1,06	4,86	1,37	9,90	1,06	210
0	0	12,2	5,22	1,42	10,80	1,04	4,67	1,45	9,85	1,05	4,83	1,29	9,76	1,06	4,86	1,37	9,90	1,06	210
0	0	12,2	5,20	1,43	10,84	1,03	4,71	1,44	9,84	1,04	4,83	1,30	9,75	1,05	4,88	1,36	9,92	1,06	211
0	0	12,2	5,20	1,43	10,84	1,03	4,71	1,44	9,84	1,04	4,83	1,30	9,75	1,05	4,88	1,36	9,92	1,06	211
25	100	8,1	4,75	1,46	8,34	1,09	4,85	1,44	8,02	1,15	4,78	1,43	7,86	1,13	4,24	1,56	6,89	1,13	468
25	100	8,1	4,53	1,54	8,41	1,07	4,68	1,51	7,97	1,13	4,55	1,52	7,82	1,10	4,17	1,60	7,02	1,09	469
25	100	8,1	4,48	1,57	8,41	1,06	4,58	1,56	7,96	1,11	4,46	1,56	7,78	1,10	4,05	1,66	7,04	1,08	470

Tabela 22. Resultados de penetração de calor em Neutral oil 500

A (mm)	F (cpm)	e.l. (mm)	Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquiridor de dados												Teste						
			Vertical						Inclinada							Longitudinal					
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)		fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)		
0	0	8,1	6,55	1,44	12,98	1,03	1,03	5,93	1,35	11,50	1,11	6,03	1,37	11,48	1,11	5,96	1,34	11,53	1,11	012	
0	0	8,1	6,55	1,44	12,98	1,03	1,03	5,93	1,35	11,50	1,11	6,03	1,37	11,48	1,11	5,96	1,34	11,53	1,11	012	
0	0	8,1	5,76	1,68	10,83	1,11	1,11	5,85	1,37	10,73	1,12	5,78	1,43	10,09	1,11	5,55	1,44	9,80	1,12	013	
0	0	8,1	5,76	1,68	10,83	1,11	1,11	5,85	1,37	10,73	1,12	5,78	1,43	10,09	1,11	5,55	1,44	9,80	1,12	013	
0	0	8,1	6,44	1,47	13,87	1,01	1,01	5,99	1,28	11,71	1,11	6,06	1,31	11,74	1,10	5,95	1,29	12,16	1,10	014	
0	0	8,1	6,44	1,47	13,87	1,01	1,01	5,99	1,28	11,71	1,11	6,06	1,31	11,74	1,10	5,95	1,29	12,16	1,10	014	
0	0	8,1	6,53	1,44	13,47	1,01	1,01	6,11	1,31	11,67	1,11	6,19	1,34	11,57	1,10	6,10	1,32	11,63	1,11	015	
0	0	8,1	6,53	1,44	13,47	1,01	1,01	6,11	1,31	11,67	1,11	6,19	1,34	11,57	1,10	6,10	1,32	11,63	1,11	015	
0	0	8,1	6,39	1,43	13,65	1,00	1,00	6,02	1,29	11,72	1,12	6,15	1,31	11,57	1,11	6,05	1,30	11,67	1,12	016	
0	0	8,1	6,39	1,43	13,65	1,00	1,00	6,02	1,29	11,72	1,12	6,15	1,31	11,57	1,11	6,05	1,30	11,67	1,12	016	
0	0	8,1	6,36	1,44	13,50	1,01	1,01	5,94	1,30	11,56	1,11	6,01	1,34	11,49	1,11	5,97	1,32	11,57	1,11	017	
0	0	8,1	6,36	1,44	13,50	1,01	1,01	5,94	1,30	11,56	1,11	6,01	1,34	11,49	1,11	5,97	1,32	11,57	1,11	017	
0	0	8,1	6,36	1,46	13,79	0,97	0,97	5,95	1,35	11,75	1,09	6,05	1,38	11,59	1,09	5,97	1,35	11,68	1,09	018	
0	0	8,1	6,36	1,46	13,79	0,97	0,97	5,95	1,35	11,75	1,09	6,05	1,38	11,59	1,09	5,97	1,35	11,68	1,09	018	
0	0	8,1	6,38	1,48	13,69	0,98	0,98	6,05	1,34	11,64	1,10	6,14	1,37	11,55	1,09	6,03	1,34	11,65	1,10	019	
0	0	8,1	6,38	1,48	13,69	0,98	0,98	6,05	1,34	11,64	1,10	6,14	1,37	11,55	1,09	6,03	1,34	11,65	1,10	019	
