



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE RECICLAGEM
DE ÓLEO DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE SABÃO E
RESINAS POLIMÉRICAS**

SÍLVIA DA CUNHA OLIVEIRA

BRASÍLIA, 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

SÍLVIA DA CUNHA OLIVEIRA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE RECICLAGEM
DE ÓLEO DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE SABÃO E
RESINAS POLIMÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade de Brasília, como parte das exigências
do programa de graduação em Química Tecnológica,
para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Moreira da Silva

BRASÍLIA, 2015

AGRADECIMENTOS

*Agradeço a Deus, tão Bom e digno de ser amado sobre todas as coisas, que me dá força, ânimo e coragem e que fala ao meu coração para nunca desistir e seguir em frente, sempre... Obrigada por me fazer chegar até aqui, obrigada por ser Tua vontade que eu vá mais longe: obrigada pela aprovação no Mestrado! Que a cada dia eu estude mais, com muito amor e afinco, e que a cada dia eu deseje fazer a diferença onde eu estiver...
Obrigada Senhor! Tu sabes tudo, Tu sabes que eu Te amo!*

*À minha família que tanto me apoia e me incentiva, que faz os maiores sacrifícios para que eu siga adiante nos estudos, que me ensinou os valores mais importantes da vida...
Mamãe linda, irmão “fortinho” e pai, amo vocês!*

Ao meu orientador, Prof. Fábio, que desde o início me acompanhou e me ajudou e, mesmo tão atarefado, esteve sempre presente (via reunião, whatsapp, telefone e email) ainda mais nestes últimos dias tão corridos e próprios de final de semestre... Valeu, Fábio! Precisando de algo é só falar!

Aos meus amigos(as) de longa data e aos que chegaram há pouco tempo, pois cada um contribui de maneira singular em minha vida. Em especial, à minha irmã do coração, Cris, pelas orações, incentivos, conselhos, por estar ao meu lado em tantos momentos bons e ruins e por compreender a minha ausência. Amo você, amiga!

Aos professores do Instituto de Química, por compartilharem os seus conhecimentos e a sua experiência e contribuírem para a minha formação e ainda a todos os professores, dos quais me recordo com tanto carinho, e que fizeram a diferença na minha caminhada até aqui!

Aos colegas do LMC, com os quais eu convivo a maior parte dos dias da semana e que vão ter que me aturar ainda pelos próximos dois anos, “rsrs”!

Enfim, o meu MUITO OBRIGADA!

“Não há lugar para a sabedoria onde não há paciência.”

Santo Agostinho

RESUMO

Os óleos residuais de fritura fazem parte do cotidiano da população brasileira e causam danos ao meio ambiente, a curto, médio e longo prazo, quando descartados de maneira incorreta (tais como pias, vasos sanitários, solo e galerias pluviais). A reciclagem do óleo vegetal usado ainda necessita de uma política adequada quanto à coleta e utilização do resíduo, tendo em vista que o volume descartado anualmente no Brasil ainda é muito grande em relação ao seu consumo. No Distrito Federal, não é diferente do resto do país e existem poucas iniciativas de reciclagem.

Durante a realização deste trabalho, verificou-se por meio de visita técnica e através do levantamento bibliográfico realizado que não existe uma infraestrutura adequada para a realização da reciclagem dos resíduos de óleo vegetal de estabelecimentos comerciais e domésticos. Entretanto, há diversas alternativas de reutilização desse óleo e obtenção de produtos derivados, necessitando de uma política pública concreta de reciclagem. No presente trabalho foi realizado o dimensionamento de um sistema de reciclagem de óleos residuais do processo de fritura para uma pequena indústria de sabão e resinas poliméricas, sem fazer uma abordagem da viabilidade econômica do processo. Inicialmente, considerando-se que a coleta de óleo residual é razoável na região, estimou-se uma capacidade de processamento de 900 litros de óleo residual por dia, durante 3 dias de operação para a produção de sabão, alternada com o processamento de 300 litros diários para fabricação de resina polimérica, em 17 dias de operação. A partir disso, estimaram-se as quantidades de óleo residual a serem recebidas para posterior processamento, trabalhando-se com uma capacidade de armazenagem de 10.000 litros. Dessa forma, realizou-se o dimensionamento dos equipamentos envolvidos no recebimento e processamento do óleo residual. Considerando-se que para a produção de sabão e resina polimérica não é necessário realizar a secagem do óleo, o tratamento do óleo recebido envolveu apenas a separação de sólidos por peneiramento e filtração em filtro prensa. O processo de produção de sabão foi dimensionado para operar em temperatura de 70 a 90 °C, utilizando-se três reatores agitados, à pressão atmosférica e com volume de 200 litros cada um. Já a produção da resina polimérica foi dimensionada para operar em temperatura de cerca de 300 °C utilizando os mesmos reatores de 200 litros em sistema com atmosfera inerte, sem agitação e com condensação de voláteis. A seleção das bombas para movimentação do óleo no processo foi realizada de acordo com as demandas estimadas em cada etapa, utilizando-se uma bomba de cavidade progressiva e duas bombas de engrenagens externas para este fim.

Palavras-chave: Dimensionamento, óleo residual de fritura, resina polimérica, sabão, bombas hidráulicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Biossíntese de triacilgliceróis realizada por microalgas (onde R_1 , R_2 e R_3 representam as cadeias carbônicas).....	14
Figura 2 - Gráfico da produção mundial de óleos (em milhões de toneladas).....	16
Figura 3 - Quantidade de óleo residual de fritura recolhidos pela empresa Recóleo Natural Ltda., nos meses de fevereiro, março, abril, junho e julho de 2010.	18
Figura 4 - Mudanças físicas e químicas do óleo durante o processo de fritura.....	19
Figura 5 - Formação de sabão a partir da reação de saponificação utilizando-se hidróxido de sódio como base, onde R representa a cadeia carbônica.	27
Figura 6 - Fluxograma da produção de sabão pelo processo de semi-fervura.	30
Figura 7 - a) Etapa de transesterificação do óleo residual de fritura com o glicerol. b) Etapa de acidólise e formação da resina alquídica, através de poliesterificação. Sendo n a quantidade de carbonos na cadeia.....	39
Figura 8 - Sistema de polimerização térmica: (1) fluxo de nitrogênio; (2) condensador de refluxo; (3) agitador mecânico; (4) reator; (5) termopar; (6) controlador de temperatura e (7) manta de aquecimento.....	41
Figura 9 - Etapas envolvidas na polimerização térmica de óleos poli-insaturados em atmosfera inerte: (1) isomerização e conjugação de ligações duplas; (2) reação do tipo Diels-Alder entre um dieno e um dienófilo para a formação de um cicloexeno.	42
Figura 10 - Resina polimérica obtida a partir dos óleos residuais de fritura.....	43
Figura 11 - Análise da viscosidade cinemática durante a polimerização térmica de óleo residual de fritura usando diferentes catalisadores.....	44
Figura 12 - (a) Tintas confeccionadas a partir da mistura de diferentes pigmentos com resinas poliméricas de óleo de fritura usado; (b) teste de impressão com tintas de óleo de fritura.....	46
Figura 13 - Impressão em sistema <i>offset</i>	46
Figura 14 - Esquema de funcionamento de uma bomba. Onde: s - sucção; u_{b1} - velocidade média inicial do líquido; P_1 - pressão inicial do líquido; d - descarga; u_{b2} - velocidade final; P_2 - pressão final ($P_2 > P_1$) e W_s - trabalho de eixo.	49
Figura 15 - Filtro prensa com operação automática.....	51
Figura 16 - Fluxograma esquemático do processo.....	54
Figura 17 - Modelo de placa perfurada	56
Figura 18 - Modelo de tanque feito em polipropileno.....	56
Figura 19 - Filtro prensa modelo <i>Flowpress</i> onde: a) placas filtrantes; b) tanque de coleta do óleo filtrado; c) bomba.	57
Figura 20 - Esquema de tanque reacional para saponificação.....	63
Figura 21 - Agitador de feixe cruzado com lâminas inclinadas.	64
Figura 22 - Modelo de reator usado para a polimerização térmica do óleo residual.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados, em média, para Índice de Acidez, Índice de Peróxido e Índice de Iodo das análises físico-químicas realizadas em amostras de óleos de duas URs em Brasília - DF..	20
Tabela 2 - Resultados de CPT e AGL de óleos e gorduras de frituras, oriundos de estabelecimentos comerciais de Campinas/SP.	21
Tabela 3 - Medidas de pH dos sabões logo após o processamento e ao final de 15 dias.	31
Tabela 4 - Valores de projeções financeiras.	33
Tabela 5 - Valores dos indicadores de viabilidade econômica para o projeto.	33
Tabela 6 - Propriedades físico-químicas de resinas comerciais para aplicação em tintas para sistemas <i>offset</i>	37
Tabela 7 - Comparação das características físico-químicas entre a resina alquílica obtida com óleo de soja residual e uma resina alquílica padrão de óleo de soja novo.	40
Tabela 8 - Dados físico-químicos do óleo de fritura e das resinas obtidas.....	43
Tabela 9 - Valores de viscosidade cinemática e índice de acidez das resinas poliméricas obtidas usando óleo residual de fritura e diferentes catalisadores.	45
Tabela 10 - Redução no preço final de uma resina alquílica de óleo residual.....	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADE	Área de Desenvolvimento Econômico
AGL	Ácidos Graxos Livres
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AMI	Altura Manométrica da Instalação
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais - SATM)
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CDI	<i>Centre for the Development of Industry</i> (Centro para o Desenvolvimento da Indústria - CDI)
CPT	Compostos Polares Totais
DESER	Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais
DF	Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ES	Espírito Santo
EUA	Estados Unidos da América
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GO	Goiás
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
HCl	Ácido Clorídrico
IA	Índice de Acidez
II	Índice de Iodo
IP	Índice de Peróxido
K ₂ CO ₃	Carbonato de Potássio
KOH	Hidróxido de Sódio
mca	Metros de coluna d'água