0	0	8,1	6,55	1,41	13,47	1,00	1,00	6,03	1,33	11,51	1,10	6,15	1,35	11,54	1,10	6,04	1,33	11,71	1,10	020	
0	0	8,1	6,55	1,41	13,47	1,00	1,00	6,03	1,33	11,51	1,10	6,15	1,35	11,54	1,10	6,04	1,33	11,71	1,10	020	
42	120	8,1	5,07	0,54	8,55	0,93	0,93	4,28	1,52	8,65	1,11	4,19	0,94	7,71	1,02	4,62	0,74	7,56	1,05	027	
42	10	8,1	6,54	1,41	13,13	1,11	1,11	6,03	1,35	11,28	1,10	5,97	1,35	11,29	1,11	6,05	1,37	11,56	1,10	028	
42	73	8,1	6,41	1,43	11,47	1,13	1,13	6,03	1,37	10,73	1,11	5,87	1,38	10,01	1,12	5,90	1,41	9,85	1,12	029	
42	73	8,1	6,18	1,49	11,44	1,12	1,12	5,99	1,38	10,91	1,09	5,78	1,40	10,11	1,09	5,84	1,42	9,92	1,10	030	
42	73	8,1	6,29	1,44	11,47	1,14	1,14	5,98	1,37	10,93	1,11	5,78	1,38	10,12	1,11	5,86	1,40	9,96	1,12	031	
42	73	8,1	6,22	1,44	11,48	1,12	1,12	5,90	1,37	10,97	1,09	5,69	1,40	10,19	1,09	5,75	1,42	9,99	1,10	032	
42	120	8,1	4,27	0,75	8,31	0,94	0,94	3,09	2,09	8,17	1,15	3,98	0,94	7,71	0,99	3,87	1,02	7,52	1,02	033	
42	120	8,1	3,80	1,02	8,30	0,96	0,96	3,22	2,27	8,07	1,12	3,60	1,16	7,42	1,02	3,75	1,08	7,87	0,95	034	
42	120	8,1	4,64	0,66	8,12	0,96	0,96	3,98	0,97	8,13	1,16	4,17	0,83	7,54	1,02	4,06	0,90	7,80	0,99	035	
42	10	8,1	6,59	1,40	13,08	1,10	1,10	6,06	1,34	11,46	1,09	6,02	1,33	11,47	1,10	6,01	1,37	11,52	1,10	036	
42	73	8,1	6,28	1,46	11,51	1,13	1,13	5,99	1,37	10,95	1,09	5,80	1,39	10,21	1,09	5,81	1,42	10,00	1,11	037	
42	120	8,1	4,67	0,72	8,46	0,93	0,93	4,86	1,27	7,45	1,26	4,90	0,74	8,15	1,03	4,18	0,95	7,89	1,00	038	
42	120	8,1	5,14	0,59	8,13	0,97	0,97	4,78	1,16	8,13	1,09	5,03	0,57	7,75	1,11	4,27	0,84	7,36	1,05	039	
42	72	8,1	6,16	1,52	11,60	1,11	1,11	5,87	1,33	10,80	1,09	5,84	1,38	10,27	1,10	5,78	1,40	9,99	1,12	040	
42	120	8,1	5,15	0,63	8,16	0,98	0,98	4,65	1,37	8,14	1,15	5,38	0,64	7,43	1,12	4,69	0,81	7,50	1,08	041	
42	120	8,1	4,23	0,80	8,36	0,95	0,95	4,39	1,25	8,33	1,11	4,71	0,70	8,15	1,07	3,94	0,97	8,01	1,00	042	
42	120	8,1	4,73	0,65	8,32	0,95	0,95	5,53	1,05	8,24	1,14	5,16	0,63	7,94	1,09	4,36	0,78	7,54	1,05	043	
42	120	8,1	4,35	0,75	8,47	0,93	0,93	3,98	1,47	8,88	1,03	5,00	0,65	8,24	1,04	4,12	0,88	7,88	1,00	044	
42	120	8,1	4,59	0,70	8,52	0,93	0,93	3,99	1,53	8,10	1,16	4,95	0,72	7,74	1,11	4,19	0,88	7,57	1,04	045	
42	120	8,1	4,47	0,71	8,24	0,97	0,97	3,55	1,87	8,45	1,11	4,82	0,73	8,20	1,06	4,14	0,86	7,80	1,03	046	
42	120	8,1	4,68	0,62	8,67	0,89	0,89	3,62	1,39	8,14	1,12	4,33	0,77	7,94	1,04	4,21	0,78	7,61	1,02	047	
42	100	8,1	4,40	1,78	9,70	0,97	0,97	4,59	1,64	9,87	1,11	4,29	1,71	8,83	1,04	3,71	1,96	8,42	1,04	048	

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquisitor de dados												Teste					
A (mm)	F (cpm)	e.l. (mm)	Vertical				Transversal				Inclinada				Longitudinal				
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)	
42	100	8,1	4,43	1,82	9,54	1,00	5,27	1,49	9,88	1,11	4,35	1,78	8,72	1,06	3,67	2,10	8,24	1,06	0,49
42	100	8,1	4,34	1,89	9,49	0,99	5,28	1,46	9,83	1,11	4,41	1,72	8,70	1,05	4,02	1,80	8,34	1,04	0,50
42	100	8,1	4,46	1,83	9,62	0,97	5,23	1,52	9,78	1,11	4,39	1,78	8,76	1,04	3,40	2,40	8,42	1,04	0,51
42	100	8,1	4,29	1,99	9,44	0,99	5,05	1,66	9,72	1,11	4,39	1,85	8,71	1,05	4,18	1,82	8,64	1,00	0,52
42	80	8,1	6,21	1,47	11,38	1,10	5,95	1,35	10,91	1,10	5,73	1,42	10,03	1,10	5,65	1,44	9,70	1,11	0,53
42	80	8,1	6,20	1,48	11,13	1,10	5,83	1,38	10,73	1,10	5,65	1,44	9,79	1,11	5,56	1,46	9,50	1,11	0,54
42	90	8,1	5,59	1,57	10,37	1,02	5,13	1,53	9,15	1,07	5,68	1,40	10,19	1,11	4,89	1,60	8,98	1,06	0,55
42	90	8,1	5,35	1,62	10,30	1,03	5,15	1,51	9,17	1,07	5,68	1,38	10,22	1,10	4,94	1,57	8,96	1,07	0,56
42	90	8,1	5,36	1,61	10,24	1,04	5,16	1,50	9,18	1,08	5,64	1,38	10,20	1,11	4,90	1,57	8,97	1,08	0,57
42	90	8,1	5,38	1,59	10,38	1,01	5,14	1,51	9,22	1,06	5,65	1,38	10,27	1,09	4,89	1,57	8,94	1,07	0,58
42	120	8,1	4,09	0,80	8,48	0,92	4,75	0,70	8,00	1,09	3,08	2,35	8,17	1,10	3,92	0,94	7,91	0,99	0,59
42	132	8,1	2,08	1,43	7,53	0,97	2,82	1,22	7,88	1,04	4,06	1,21	8,76	0,96	2,94	1,28	7,39	1,01	0,60
42	132	8,1	2,60	1,28	7,42	1,02	2,47	1,33	8,03	1,04	4,55	1,21	8,94	0,93	3,02	1,26	7,68	1,01	0,61
42	132	8,1	1,97	1,41	7,58	0,99	2,33	1,31	8,42	0,98	2,63	1,40	8,09	1,02	2,79	1,28	7,54	1,00	0,62
42	132	8,1	2,30	1,49	7,76	0,96	2,51	1,40	7,70	1,07	3,06	1,36	8,33	1,02	2,58	1,39	7,67	0,97	0,63
42	132	8,1	2,26	1,30	7,54	1,01	2,51	1,29	7,85	1,06	2,77	1,42	9,32	0,91	3,17	1,21	7,63	1,00	0,64
42	110	8,1	3,20	1,51	8,36	0,98	4,50	1,63	9,15	1,10	3,87	1,54	7,98	1,02	4,45	0,73	7,58	1,04	0,95
42	125	8,1	4,18	0,70	8,44	0,97	3,48	1,45	8,46	1,11	4,31	0,79	7,91	1,08	3,81	0,93	7,00	1,15	0,96
42	110	8,1	3,21	1,39	8,28	0,97	4,68	1,54	9,12	1,11	3,85	1,61	8,31	1,00	4,53	0,70	7,62	1,03	0,97
42	125	8,1	3,96	0,71	7,78	0,99	2,87	1,85	9,77	0,96	2,37	1,60	7,42	1,06	3,79	0,84	7,55	1,01	0,98
42	110	8,1	3,26	1,33	8,60	0,99	4,35	1,78	9,29	1,12	3,89	1,59	7,99	1,03	4,26	0,82	7,76	1,02	0,99
25	80	8,1	5,88	1,48	11,60	1,11	5,85	1,36	11,11	1,09	5,87	1,40	10,63	1,08	5,69	1,35	10,51	1,10	1,00
25	90	8,1	5,89	1,45	11,11	1,10	5,89	1,36	10,85	1,10	5,69	1,44	10,06	1,09	5,45	1,40	9,81	1,10	1,01
25	100	8,1	5,23	1,58	10,67	1,05	5,84	1,35	10,61	1,09	5,59	1,44	9,66	1,05	4,97	1,48	9,38	1,03	1,02
25	110	8,1	4,54	1,70	9,67	1,00	5,73	1,37	10,22	1,12	4,78	1,66	8,99	1,03	3,54	1,82	8,46	1,01	1,03
25	120	8,1	3,24	1,96	8,99	0,98	5,27	1,46	9,74	1,13	3,73	1,80	8,33	1,07	3,31	1,40	8,03	1,05	1,04