MT	Mato Grosso
N ₂	Gás nitrogênio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de Sódio
Na ₂ O	Óxido de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
NV	Não-Voláteis
ONG	Organização Não Governamental
ORF	Óleo Residual de Fritura
OSC	Óleo de Soja Comercial
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROL	Programa de Reciclagem de Óleo de Fritura da Sabesp
RS	Rio Grande do Sul
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SLU	Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal
SP	São Paulo
SSU	<i>Saybolt Universal Second</i> (Segundos Universais de Saybolt - SUS)
TIR	Taxa Interna de Retorno
TIRM	Taxa Interna de Retorno Modificada
URs	Unidades de Refeição
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Óleos e Gorduras	14
2.1.1 Visão geral sobre óleos e gorduras: definição, principal diferença, uso ao longo da história e a crescente demanda dos óleos vegetais	14
2.2 Óleos e Gorduras Residuais	16
2.2.1 Fontes e estimativa de produção dos óleos residuais	16
2.2.2 Características físico-químicas dos óleos residuais de fritura	18
2.3 A Reciclagem do Óleo de Fritura Residual	22
2.3.1 Vantagens e dificuldades do uso de óleos residuais.....	22
2.3.2 Algumas iniciativas de reciclagem de óleo no Brasil e no DF	23
2.3.2.1 Visita técnica à empresa Ecolimp DF.....	24
2.4 Tecnologias para a reutilização dos óleos e gorduras residuais de fritura.....	25
2.4.1 Reaproveitamento de óleos residuais de fritura para a produção de sabão	25
2.4.1.1 A história do sabão	25
2.4.1.2 A química e os processos de produção do sabão.....	26
2.4.1.3 Sabão de óleo de fritura residual: do pré-tratamento do óleo às características finais do produto.....	30
2.4.1.4 Estudos sobre a viabilidade econômica da utilização de óleos e gorduras residuais para a produção de sabão.....	32
2.4.2 Reaproveitamento de óleos residuais de fritura para a produção de resinas poliméricas usadas em tintas.....	34
2.4.2.1 A história das tintas	34
2.4.2.2 Alguns tipos de resinas para tintas e suas características	36
2.4.2.3 Principais resinas poliméricas de óleo residual de fritura: resinas alquídicas e resinas de polimerização termocatalítica	38
2.4.2.4 Estudos sobre a viabilidade econômica da utilização de óleos residuais para a produção de resinas poliméricas	47
2.4.3 Operação de bombeamento e filtração.....	49
2.4.3.1 Bombeamento: bombas de deslocamento positivo.....	49

2.4.3.2 Filtração: filtro prensa	50
MATERIAL E MÉTODO	52
RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 Dimensionamento de Sistema para Reciclagem de Óleo de Fritura para Produção de Sabão e Resinas Poliméricas	53
4.1.1 Estimativa da capacidade de processamento do óleo residual e etapas do processo	53
4.1.2 Etapa 1: pré-tratamento do óleo residual de fritura.....	54
4.1.3 Seleção dos equipamentos para o recebimento, tratamento e estocagem do óleo residual	56
4.1.3.1 Seleção das bombas utilizadas no pré-tratamento	57
4.1.4 Etapa 2: produção de sabão e resinas poliméricas.....	60
4.1.4.1 Fabricação de sabão.....	61
4.1.4.2 Tempo estimado para a produção de sabão e quantidade produzida por dia	62
4.1.4.3 Tipo de tanque reacional e escolha do agitador.....	63
4.1.4.4 Seleção dos principais equipamentos na produção de sabão.....	64
4.1.4.5 Fabricação de resinas poliméricas	65
4.1.4.6 Tempo estimado para a produção e quantidade de resina produzida por dia	66
4.1.4.7 Tipo de reator.....	66
4.1.4.8 Seleção dos principais equipamentos utilizados na produção das resinas poliméricas	68
4.1.4.9 Seleção da bomba utilizada na produção de sabão e resinas poliméricas	68
CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	79
ANEXO 1 - Manual técnico da empresa IMBIL para seleção da bomba de cavidade progressiva.	80
ANEXO 2 - Escala de conversão de viscosidades com equivalência entre centistokes e SSU.....	83
ANEXO 3 - Manual técnico da empresa FB Bombas para seleção de bombas de engrenagens externas.	83

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Na década de 1960, surgiu a primeira “centelha de preocupação” com o crescimento industrial acelerado e os impactos ambientais causados tanto pelo consumo desenfreado de recursos naturais não-renováveis quanto pelo lançamento de resíduos, sem tratamento, diretamente na natureza. Mas o despertar global para esses problemas aconteceu no ano de 1992 com a Conferência Mundial das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92 ou Rio 92, que chamou a atenção dos países para problemas ambientais, energéticos e sociais de ordem mundial e ainda para a dimensão global dos perigos que ameaçavam a vida no Planeta e a necessidade de uma aliança entre todas as nações, em prol de uma sociedade sustentável (HISTÓRICO, 2015; AGENDA 21, 1995).

Dentre os resíduos industriais e domésticos cada vez mais comuns, mas que ao mesmo tempo permanecem nos “bastidores” da vida cotidiana, estão os óleos e as gorduras do processo de fritura, que representam um problema ambiental grave quando descartados indiscriminadamente na natureza. Os números recentes sobre as quantidades de óleos residuais geradas no Brasil são exorbitantes e causam preocupação. No entanto, quando armazenados, o acúmulo de recipientes contendo esses materiais residuais nas residências ou no comércio causa incômodo e gera uma dúvida constante: o que fazer com todo esse resíduo orgânico que se acumula e do qual pouco se fala?

Existem várias alternativas e a primeira delas é a fabricação de sabão, que mesmo sendo uma tecnologia conhecida e antiga, ainda é bastante útil e usual, uma vez que converte o óleo a um produto menos poluente e de melhor biodegradabilidade. Outra alternativa mais recente, e que parece ser um caminho bem interessante do ponto de vista mercadológico, é a produção de resinas, através da polimerização dos óleos residuais, que podem ser usadas na formulação de tintas de impressão.

Entre as vantagens em se realizar a coleta, tratamento e transformação dos óleos residuais em novos materiais, está o fato de impedir que esses rejeitos graxos entrem em contato direto com a natureza e também, gerar empregos e renda ao longo de toda uma cadeia de sustentabilidade, a partir de um planejamento bem sucedido. Entretanto, a falta de incentivo, de conscientização da população e de políticas públicas para o setor da reciclagem e, mais estritamente para o reaproveitamento de óleos e gorduras de fritura, dificulta o

recolhimento de maiores quantidades e a implantação de novas empresas interessadas nessa área.

Infelizmente, muito do que se fala sobre o cuidado com o meio ambiente acaba ficando apenas no papel. Um exemplo bem claro é que no Distrito Federal (DF) já existe uma lei que “dispõe sobre a coleta, transporte e destinação final de óleos utilizados na fritura de alimentos no Distrito Federal e dá outras providências”, a Lei Nº 4134/2008, no entanto o Serviço de Limpeza Urbana (SLU) do DF informa, em seu site, que não recolhe óleo comestível usado, pois não há caminhão para esse tipo de serviço.

Pensando na necessidade de um sistema de tratamento e destinação final adequada para os óleos e gorduras residuais de fritura está inserido no escopo deste trabalho o dimensionamento de um sistema para reciclagem de óleo de fritura para a produção de sabão e resinas poliméricas, desde o pré-tratamento do resíduo recebido até obtenção dos produtos finais, apresentando as seleções dos equipamentos mais importantes a serem utilizados no decorrer de cada etapa.

A estrutura deste trabalho está dividida em 5 capítulos a saber:

O capítulo 1 introduz o leitor nas motivações que levaram a realização do tema proposto, bem como os objetivos gerais e específicos do trabalho.

O Capítulo 2 traz todo o arcabouço literário necessário ao entendimento do que são óleos e gorduras e suas características físico-químicas, óleos residuais de fritura, as mudanças sofridas durante o processo de fritura, o volume gerado anualmente no Brasil, o que tem sido feito para o reaproveitamento dos óleos residuais, uma visita técnica a uma empresa brasileira do ramo da reciclagem de óleos residuais e as tecnologias que podem ser utilizadas para transformação do resíduo em novos produtos.

O Capítulo 3 apresenta as etapas da metodologia proposta.

O Capítulo 4 traz o dimensionamento das etapas do processo para o reaproveitamento dos óleos residuais, bem como a seleção dos principais equipamentos utilizados.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e perspectivas do estudo realizado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar um sistema para o recebimento e tratamento do óleo residual de fritura, bem como um sistema para a produção de sabão e polímeros (via polimerização termocatalítica).

1.1.2 Objetivos específicos

- Propor um sistema para o recebimento e tratamento do óleo residual de fritura.
- Dimensionar e selecionar os equipamentos para o recebimento e tratamento do óleo residual.
- Baseando-se em dados de literatura, propor um sistema para o reaproveitamento do óleo de fritura usado visando à produção de sabão e resinas poliméricas (via polimerização termocatalítica).
- Dimensionar e selecionar os equipamentos a serem utilizados nos processos de produção de sabão e resinas poliméricas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Óleos e Gorduras

2.1.1 Visão geral sobre óleos e gorduras: definição, principal diferença, uso ao longo da história e a crescente demanda dos óleos vegetais

Óleos e gorduras são substâncias hidrofóbicas (insolúveis em água), que têm a sua origem em animais, vegetais ou micro-organismos e são formadas, em grande parte, por triacilgliceróis (ou triacilglicerídeos), que resultam de uma reação de condensação entre três diferentes ácidos graxos (ácidos carboxílicos de cadeia carbônica longa - de 8 a 24 átomos de carbono) e uma molécula do triáccool glicerol (MORETTO e FETT, 1998; NETO *et al.*, 2000). Os organismos que biossintetizam triacilgliceróis podem armazená-los na forma de óleos e gorduras como sua principal fonte de energia. Um exemplo da biossíntese dessas substâncias, neste caso realizada por microalgas, pode ser visto na Figura 1 (NELSON e COX, 2002; PEREIRA *et al.*, 2012).

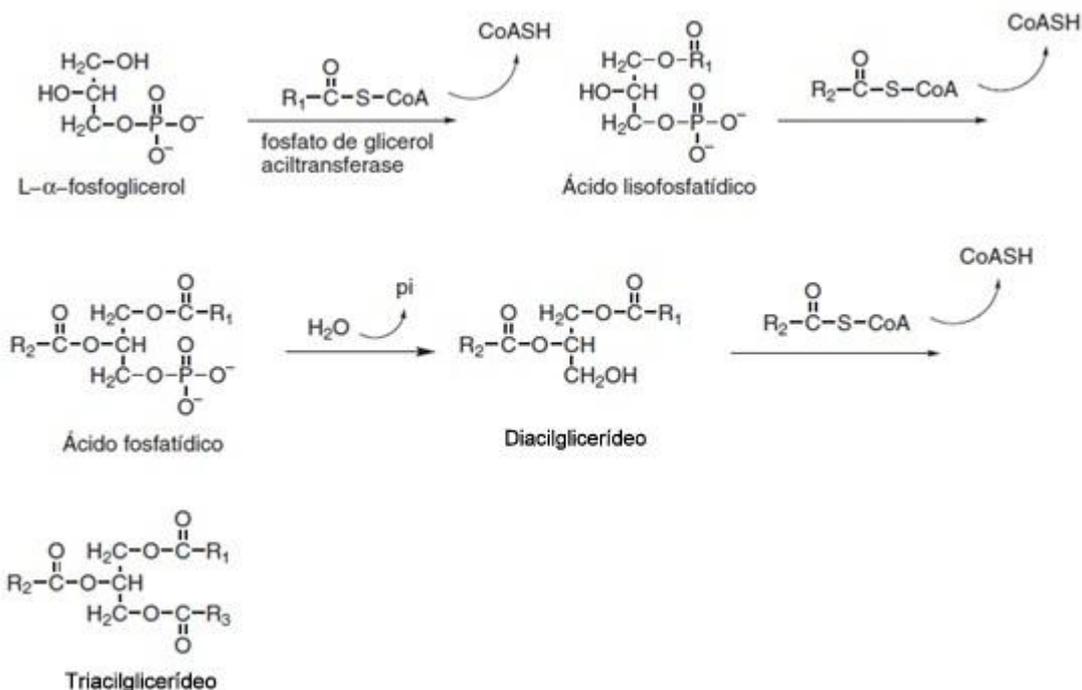


Figura 1 - Biossíntese de triacilgliceróis realizada por microalgas (onde R_1 , R_2 e R_3 representam as cadeias carbônicas).

Fonte: adaptado de PEREIRA, 2012.

Nos óleos e gorduras existe uma grande variedade de ácidos graxos livres ou ligados aleatoriamente ao glicerol, na forma de triacilgliceróis, o que faz deles uma mistura de compostos químicos bastante complexa. Dessa maneira, suas propriedades físico-químicas sofrem os efeitos das interações de todos esses componentes. O ponto de fusão dos óleos e gorduras, por exemplo, é influenciado pela presença de insaturações (duplas ligações) ou não (saturações) nas cadeias carbônicas dos triacilglicerídeos e dos ácidos graxos livres. Devido a esse fato, óleos à temperatura ambiente (25 °C) são líquidos, pois contêm grandes quantidades de insaturações (poli-insaturações), o que diminui as interações entre as cadeias carbônicas, diminuindo, portanto, o “grau de empacotamento”. Já nas gorduras, as cadeias carbônicas saturadas estão em maior proporção e permitem que as diferentes cadeias interajam melhor e mais fortemente, fazendo com que o “empacotamento” aumente e o material gorduroso seja sólido. (NELSON e COX, 2002; MORETTO e FETT, 1998).

Há milhares de anos a humanidade descobriu que as gorduras e os óleos poderiam servir para diversas finalidades. Além da importância nutricional (MORETTO e FETT, 1998), percebeu-se que essas matérias-primas poderiam ser utilizadas para conservar alimentos: carnes de caça eram submersas em banha de porco e armazenadas, por meses, antes do consumo (LEONARDO, 2009); fabricar tintas: durante o período renascentista, óleos vegetais foram usados no desenvolvimento da tinta a óleo (MELLO e SUAREZ, 2012); como fonte de energia para a iluminação: o óleo de baleia foi extremamente utilizado em alguns estados litorâneos brasileiros, do século XVI ao XIX, na iluminação pública e residencial (ELLIS, 1969 *apud* COMERLATO, 2010), entre outras.

No início do século XX, devido ao advento do petróleo e das suas técnicas de extração, esses materiais graxos começaram a ser substituídos, em muitas áreas, pelos derivados do petróleo. Entretanto, nas últimas décadas, o retorno da oleoquímica tem se mostrado imponente em vários setores como polímeros, lubrificantes, combustíveis, entre outros, devido o temor do esgotamento das reservas de energia fóssil, ou destas estarem localizadas em regiões de conflitos geopolíticos, como o Oriente Médio. (RAMALHO e SUAREZ, 2013; CASTELLANELLI, 2008).

De acordo com Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais - DESER - (2007), a demanda de óleos vegetais (palma, soja, canola, girassol, amendoim, algodão, palmiste, côco e oliva) tem crescido expressivamente no mundo todo e houve substituição de parte do consumo de gorduras animais. “A produção mundial de óleos vegetais aumentou aproximadamente 400% entre 1974/75 e 2006/07, passando de 25,7 milhões de toneladas para

123,1 milhões de toneladas” (DESER, 2007, p. 2), conforme é mostrado na Figura 2. O óleo de soja está entre os mais utilizados, em razão do baixo custo e da alta aplicabilidade em diferentes tipos de indústrias, com maior ênfase na alimentação humana e de animais (DESER, 2007).