25	132	8,1	2,15	1,45	8,18	0,99	4,24	1,39	9,17	1,13	2,68	1,49	7,61	1,13	2,19	1,50	7,66	1,04	1,05
25	90	8,1	5,69	1,50	11,13	1,04	5,88	1,35	10,71	1,10	5,72	1,43	10,08	1,09	5,47	1,38	9,80	1,10	1,06
25	132	8,1	2,08	1,54	8,45	0,94	4,04	1,41	9,26	1,08	2,70	1,52	8,10	1,02	2,35	1,32	7,49	1,04	1,07
25	120	8,1	3,04	2,02	9,11	0,94	5,26	1,48	9,73	1,12	4,02	1,61	8,40	1,03	3,34	1,46	7,80	1,05	1,08
25	110	8,1	4,23	1,78	9,64	0,95	5,70	1,37	10,27	1,09	4,84	1,63	9,29	0,98	3,62	1,80	8,14	1,04	1,09
25	80	8,1	5,99	1,47	11,70	1,10	5,88	1,37	11,13	1,10	5,86	1,41	10,68	1,09	5,70	1,35	10,56	1,11	1,10
25	100	8,1	5,05	1,65	10,46	1,01	5,82	1,35	10,55	1,12	5,54	1,44	9,67	1,07	4,96	1,47	9,38	1,05	1,11
25	60	4,1	6,00	1,65	12,56	1,02	5,51	1,66	11,55	1,08	5,70	1,58	11,49	1,10	5,62	1,59	11,41	1,10	2,12
25	132	4,1	4,97	1,89	12,42	0,99	4,81	1,89	11,12	1,09	4,44	1,85	10,92	1,12	4,23	1,78	10,60	1,13	2,15
25	100	4,1	5,52	1,76	12,22	1,00	5,52	1,64	11,29	1,06	5,17	1,69	11,09	1,10	4,82	1,78	10,65	1,11	2,17
25	60	4,1	6,08	1,65	12,64	1,00	5,60	1,65	11,51	1,08	5,71	1,59	11,47	1,10	5,66	1,60	11,38	1,10	2,20
25	132	4,1	4,97	1,81	12,24	0,99	4,77	1,82	11,06	1,08	4,35	1,83	10,86	1,11	4,16	1,74	10,63	1,11	2,23
25	100	4,1	5,41	1,81	12,82	0,97	5,86	1,58	11,17	1,10	5,20	1,73	11,05	1,12	4,82	1,84	10,63	1,14	2,25
42	60	4,1	5,82	1,71	13,09	0,95	5,60	1,64	11,34	1,08	5,66	1,59	11,20	1,11	5,59	1,59	10,98	1,10	2,28
42	132	4,1	3,95	1,71	11,93	1,00	3,97	1,69	10,98	1,10	4,57	1,26	10,47	1,15	4,21	1,25	10,27	1,15	2,31
42	100	4,1	4,44	1,98	12,03	1,00	5,36	1,65	11,04	1,09	4,22	1,92	10,75	1,13	3,32	2,35	10,30	1,14	2,33

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquisitor de dados																						
A (mm)	F (cpm)	e.l. (mm)	Vertical						Transversal						Inclinada						Longitudinal			Teste
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)						
42	60	4,1	5,78	1,68	12,75	0,97	5,64	1,59	11,38	1,08	5,74	1,53	11,31	1,10	5,68	1,54	11,05	1,10	236					
42	132	4,1	4,11	1,66	12,41	0,97	3,92	1,79	11,07	1,09	4,34	1,36	10,86	1,13	4,36	1,22	11,16	1,09	239					
42	100	4,1	4,86	1,88	11,99	1,02	5,36	1,67	10,96	1,08	4,15	1,96	10,79	1,12	3,39	2,34	10,38	1,14	241					
0	0	4,1	5,87	1,69	12,98	0,97	5,60	1,64	11,74	1,06	5,81	1,54	11,79	1,08	5,75	1,55	11,85	1,07	244					
0	0	4,1	5,87	1,69	12,98	0,97	5,60	1,64	11,74	1,06	5,81	1,54	11,79	1,08	5,75	1,55	11,85	1,07	244					
0	0	4,1	5,85	1,70	13,22	0,98	5,59	1,65	11,58	1,09	5,81	1,55	11,72	1,10	5,77	1,54	11,76	1,09	245					
0	0	4,1	5,85	1,70	13,22	0,98	5,59	1,65	11,58	1,09	5,81	1,55	11,72	1,10	5,77	1,54	11,76	1,09	245					