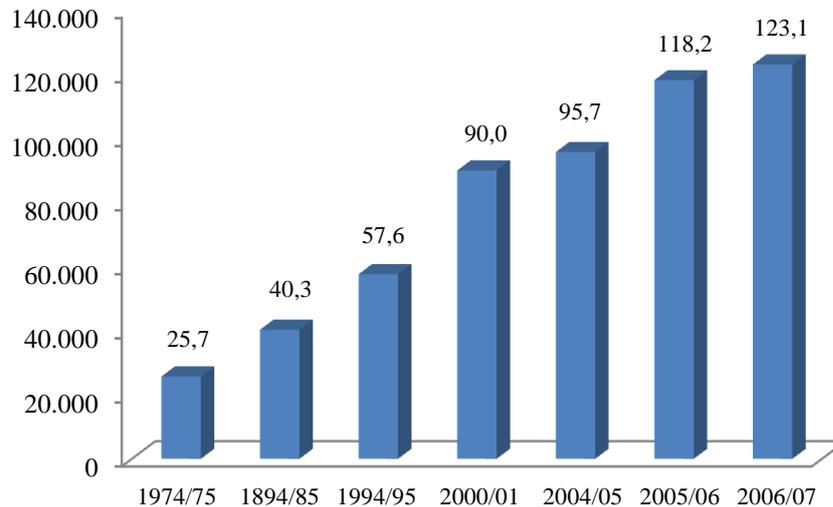


Figura 2 - Gráfico da produção mundial de óleos (em milhões de toneladas).
Fonte: elaborado pela própria autora com base em DESER, 2007.

Essa ascendência dos níveis de produção de óleos, e não somente desse setor, mas da produção industrial como um todo, é o evidente reflexo do crescimento da massa humana e das cidades. Se por um lado, os efeitos positivos precisam ser sentidos pelas populações, que necessitam de, pelo menos, alimentos, roupas e moradia para sobreviver, por outro, os efeitos negativos, como o grande volume de dejetos e resíduos gerados, caminham juntos e causam impactos catastróficos - a curto, médio e longo prazo - ao meio ambiente (CASTELLANELLI, 2008).

2.2 Óleos e Gorduras Residuais

2.2.1 Fontes e estimativa de produção dos óleos residuais

Os óleos residuais (e ainda as gorduras) são provenientes, em sua maior parte, de processos de fritura de alimentos. As principais fontes desses rejeitos estão localizadas nos grandes centros industriais e comerciais e, em menor quantidade nos lares (CASTELLANELLI, 2008). O Quadro 1 apresenta, de forma resumida, as atividades que requerem óleos e como eles são empregados no preparo de alimentos.

Quadro 1 - Atividades que necessitam de óleo e como ele é empregado no processo de preparação de alimentos.

Atividade	Como o óleo é empregado
Industrial	Principalmente, na produção de batatas fritas (<i>chips</i> , “palha”, pré-fritas) e alimentos empanados. Alimentos que necessitem de grandes quantidades de óleo.
Estabelecimentos que lidam com alimentação (hotéis, restaurantes, lanchonetes, bares, refeitórios, dentre outros)	Preparo dos mais variados tipos de alimentos.
Doméstica	Principalmente no preparo de batatas, salgados, carnes e alimentos empanados.

Fonte: elaborado pela própria autora com base em CASTELLANELLI, 2008, p. 44.

Além dessas, são possíveis fontes de óleos residuais os esgotos, nos quais a camada sobrenadante é rica em material graxo que pode ser extraído e ainda águas residuais de indústrias alimentícias que processam pescados, couros, dentre outras (DIB, 2010).

Com isso, uma enorme quantidade de óleo de fritura residual é produzida no Brasil e retrata uma realidade bastante comum no país. O volume descartado ultrapassa 1,6 bilhão de litros por ano (TAVARES, 2015). Dados da empresa alemã, *Oil World*, especializada em plantas oleaginosas, mostram que o consumo anual de óleo vegetal comestível por habitante é de cerca de 20 litros. Esse dado indica que para uma população de 2 milhões de habitantes, como a de Brasília, serão consumidos 40 milhões de litros de óleo por ano. Assumindo-se que durante o processo de fritura haja uma perda de 50%, o volume final descartado, por pessoa, será de 10 litros de óleos residuais por ano (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, 2009).

Na cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul (RS), em cinco meses do primeiro semestre do ano de 2010, foram produzidos, em média, 4874 litros por mês de óleo de fritura usado, conforme a Figura 3. Esse levantamento foi feito junto à empresa Recóleo Natural Limitada, que capta esse resíduo em cerca de 150 estabelecimentos cadastrados (REQUE e KUNKEL, 2010).

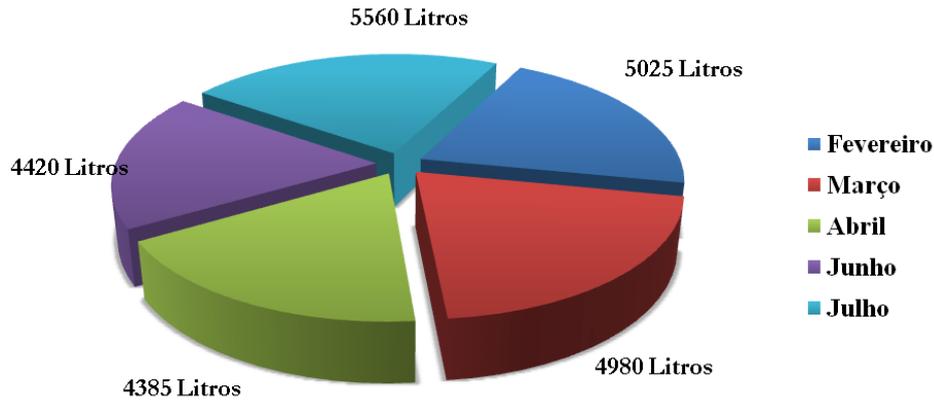


Figura 3 - Quantidade de óleo residual de fritura recolhidos pela empresa Recóleo Natural Ltda., nos meses de fevereiro, março, abril, junho e julho de 2010.

Fonte: REQUE e KUNKEL, 2010.

Grande parte da população, por falta de conscientização, ainda despeja esse resíduo diretamente na rede de esgoto doméstica (pias, vasos sanitários e ralos) ou no solo, acarretando sérios danos ao meio ambiente, como contaminação das águas de rios e lençóis freáticos (1 litro de óleo residual tem potencial para contaminar até 25 mil litros de água), entupimento de canos e tubulações, impermeabilização do solo (contribuindo para enchentes nas cidades), além de encarecer o processo de tratamento do esgoto, uma vez que, em alguns casos são utilizados produtos químicos tóxicos para desentupir as tubulações (TAVARES, 2015, PROGRAMA BIÓLEO, 2012; JUNIOR *et al.*, 2009).

2.2.2 Características físico-químicas dos óleos residuais de fritura

No processo de fritura, o óleo entra em contato com a umidade, o ar e substâncias presentes nos diversos alimentos, é submetido a diferentes tempos e temperaturas, além do tipo de fritura (contínua ou descontínua) a que é exposto. Devido a isso, acontecem alterações significativas, que são decorrentes das reações de degradação, tais como hidrólise, oxidação e polimerização, produzindo novos compostos com características físico-químicas bem diferentes do óleo do início do processo, como pode ser visto na Figura 4 (CHOE e MIN, 2007).

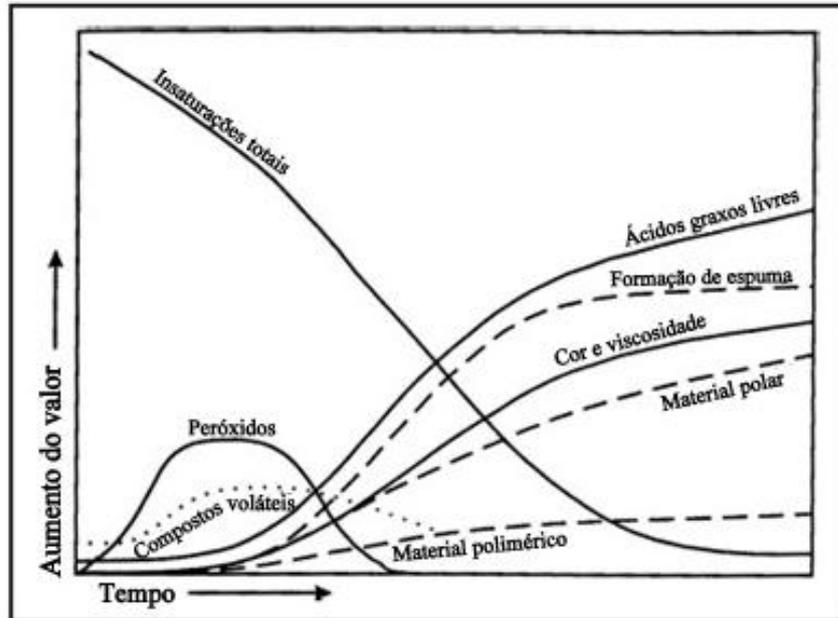


Figura 4 - Mudanças físicas e químicas do óleo durante o processo de fritura.
Fonte: adaptado de CHOE e MIN, 2007.

Através das reações hidrolíticas, que são catalisadas pela ação do calor e da umidade, são produzidos ácidos graxos livres, monoacilglicerol e diacilglicerol, responsáveis pelas mudanças sensoriais e diminuição do ponto de fumaça do óleo ou gordura durante a fritura. As reações de oxidação dão origem a produtos primários, como peróxidos, hidroperóxidos, dienos conjugados, hidróxidos e cetonas, que podem se decompor em fragmentos menores ou continuarem ligados às moléculas dos triacilgliceróis diméricos ou poliméricos dando origem a produtos secundários mais estáveis, como epóxidos e acroleína (composto tóxico volátil responsável por odor desagradável no ambiente) (FREIRE, FILHO e FERREIRA, 2013).

As mudanças nas propriedades organolépticas do óleo no processo de fritura são percebidas imediatamente quando as reações de degradação começam a ocorrer: mudança na coloração, no cheiro, no sabor do alimento que foi frito naquele óleo, formação de fumaça e de espuma e mudança de viscosidade. Isso ajuda os estabelecimentos a determinar o momento de descartar o óleo, mas não é o ideal, uma vez que os produtos formados podem apresentar-se em grandes quantidades nos estágios muito avançados de degradação, sendo extremamente nocivos à saúde (OSAWA, GONÇALVES e MENDES, 2010, CORSINI, 2008).

O desenvolvimento de doenças cardiovasculares, artrite, envelhecimento precoce e até câncer estão associados ao consumo desses compostos tóxicos (MENDONÇA *et al.*, 2008). Testes com animais de laboratório alimentados com óleos ou gorduras, que passaram por um excessivo processo de fritura, evidenciaram que pode haver alterações no metabolismo que resultam na perda de peso, supressão do crescimento, redução do tamanho do fígado e dos

rins, deficiência na absorção de gordura, decréscimo da taxa do processo enzimático de dessaturação dos ácidos graxos linoléico e α -linolênico (essenciais nas dietas dos mamíferos), além do aumento da taxa de colesterol no fígado e redução da fertilidade (CORSINI *et al.*, 2008).

Mendonça *et al.* (2008) analisaram as mudanças nas propriedades físico-químicas de óleos de soja, durante o processo de fritura (com o passar dos dias) de variados alimentos até o seu descarte, em duas unidades de refeição (URs), em Brasília, Distrito Federal (DF), e compilaram os dados de Índice de Acidez (IA) em porcentagem de ácido oléico, Índice de Peróxido (IP) em miliequivalente por quilograma (meq/kg) da amostra e Índice de Iodo (II) em porcentagem de iodo, na Tabela 1 que se segue:

Tabela 1 - Resultados, em média, para Índice de Acidez, Índice de Peróxido e Índice de Iodo das análises físico-químicas realizadas em amostras de óleos de duas URs em Brasília - DF.

Análises	IA (% ácido oléico)		IP (meq/kg da amostra)		II (% de iodo)	
	UR1	UR2	UR1	UR2	UR1	UR2
Dias de reaproveitamento do óleo de fritura						
0	0,14	0,19	3,34	2,67	99,72	108,85
2	0,62	0,30	8,02	4,34	108,25	104,60
4	0,64	0,39	9,69	6,34	104,60	100,49
6	0,69	0,81	5,01	9,01	119,23	123,31
8	0,91	1,03	11,03	7,52	108,85	112,76
10	-	1,20	-	13,54	-	123,96

Fonte: adaptado de MENDONÇA *et al.*, 2008.

Com os resultados obtidos, Mendonça *et al.* (2008) fizeram a comparação desses valores com os valores presentes na Resolução Nº 270/2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005), na qual diz que o índice de acidez deve ser de, no máximo, 0,3% em ácido oléico (ou 0,6 mg_{KOH}/g_{amostra}) e de 10 meq/kg de amostra para o índice de peróxido e, dessa maneira, sugeriram que a reutilização dos óleos fosse feita, por no máximo, quatro dias para a UR1 e seis dias para a UR2 e, após esse período, o óleo fosse descartado devido ao drástico aumento do IA e do IP, prejudiciais à saúde dos consumidores.

Em outro trabalho, Osawa, Gonçalves e Mendes (2010) avaliaram óleos e gorduras de fritura em treze estabelecimentos comerciais na cidade de Campinas, São Paulo (SP), e

encontraram realidades bem diferentes, de um estabelecimento para outro, com relação à diversidade de alimentos fritos em um mesmo óleo/gordura, tempo e temperatura de fritura, filtração ou não (para remoção de resíduos) entre as frituras, além da variação no tempo de reutilização (1 a 10 dias) desses óleos/gorduras. Como explanado anteriormente, todos esses parâmetros influenciam consideravelmente as características físico-químicas finais dos óleos e gorduras residuais, que ficam evidentes na Tabela 2, onde os autores obtiveram dados de Compostos Polares Totais (CPT) e Ácidos Graxos Livres (AGL) das amostras recolhidas em cada estabelecimento.

Tabela 2 - Resultados de CPT e AGL de óleos e gorduras de frituras, oriundos de estabelecimentos comerciais de Campinas/SP.

Estabelecimento	Amostra	CPT (%)	AGL (% ácido oléico)
1	1	9,1 ± 1,6	0,6 ± 0,0
2	2	19,9 ± 1,4	0,3 ± 0,0
3	3	22,2 ± 2,2	0,8 ± 0,0
4	4	10,1 ± 3,6	0,1 ± 0,0
5	5	11,0 ± 1,5	0,3 ± 0,0
6	6	14,1 ± 1,0	1,3 ± 0,0
7	7A	11,2 ± 0,1	0,2 ± 0,0
	*7B	32,0 ± 0,9	4,2 ± 0,0
	8A	35,1 ± 0,7	5,6 ± 0,0
8	8B	30,5 ± 0,2	5,0 ± 0,1
	8C	35,5 ± 2,3	5,7 ± 0,1
9	9A	14,3 ± 0,2	0,6 ± 0,0
	9B	8,9 ± 0,0	0,1 ± 0,0
10	10	14,6 ± 0,3	0,2 ± 0,0
	11A	8,6 ± 0,7	0,3 ± 0,0
	11B	10,3 ± 0,8	1,2 ± 0,0
11	11C	7,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0
	11D	6,7 ± 0,6	0,3 ± 0,0
	*11E	12,6 ± 0,2	2,1 ± 0,0
12	12	21,7 ± 3,2	0,3 ± 0,0
13	13A	17,0 ± 1,3	0,9 ± 0,0
	13B	11,5 ± 0,1	1,4 ± 0,0

*Estabelecimento filtrava o óleo.

Fonte: adaptado de OSAWA, GONÇALVEZ e MENDES, 2010.

Tendo novamente como parâmetro a Resolução N° 270/2005 da ANVISA, que determina que o índice de acidez ou AGL não deve ser superior a 0,3% em ácido oléico e ainda o Informe Técnico N° 11/2004 da ANVISA, que determina que o teor de CPT não deve ultrapassar os 25%, infere-se da tabela 2 que 4 amostras (7B, 8A, 8B e 8C) apresentaram teores acima do permitido para o teor de CPT e 12 amostras (1, 3, 6, 7B, 8A, 8B, 8C, 9A, 11B, 11E, 13A e 13B) estavam com a porcentagem em ácido oléico acima de 0,3 e, portanto, com as condições indicativas para o descarte (ANVISA, 2004; ANVISA, 2005).

Tanto na Figura 1 quanto nos resultados das Tabelas 1 e 2 fica evidente que existem mudanças muito significativas nas características físico-químicas dos óleos e gorduras residuais de fritura. No entanto, destaca-se o rápido aumento do índice de acidez.

Levando em consideração que, após o descarte, esses óleos/gorduras residuais fiquem armazenados em garrafas plásticas (devidamente fechadas) e em temperatura ambiente, esses níveis permanecem os mesmos até o momento em que esse material residual é levado para ser reciclado e, dependendo da finalidade, pode haver ou não a necessidade de um pré-tratamento corretivo específico (SILVA e PUGET, 2010).