42	60	2,2	5,61	1,61	12,46	1,09	4,95	1,66	11,08	1,10	5,09	1,49	10,97	1,07	4,92	1,67	10,90	1,03	246					
42	132	2,2	2,89	1,39	7,34	1,02	3,50	1,05	7,74	0,94	2,63	1,42	6,89	0,81	2,68	1,38	6,62	0,94	249					
42	100	2,2	4,26	1,88	9,65	0,96	4,20	1,90	9,51	1,10	3,57	1,72	8,93	0,94	3,32	2,07	8,24	0,99	251					
42	60	2,2	5,73	1,55	12,86	1,07	5,09	1,57	11,33	1,09	5,20	1,45	11,25	1,08	5,20	1,55	11,17	1,04	254					
42	132	2,2	2,78	1,43	6,95	1,04	3,61	0,95	8,42	0,98	2,66	1,40	6,29	0,98	2,67	1,36	6,57	0,97	257					
42	100	2,2	4,35	1,82	9,33	1,04	4,21	1,85	9,58	1,09	3,71	1,60	8,92	0,94	3,32	2,00	8,56	0,93	259					
25	60	2,2	5,81	1,51	13,03	1,13	5,67	1,35	11,86	1,10	5,51	1,31	11,73	1,11	5,53	1,40	11,60	1,09	262					
25	132	2,2	2,42	1,91	9,34	0,79	3,47	2,02	8,99	1,03	4,17	0,75	7,91	0,82	3,69	0,90	8,17	0,86	265					
25	60	2,2	5,16	1,57	11,66	1,04	5,32	1,43	10,64	1,09	4,86	1,42	9,82	1,07	4,88	1,51	9,63	1,04	267					
25	100	2,2	5,67	1,55	13,03	1,12	4,96	1,59	11,79	1,09	4,70	1,60	11,62	1,10	4,97	1,61	11,51	1,08	270					
25	132	2,2	2,87	0,92	9,32	0,79	3,16	2,31	8,71	1,06	3,96	0,83	7,42	0,89	3,58	0,94	8,23	0,87	273					
25	100	2,2	4,98	1,70	11,50	1,09	4,90	1,63	10,61	1,10	4,47	1,65	9,64	1,11	4,56	1,73	9,57	1,07	275					
0	0	2,2	6,36	1,33	13,98	1,03	5,15	1,51	12,27	1,09	5,34	1,38	12,29	1,11	5,38	1,46	12,23	1,09	278					
0	0	2,2	6,36	1,33	13,98	1,03	5,15	1,51	12,27	1,09	5,34	1,38	12,29	1,11	5,38	1,46	12,23	1,09	278					
0	0	2,2	6,26	1,44	14,52	1,03	5,12	1,62	12,32	1,10	5,37	1,47	12,30	1,12	5,41	1,54	12,30	1,10	279					
0	0	2,2	6,26	1,44	14,52	1,03	5,12	1,62	12,32	1,10	5,37	1,47	12,30	1,12	5,41	1,54	12,30	1,10	279					
25	132	2,2	2,24	1,65	7,47	0,89	4,07	0,77	7,39	0,96	2,81	1,24	6,08	0,94	2,91	1,98	8,81	0,97	456					
25	132	2,2	2,37	1,21	7,67	0,94	3,91	0,85	7,28	1,01	2,74	1,23	6,13	0,97	4,07	1,09	7,46	1,15	457					
25	132	2,2	2,42	1,24	7,74	0,82	4,30	0,73	7,39	0,92	2,80	1,24	6,18	0,93	3,00	1,83	9,00	0,92	458					
25	100	2,2	5,04	1,56	10,51	1,08	4,77	1,47	9,45	1,15	4,44	1,54	8,89	1,13	4,71	1,44	9,77	1,14	459					
25	100	2,2	5,11	1,51	10,73	1,02	4,67	1,46	9,47	1,10	4,43	1,53	9,10	1,04	4,89	1,37	9,72	1,13	460					
25	100	2,2	5,23	1,50	10,52	1,04	4,84	1,42	9,33	1,15	4,56	1,52	8,90	1,09	5,18	1,36	9,61	1,15	461					
25	60	2,2	6,12	1,39	12,42	1,14	5,81	1,26	11,05	1,13	5,69	1,29	11,04	1,12	5,29	1,30	10,96	1,10	462					
25	60	2,2	6,06	1,48	12,47	1,14	5,80	1,33	11,13	1,13	5,77	1,34	11,22	1,12	5,35	1,36	11,13	1,12	463					
25	60	2,2	6,00	1,49	12,57	1,13	5,75	1,33	11,29	1,11	5,73	1,34	11,22	1,12	5,32	1,35	11,19	1,11	464					
42	100	4,1	5,06	1,71	11,52	1,10	5,39	1,64	10,42	1,14	4,69	1,73	9,57	1,20	4,30	1,80	10,64	1,13	474					