2.3 A Reciclagem do Óleo de Fritura Residual

2.3.1 Vantagens e dificuldades do uso de óleos residuais

Em meados da década de 1990, paralelamente ao início da produção de biodiesel em larga escala, surgem outros processos químicos com o objetivo de utilizar óleos e gorduras residuais de fritura em processos de reciclagem. Com isso, houve um impulso para a criação de projetos de coleta seletiva desse material, que além de ser uma matéria-prima de baixo custo, reduz os impactos ambientais causados pelo descarte incorreto e incorpora valores sociais e econômicos às cooperativas e/ou empresas responsáveis pela coleta e transformação desses resíduos (VELOSO *et al.*, 2012).

Apesar dos benefícios, os projetos de recolhimento de óleos e gorduras residuais estão espalhados de maneira muito pontual pelo Brasil e encontram dificuldades para realizar as suas atividades, uma vez que ainda não foram traçadas fortes políticas públicas que incentivem o aproveitamento dessa matéria-prima de maneira concisa (TAVARES, 2015).

Tramita desde 2007 no Congresso Federal, o Projeto de Lei N° 2074/2007, que dispõe sobre a obrigação de empresas como hipermercados, vendedoras ou distribuidoras de óleo de cozinha ou similares e postos de gasolina de fixar estruturas para a coleta de óleo de cozinha

usado e dá outras providências. Nos Estados Unidos da América (EUA), por exemplo, alguns estados, como a Califórnia e a Virgínia, promulgaram leis específicas que regularizam a coleta de óleos e gorduras residuais e na cidade de São Francisco, Califórnia, a própria prefeitura recolhe o óleo usado de restaurantes da cidade para transformá-lo em biodiesel e utilizá-lo nos veículos da frota municipal (TAVARES, 2015; JUNIOR *et al.*, 2009).

2.3.2 Algumas iniciativas de reciclagem de óleo no Brasil e no DF

Mesmo com tantos obstáculos, as iniciativas brasileiras apresentam resultados satisfatórios (TAVARES, 2015). A Organização Não Governamental (ONG) Trevo, localizada no bairro da Mooca, Zona Leste de São Paulo, iniciou suas atividades em 1992 e é uma das pioneiras no seguimento da reciclagem de resíduos oleosos. Recolhe atualmente cerca de 250 toneladas desses resíduos por mês, em mais de 2 mil estabelecimentos parceiros, que depois de tratados são destinados à indústria do biodiesel (ONG TREVO, 2015). Ainda no estado de São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) criou em 2007 o Programa de Reciclagem de Óleo de Fritura da Sabesp (PROL), com o objetivo de fomentar a reciclagem do óleo de fritura e firmar parcerias com diversas entidades, ONGs (inclusive a ONG TREVO) e prefeituras (SABESP, 2015).

No DF foi lançado, no ano de 2007, pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), o Projeto Biguá, que tem como objetivo recolher o óleo de fritura para evitar que ele seja despejado nas redes de esgoto e, assim, minimizar os custos da companhia com a manutenção das mesmas. O projeto coleta o óleo em hotéis, condomínios, restaurantes, bares e da população em geral - em Pontos de Entrega Voluntários nas cidades satélites - e envia a uma cooperativa localizada no Varjão (XXIII Região Administrativa do DF), onde é usado como matéria-prima para a fabricação de sabão. Até 2011, mais de 6.000 litros de óleo residual haviam sido coletados pelo projeto e, ainda, outros 2.400 litros pelas próprias artesãs que trabalham na cooperativa (CIDADANIA, 2011; CAESB, 2007; CORREIO BRAZILIENSE, 2010). Além disso, devido à alta demanda de descarte de óleo, o Projeto Biguá buscou parceria com a Embrapa Agroenergia e financiamento junto à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para a construção de uma planta-piloto para a produção de biodiesel, que está em etapa de pré-operação e cujo biocombustível obtido será utilizado nos veículos da própria Caesb (TAVARES, 2015).

Também no DF, a empresa Ecolimp atua na reciclagem de óleo residual de fritura e tem como parceiros mais de 1.200 estabelecimentos comerciais, em Brasília e no entorno, nos quais são recolhidas mais de 200 toneladas/mês de óleo de fritura, que depois de tratado é vendido às indústrias de biodiesel (ECOLIMPDF, 2015). Uma visita técnica foi realizada junto à empresa com o intuito de captar dados reais acerca do volume de óleo coletado e entender o funcionamento das etapas do processo de reciclagem. Os dados obtidos são apresentados no subitem 2.3.2.1.

2.3.2.1 Visita técnica à empresa Ecolimp DF

Devido à necessidade de dados reais sobre as quantidades de óleos residuais de fritura, que são coletadas atualmente no Distrito Federal, foi realizada uma visita técnica à empresa Ecolimp DF, localizada na Área de Desenvolvimento Econômico (ADE) de Águas Claras, conjunto 6, lote 1, que trabalha do ramo da reciclagem de óleo de fritura usado há mais de 15 anos.

As informações obtidas durante a visita foram fornecidas pelo diretor geral da empresa, Ozanir Gonçalves, no dia 16 de maio de 2015.

A empresa coleta cerca de 220 toneladas por mês de óleo de fritura residual, em estabelecimentos cadastrados (bares, quiosques, restaurantes, *shoppings* e outros) ou através do *disk* coleta e obtém, após a etapa de purificação, um volume de 180 toneladas/mês, totalizando aproximadamente 25% em perdas, ao final do processo, com impurezas e água contidas na matéria-prima inicial.

A coleta é realizada em bombonas de 50 litros que são distribuídas pela Ecolimp aos estabelecimentos e, quando estão cheias, são recolhidas pelos veículos da empresa. Quase todo o óleo residual que é coletado hoje é de origem comercial (98%), visto que, havia muita dificuldade na coleta a domicílio, pois quando chegava o dia da coleta ou o óleo não havia sido armazenado ou perdiam-se os recipientes de menor tamanho que eram entregues nas residências.

As empresas que aderem ao sistema de coleta da Ecolimp recebem 36 unidades de detergente neutro (que não é fabricado com óleo residual) a cada 50 litros de óleo coletado ou R\$ 0,60/litro de óleo de fritura.

O processo de purificação para a retirada dos sólidos e água presentes no óleo de fritura é feito nas seguintes etapas:

- 1) Peneiramento do óleo para a retirada de sólidos grandes antes de ser bombeado e armazenado em tanques;
- 2) O óleo peneirado é aquecido no tanque, através de um sistema criado pela empresa, com o uso de uma serpentina (onde o óleo fica recirculando), que é aquecida pelo ar quente produzido por um queimador de óleo reciclado. O aquecimento é realizado para favorecer a separação da fase aquosa (com sólidos particulados) e fase oleosa;
- 3) Após o aquecimento, o óleo permanece de 15 a 30 dias em tanques de 30.000 litros para a decantação da fase aquosa contendo as partículas sólidas. A separação é realizada retirando-se a mistura pelo fundo do tanque, através da abertura de uma válvula, e despejando-a em cima de uma peneira para retenção dos sólidos e escoamento da água para a rede de esgoto.

O óleo de fritura tratado é comercializado junto às empresas produtoras de biodiesel, como a Binatural e a Granol, ambas no estado de Goiás (GO).

Mesmo sendo pioneira no DF, a empresa ainda enfrenta algumas dificuldades no mercado como a falta de incentivo do governo e a presença de coletores clandestinos, que não têm nenhuma estrutura para receber e tratar os óleos residuais, mas, devido ao interesse pelo lucro obtido com a venda, fazem a coleta de forma irregular.

2.4 Tecnologias para a reutilização dos óleos e gorduras residuais de fritura

Dentre as rotas de reciclagem dos óleos residuais figuram a produção de biodiesel, sabões, detergentes, tintas, óleos para engrenagens e outros (JUNIOR *et al.*, 2009). Aqui será dada maior ênfase para a produção de sabão e tintas.

2.4.1 Reaproveitamento de óleos residuais de fritura para a produção de sabão

2.4.1.1 A história do sabão

O sabão foi certamente a primeira maneira de limpeza empregada pelo homem (ZANIN *et al.*, 2001). Evidências históricas mostram que um material, com características semelhantes às do sabão, foi descrito em cilindros de barro encontrados durante escavações na região da antiga Babilônia, datados de mais ou menos 2800 anos a. C. As inscrições mostram que os habitantes ferviam gordura junto com cinzas, no entanto, não é mencionada qual a finalidade do produto obtido. Já a palavra sabão e o nome do processo de fabricação,

saponificação, teriam surgido com uma antiga lenda romana, na qual diz que no Monte Sapo eram realizados sacrifícios de animais. Quando chovia, a água transportava uma mistura que continha o sebo dos animais, cinzas e barro para as margens do Rio Tibre, onde as mulheres lavavam as roupas, e formava-se uma espécie de borra. Elas teriam notado que usando essa borra, as roupas tornavam-se muito mais limpas (ALBERICI e PONTES, 2004).

No século II da Era Cristã o sabão começa a ser reconhecido como um importante produto de limpeza sendo mencionado pelo médico grego Galeno como um medicamento para a limpeza do corpo. O árabe Jabir ibn Hayyan (chamado de Geber, em Latim) faz menção, repetidas vezes, do sabão como agente de limpeza em seus escritos do século VIII. Durante a Idade Média, as cidades de Marselha, na França, e Gênova e Veneza, na Itália, concentraram a produção de sabão na Europa. Apesar de algumas fábricas terem sido implantadas na Alemanha, o novo produto era pouquíssimo usado e conhecido na Europa Central e quando encomendas eram destinadas a pessoas da nobreza, acompanhavam-nas descrições detalhadas do modo de usar o estranho produto. No final do século XII surgem as primeiras fábricas de sabão na Inglaterra e nos dois séculos seguintes instalam-se pequenas fábricas nos arredores de Londres, das quais os artesãos eram obrigados a pagar um imposto por todo o sabão produzido e que só foi abolido em 1853 (UCHIMURA, 2007).

O elo entre o sabão e o desenvolvimento da sociedade tem um forte caráter e ganhou singular importância no século XIX, o que fez o químico alemão, Justus von Liebig, declarar que o nível de riqueza e civilização de um país estava diretamente relacionado a quantidade de sabão que se utilizava (RODRIGUES, COUTINHO e SILVA, 2010; UCHIMURA, 2007).

Atualmente, por ser um produto tão comum no cotidiano, o sabão parece não ter mais a importância que tivera outrora, entretanto, a indústria saboeira permanece numa posição essencial dentro de uma sociedade, correspondendo a cerca de 25% da demanda dos produtos de limpeza, ficando atrás somente dos detergentes. A produção anual no mundo é constante e proveniente, em grande parte, de pequenas indústrias ou cooperativas artesanais, uma vez que, as técnicas de fabricação são fáceis e acessíveis (RODRIGUES, COUTINHO e SILVA, 2010).

2.4.1.2 A química e os processos de produção do sabão

O sabão é obtido pela reação de saponificação, vista na Figura 5, e consiste na hidrólise dos ésteres dos triacilgliceróis catalisada por uma base dando origem à glicerina e ao

sabão, que é uma mistura dos sais de ácidos graxos (MCMURRY, 2011). Dependendo das condições reacionais, o rendimento em sabão gira em torno de 97% em massa (SILVA e PUGET, 2010).

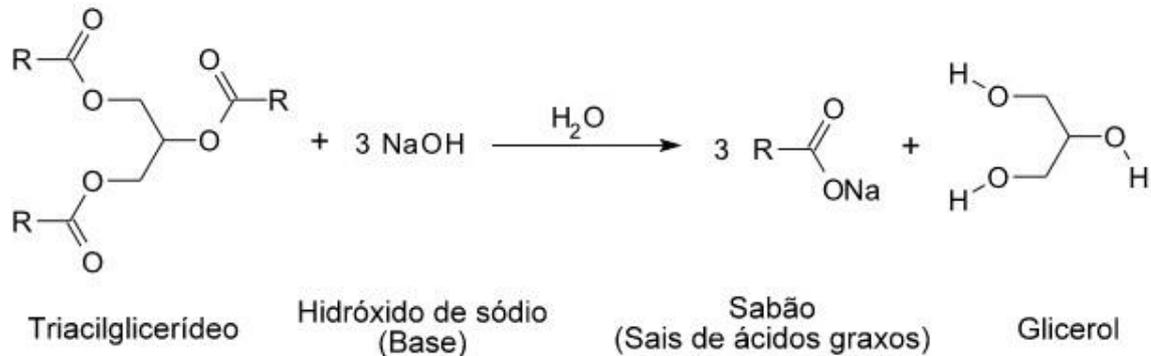


Figura 5 - Formação de sabão a partir da reação de saponificação utilizando-se hidróxido de sódio como base, onde R representa a cadeia carbônica.

Fonte: adaptado de *CURIOUS SOAPMAKER*, 2012.

Uchimura (2007) distribui os sabões em basicamente três categorias: duros, moles e líquidos, que são assim classificados de acordo com as substâncias presentes em sua composição. O Quadro 2 apresenta cada uma das categorias e sua descrição:

Quadro 2 - Tipos de sabões.

Tipos de sabões	Substâncias presentes na composição e características
Duros	Fabricados com soda cáustica - hidróxido de sódio (NaOH) ou carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃); constituem a maior parte dos sabões e podem ser brancos, coloridos ou marmorizados.
Moles	Fabricados com potassa - hidróxido de potássio (KOH) ou carbonato de potássio (K ₂ CO ₃); viscosos e geralmente têm cor verde, castanha ou amarela clara. Podem receber pequenas quantidades (até 5%) de tensoativos orgânicos sintéticos.
Líquidos	Constituem-se numa solução aquosa de sabão que contém pequenas quantidades (em geral, até 5%) de álcool ou glicerol.

Fonte: elaborado pela própria autora com base em UCHIMURA, 2007, p. 3.

De acordo com o *Centre for the Development of Industry* (CDI,1995) existem quatro processos diferentes utilizados para a fabricação de sabões que são: processo a frio, processo de semi-fervura, processo de fervura completa e processo contínuo. Cada um deles está brevemente descrito no Quadro 3.

Quadro 3 - Tipos de processo de fabricação de sabão.

Tipo de processo	Descrição
A frio	Neste processo óleos e/ou gorduras são colocadas em um reator de saponificação e somente a quantidade certa de base é adicionada. A mistura é mantida sob agitação vigorosa por cerca de 2 horas e nesta etapa são adicionados aditivos, corantes e perfumes. É um processo simples e barato, pois não inclui a remoção de glicerina ou impurezas e não requer maquinário sofisticado e, por isso, é adequado para fabricação em pequenas quantidades. No entanto, o sabão produzido apresenta baixa qualidade, pois a saponificação continua acontecendo por muitos dias após o sabão ter sido retirado do reator e armazenado.
Semi-fervura	Diferente do processo a frio, nesse processo a mistura é aquecida até 70-90 °C para acelerar a reação de saponificação. Aditivos, corantes ou essências são adicionados ao final do processo, para que se evite a evaporação destes. Esse processo permite que a quantidade de base seja ajustada antes que o sabão bruto seja retirado e a saponificação seja mais completa. Usado em escala industrial na produção de sabões e sabonetes com uma qualidade melhor que a do processo a frio.
Fervura completa	Esse processo difere do anterior nas suas várias operações de extração de glicerina e lavagem com salmoura (solução de cloreto de sódio), que ocorrem depois da saponificação, ainda no tanque de reação. A mistura é mantida sob vigorosa agitação a uma elevada temperatura (100 °C) e essa condição permite o uso de uma maior variedade de matérias-primas oleosas e gordurosas. Os sabões e também sabonetes produzidos apresentam alta pureza e qualidade.
Contínuo	Aqui se tem a fabricação contínua de sabão puro com a recuperação da glicerina. Geralmente, esse processo é baseado em um sistema de bombas dosadoras que fornecem continuamente ao reator as matérias-primas (óleos, gorduras, base, água e salmoura) nas proporções especificadas e com precisão. A este estágio segue-se a lavagem em contracorrente e a separação do sabão e da glicerina e impurezas por centrifugação. Este processo é totalmente automatizado e utiliza vaporização e reatores apropriados, além disso, o ciclo de produção é rápido (algumas horas), há uma economia de espaço e energia e redução nas perdas. No entanto, requer-se um considerável investimento inicial.

Fonte: elaborado pela própria autora com base em CDI, 1995.

Aqui é dada maior ênfase à descrição detalhada das etapas do processo de semi-fervura (processo em batelada), pois de acordo com Motta (2007) é um processo econômico e simples que requer baixos investimentos iniciais e técnicas de processamento não muito sofisticadas. O processo de semi-fervura é empregado para o dimensionamento do sistema de produção de sabões no Capítulo 4.