42	100	4,1	5,04	1,73	11,71	1,07	5,44	1,63	10,41	1,12	4,36	1,92	9,68	1,18	4,47	1,72	10,74	1,10	475					
42	100	4,1	4,93	1,79	11,44	1,09	5,45	1,64	10,43	1,12	4,62	1,83	9,56	1,17	4,26	1,85	10,65	1,11	476					

Tabela 23. Resultados de penetração de calor em Bright stock oil

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquisitor de dados												Teste				
A (mm)	F (cpm)	e.l. (mm)	Vertical				Transversal				Inclinada				Longitudinal			
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)
0	0	8,1	7,84	1,61	19,75	0,93	1,13	6,83	1,55	15,94	1,14	6,76	1,62	15,66	1,14	074		
0	0	8,1	7,84	1,61	19,75	0,93	1,13	6,83	1,55	15,94	1,14	6,76	1,62	15,66	1,14	074		
42	60	8,1	7,40	1,69	16,33	1,05	1,12	6,70	1,56	14,92	1,13	6,67	1,61	14,42	1,12	075		
0	0	8,1	7,87	1,58	20,17	0,94	1,13	6,95	1,49	15,96	1,14	6,96	1,53	15,75	1,14	076		
0	0	8,1	7,87	1,58	20,17	0,94	1,13	6,95	1,49	15,96	1,14	6,96	1,53	15,75	1,14	076		
42	100	8,1	5,76	2,02	13,66	1,01	1,11	5,09	2,08	12,96	1,00	4,46	2,39	12,80	1,04	077		
42	120	8,1	3,11	3,39	13,23	1,02	1,11	2,85	3,74	12,94	0,94	4,29	2,17	11,10	1,11	078		
42	132	8,1	2,50	1,10	12,58	1,05	1,10	4,25	0,61	11,32	0,99	9,16	0,52	11,54	1,10	079		
42	60	8,1	7,34	1,72	16,57	1,04	1,12	6,62	1,59	14,88	1,13	6,62	1,65	14,41	1,12	080		
42	100	8,1	5,89	1,96	13,81	1,00	1,11	5,06	2,07	12,69	1,02	4,43	2,39	12,71	1,04	081		
42	120	8,1	3,29	3,32	13,63	1,00	1,11	2,85	3,05	12,16	0,99	4,88	1,69	11,27	1,10	082		
42	80	8,1	7,01	1,76	15,12	1,02	1,12	6,19	1,79	13,21	1,12	6,20	1,80	12,96	1,12	084		
42	80	8,1	7,14	1,69	14,90	1,02	1,12	6,61	1,57	13,35	1,12	6,53	1,62	13,06	1,12	085		
42	10	8,1	7,84	1,59	19,15	0,96	1,12	6,89	1,51	15,90	1,13	6,91	1,55	15,74	1,14	086		
42	10	8,1	7,84	1,62	18,06	1,01	1,12	6,83	1,55	15,89	1,13	6,88	1,58	15,74	1,13	087		
42	120	8,1	3,59	3,06	13,27	1,02	1,09	3,86	1,80	11,25	1,16	4,32	2,01	11,17	1,18	094		
25	60	8,1	8,59	1,42	19,90	0,96	1,17	7,96	1,22	15,38	1,17	7,99	1,27	15,06	1,17	128		
25	120	8,1	5,81	1,12	14,83	1,02	1,13	4,73	0,89	13,55	0,94	5,13	0,88	12,13	1,15	129		
25	80	8,1	8,23	1,50	16,87	1,05	1,14	7,73	1,26	13,86	1,14	7,71	1,32	13,83	1,14	130		
25	132	8,1	4,91	1,18	14,58	0,99	1,12	4,27	1,01	11,67	1,05	5,27	0,86	11,54	1,15	131		
25	90	8,1	7,95	1,58	15,79	1,09	1,13	7,05	1,47	13,10	1,13	7,16	1,48	13,38	1,13	132		
25	100	8,1	7,28	1,78	15,57	1,09	1,13	5,81	1,92	13,43	1,06	6,23	1,82	13,28	1,13	133		
25	110	8,1	7,95	1,58	15,17	1,08	1,14	7,05	1,47	12,67	1,03	7,16	1,48	12,72	1,13	134		
25	70	8,1	7,08	1,87	20,45	0,92	1,16	6,38	1,69	14,66	1,16	6,46	1,73	14,41	1,16	135		
25	60	8,1	8,48	1,50	20,09	0,94	1,15	7,77	1,29	15,14	1,15	7,81	1,34	14,77	1,15	136		
25	120	8,1	5,64	1,20	14,89	1,03	1,13	4,63	1,02	13,80	0,95	4,99	0,90	12,54	1,14	137		
25	80	8,1	8,22	1,58	15,55	1,12	1,15	7,46	1,40	14,01	1,14	7,63	1,41	13,96	1,15	138		
25	132	8,1	4,85	1,19	14,90	1,00	1,11	4,31	1,03	11,89	1,03	4,82	0,93	11,82	1,15	139		
25	90	8,1	8,05	1,62	16,44	1,08	1,15	6,99	1,53	13,14	1,15	7,10	1,56	13,47	1,14	140		
25	100	8,1	7,34	1,78	15,50	1,09	1,13	5,74	1,92	12,92	1,09	6,04	1,86	13,09	1,14	141		
25	110	8,1	7,95	1,58	14,94	1,09	1,14	7,05	1,47	12,96	1,03	7,16	1,48	12,81	1,14	142		
25	70	8,1	6,93	1,89	19,01	0,97	1,15	6,23	1,72	14,64	1,14	6,37	1,73	14,45	1,15	143		
25	60	4,1	7,56	1,69	20,02	0,95	1,13	7,44	1,57	15,92	1,13	7,29	1,59	15,79	1,13	280		
25	132	4,1	7,16	1,79	19,60	0,96	1,12	6,93	1,67	15,79	1,13	6,78	1,70	15,60	1,13	283		
25	100	4,1	7,50	1,77	20,00	0,95	1,12	7,40	1,59	15,82	1,13	7,28	1,60	15,69	1,12	285		
25	60	4,1	7,59	1,74	20,01	0,96	1,13	7,49	1,54	15,79	1,14	7,31	1,58	15,73	1,13	288		
25	132	4,1	7,45	1,78	20,04	0,95	1,13	7,42	1,57	15,78	1,14	7,28	1,59	15,61	1,13	291		
25	100	4,1	7,54	1,78	19,89	0,95	1,12	7,44	1,57	15,76	1,13	7,31	1,58	15,63	1,13	293		
42	60	4,1	7,42	1,79	20,06	0,95	1,13	7,46	1,57	15,72	1,14	7,31	1,59	15,56	1,14	296		
42	132	4,1	7,05	1,88	19,89	0,96	1,14	7,03	1,66	15,80	1,14	6,81	1,71	15,58	1,14	299		

Variáveis de processo		Posição das latas no pórtico de agitação e número do canal do aquisitor de dados																									
A (mm)	F (epm)	e.l. (mm)	Vertical						Transversal						Inclinada						Longitudinal						Teste
			fh@v (min)	jh@v (-)	fc@v (min)	jc@v (-)	fh@t (min)	jh@t (-)	fc@t (min)	jc@t (-)	fh@i (min)	jh@i (-)	fc@i (min)	jc@i (-)	fh@l (min)	jh@l (-)	fc@l (min)	jc@l (-)									
42	100	4,1	7,09	1,88	20,28	0,94	1,12	7,06	1,66	15,84	1,12	1,14	7,09	1,64	15,84	1,12	1,13	6,93	1,68	15,66	1,13	301					
42	60	4,1	7,46	1,77	20,06	0,95	1,14	7,43	1,57	15,73	1,14	1,14	7,47	1,55	15,73	1,14	1,15	7,30	1,58	15,59	1,14	304					
42	132	4,1	7,05	1,90	20,07	0,95	1,14	7,04	1,68	15,69	1,13	1,13	7,04	1,70	15,64	1,14	1,14	6,91	1,70	15,46	1,14	307					
42	100	4,1	7,42	1,77	20,66	0,93	1,13	7,10	1,65	15,69	1,13	1,13	7,10	1,68	15,72	1,14	1,14	6,95	1,68	15,51	1,14	309					
0	0	4,1	7,27	1,82	20,05	0,96	1,14	7,14	1,64	15,73	1,14	1,14	7,14	1,64	15,73	1,14	1,14	6,98	1,66	15,68	1,14	312					
0	0	4,1	7,27	1,82	20,05	0,96	1,14	7,14	1,64	15,73	1,14	1,14	7,14	1,64	15,73	1,14	1,14	6,98	1,66	15,68	1,14	312					
0	0	4,1	7,49	1,76	19,94	0,96	1,13	7,13	1,65	15,76	1,13	1,13	7,13	1,65	15,76	1,13	1,13	7,00	1,66	15,55	1,13	313					
0	0	4,1	7,49	1,76	19,94	0,96	1,13	7,13	1,65	15,76	1,13	1,13	7,13	1,65	15,76	1,13	1,13	7,00	1,66	15,55	1,13	313					
42	60	12,2	7,77	1,52	16,82	1,08	1,10	7,40	1,40	15,03	1,10	1,10	7,40	1,40	15,03	1,10	1,10	7,15	1,52	14,85	1,09	314					
42	132	12,2	3,26	2,03	14,09	0,89	1,17	3,81	1,49	11,81	0,91	1,17	3,81	1,49	11,81	0,91	1,17	4,05	1,46	13,01	0,83	317					
42	100	12,2	4,70	2,64	14,04	0,97	1,10	6,12	1,93	13,52	1,09	1,09	6,12	1,93	13,52	1,09	1,09	3,61	4,11	12,97	0,95	319					
42	60	12,2	7,33	1,65	16,66	1,10	1,10	7,48	1,44	15,51	1,10	1,10	7,24	1,45	15,34	1,11	1,11	7,13	1,51	15,04	1,10	322					
42	132	12,2	3,18	1,97	13,51	0,90	1,11	3,50	2,56	12,33	1,09	1,09	3,72	1,30	13,04	0,86	1,11	4,08	1,26	13,32	0,83	325					
42	100	12,2	4,18	2,90	14,25	0,96	1,11	5,84	1,97	13,27	1,09	1,09	4,17	3,09	12,52	1,01	1,11	3,85	3,60	12,88	0,94	327					
25	60	12,2	7,52	1,67	17,67	1,09	1,11	7,30	1,53	15,86	1,09	1,09	7,20	1,51	15,83	1,10	1,10	7,12	1,57	15,69	1,10	330					
25	132	12,2	2,25	6,47	11,64	0,86	1,11	4,77	2,47	12,91	1,07	1,07	4,30	2,60	12,65	0,94	1,11	3,91	2,34	15,64	0,77	333					
25	100	12,2	6,02	2,05	15,21	1,04	1,11	6,81	1,64	14,41	1,11	1,11	6,18	1,80	13,37	1,10	1,10	5,82	2,00	12,78	1,08	335					
25	60	12,2	7,29	1,71	17,20	1,12	1,11	7,03	1,56	15,66	1,11	1,11	6,94	1,54	15,69	1,12	1,12	6,91	1,58	15,51	1,12	338					
25	132	12,2	2,19	6,61	12,10	0,89	1,11	4,83	2,39	13,16	1,06	1,06	4,25	2,71	13,12	0,91	1,11	4,73	2,10	15,87	0,78	341					
25	100	12,2	6,31	1,97	15,20	1,06	1,11	6,80	1,65	14,57	1,11	1,11	6,09	1,83	13,52	1,10	1,10	5,82	2,01	13,01	1,08	343					
0	0	12,2	6,96	1,79	20,85	1,00	1,12	6,73	1,67	16,01	1,12	1,12	6,75	1,64	16,38	1,13	1,13	6,55	1,76	16,31	1,12	346					
0	0	12,2	6,96	1,79	20,85	1,00	1,12	6,73	1,67	16,01	1,12	1,12	6,75	1,64	16,38	1,13	1,13	6,55	1,76	16,31	1,12	346					
0	0	12,2	7,09	1,75	22,48	0,95	1,11	6,88	1,62	16,34	1,11	1,11	6,88	1,58	16,46	1,13	1,13	6,89	1,61	16,43	1,13	347					
0	0	12,2	7,09	1,75	22,48	0,95	1,11	6,88	1,62	16,34	1,11	1,11	6,88	1,58	16,46	1,13	1,13	6,89	1,61	16,43	1,13	347					
42	132	8,1	2,10	1,18	10,36	1,03	1,11	2,03	1,31	10,00	1,05	1,05	2,60	1,20	10,71	0,98	1,11	4,37	1,25	11,94	1,04	451					
42	132	8,1	2,58	1,10	10,02	1,08	1,11	2,04	1,31	10,80	1,03	1,03	2,15	1,65	10,56	1,01	1,11	4,06	1,11	12,48	1,02	452					
42	100	12,2	4,90	2,61	13,46	1,01	1,13	5,66	2,11	12,23	1,13	1,13	4,35	3,16	11,45	1,10	1,10	3,99	2,63	12,20	0,93	471					
42	100	12,2	4,64	2,55	13,66	0,98	1,11	4,98	2,33	12,02	1,11	1,11	4,40	2,64	11,33	1,09	1,09	4,57	1,93	12,57	0,89	472					
42	100	12,2	4,90	2,37	13,46	1,00	1,13	4,97	2,46	12,10	1,13	1,13	4,20	2,93	11,35	1,09	1,09	3,99	2,64	12,26	0,92	473					