No processo de semi-fervura, o óleo e/ou a gordura, o NaOH diluído em água (lixívia de soda) são colocados na caldeira de reação, sob agitação constante, por um período de cerca de 30 minutos e temperaturas entre 70 e 90 °C, utilizando uma serpentina a vapor para acelerar e completar a reação de saponificação. Os aditivos, as essências e os corantes são incorporados à massa saponácea apenas ao término do processo para que não haja perdas por evaporação. No decorrer da reação, é possível que a quantidade de base seja ajustada para aumentar o rendimento, em massa, do sabão. Esse processo ainda permite reciclar os resíduos de fabricação, incorporar melhor os aditivos e utilizar uma gama maior de matérias-primas. De um modo geral, o grau de saponificação é bastante alto e o tempo de endurecimento do sabão bruto, em fôrmas de arrefecimento, é reduzido (CDI, 1995).

Uma desvantagem do processo é que a glicerina não é extraída do sabão e fica incorporada ao produto, dando origem a sabões glicerizados e com uma pureza menor, se comparados aos sabões fabricados através da fervura completa. No entanto, as vantagens de se ter ciclos mais curtos de produção combinados com custos produtivos menores, tornam o processo de semi-fervura um processo flexível que pode sofrer modificações para atender aos objetivos dos fabricantes. Além disso, não há descarte de qualquer efluente para o meio ambiente (CDI, 1995; NETO e PINO, 2008; MOTTA, 2007). A Figura 6 mostra um fluxograma simplificado da produção de sabão, através do processo de semi-fervura.

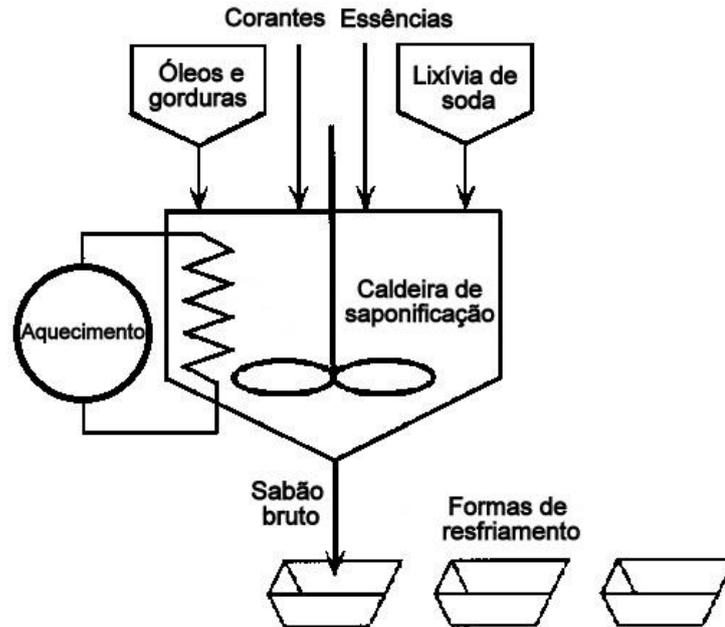


Figura 6 - Fluxograma da produção de sabão pelo processo de semi-fervura.
Fonte: adaptado de CDI, 1995.

2.4.1.3 Sabão de óleo de fritura residual: do pré-tratamento do óleo às características finais do produto

A reação de saponificação também se aplica à produção de sabões feitos a partir de resíduos oleosos, no entanto, os óleos e as gorduras residuais contêm partículas e pedaços de alimentos e precisam passar por um pré-tratamento (filtração simples, por exemplo) para retirada desses sólidos, antes de serem transformados em sabões. Na literatura, foram encontradas algumas opções de pré-tratamento, dentre elas Silva e Puget (2010) realizaram o beneficiamento do resíduo oleoso usando procedimentos aplicados ao tratamento de efluentes, a fim de remover as partículas em suspensão e os sedimentos oriundos da decomposição térmica dos alimentos e do próprio óleo, e retirar compostos que conferem cor e odor ao resíduo. O óleo foi aquecido a 60 °C e filtrado a vácuo e depois desodorizado com carvão ativado sob agitação constante a uma temperatura de 110 °C. Em outro trabalho, Silva, M. *et al.* (2012) efetuaram somente a filtração dos óleos residuais e utilizaram para isso um tecido tipo *gaze* para a retirada do material particulado. Já Filho *et al.* (2013), além de realizarem a etapa de filtração (cujo tipo não foi informado pelos autores), acondicionaram o óleo por um período de 10 dias, em bombonas de 300 litros, com o objetivo de realizar a decantação de água e partículas e deixar a fase oleosa mais livre de impurezas.

Depois da fabricação do sabão é comum que ele que fique armazenado por um período, antes de ser comercializado, chamado tempo de “cura”, uma vez que a reação de

saponificação ainda continua ocorrendo devido à presença de ácidos graxos livres e base que não tenham reagido. Este é um fator determinante para que, ao final do período, o potencial hidrogeniônico (pH) do sabão fique adequado à finalidade a que é proposto. (SILVA e PUGET, 2010; SABÃO GLICERINA, 2006). Se, por exemplo, for utilizado para a higienização da pele deve estar entre 6,5 e 8,5. Para a limpeza de roupas indica-se um pH próximo a 10,0. Para a higienização de roupas ou tecidos contaminados por sangue, pus, dentre outros fluidos corporais, o pH pode atingir 11,5 até 12,0 (UCHIMURA, 2007).

Silva, M. *et al.* (2012) empregaram três metodologias, com variação dos reagentes utilizados, para obtenção de sabões a partir de óleo comestível residual, que estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Metodologias para a produção de sabão de óleo residual de fritura.

Metodologia 1	Metodologia 2	Metodologia 3
- 1000 ml de óleo residual; - 400 ml de solução de NaOH 50% (m/v); - 40 ml de amaciante de roupas; - 8 ml de óleo essencial.	- 1000 ml de óleo residual; - 500 ml de solução de NaOH 50% (m/v); - 12,5 g de sabão em pó.	- 1000 ml de óleo residual; - 500 ml de solução de NaOH 50% (m/v); - 250 ml de solução de lauril sulfato de sódio 20% (m/v).

Fonte: elaborado pela própria autora com base em SILVA, M. *et al.*, 2012.

Em todas as metodologias, as reações foram conduzidas sob agitação manual constante, por 20 minutos e a uma temperatura de 60 °C (processo de semi-fervura). Os produtos obtidos tiveram o pH medido e, em seguida, foram transferidos para fôrmas plásticas e desenformados após 24 horas, permanecendo armazenados à temperatura ambiente por 15 dias (tempo de cura). Após esse período houve nova medição de pH e os valores são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Medidas de pH dos sabões logo após o processamento e ao final de 15 dias.

Produto	pH inicial	pH após 15 dias
Metodologia 1	14	12
Metodologia 2	14	11
Metodologia 3	14	12

Fonte: SILVA, M. *et al.*, 2012.

Os resultados obtidos confirmam que a reação de saponificação, ainda que tenha um alto rendimento no processo de semi-fervura, continua ocorrendo ao longo dos dias fazendo com que haja uma diminuição da quantidade de álcalis livres através da reação destes com moléculas de ácidos graxos livres. Com esses valores de pH, os sabões poderiam ser utilizados para a lavagem de roupas contaminadas com fluidos biológicos, de acordo com Uchimura (2007).

Silva, J. *et al.* (2009), após tratar o óleo residual proveniente de fritura de batatas com uma etapa de lavagem (para a eliminação do sal utilizado como tempero das batatas) e uma etapa de filtração, para eliminação dos fragmentos sólidos, produziram um tipo de sabão com 98% de rendimento em massa, pelo processo de semi-fervura e, a partir de algumas análises físico-químicas, encontraram valores de 0,05%, 34% e 10,86 para álcalis livres em NaOH, materiais voláteis e pH, respectivamente, sendo, portanto adequado para o uso doméstico, de acordo com Uchimura (2007).

A Resolução Nº 40/2008 da ANVISA, traz apenas um parâmetro sobre os produtos incluídos na categoria de sabões, para os quais a alcalinidade livre máxima expressa em Na₂O não deve ser superior a 1% (p/p), para que os sabões possam ser comercializados. Os limites de pH são definidos apenas para detergentes onde é indicado que formulações cujo pH esteja compreendido entre 5,0 e 5,5 e também entre 9,5 e 10,0 devem apresentar estudos dermatológicos que certifiquem a segurança de tais produtos, nas circunstâncias de uso propostas (ANVISA, 2008).

2.4.1.4 Estudos sobre a viabilidade econômica da utilização de óleos e gorduras residuais para a produção de sabão

Ribas e Leonarda (2008) elaboraram um estudo de viabilidade mercadológico, econômico e financeiro para a implantação de uma fábrica de sabão ecológico feito com óleo de cozinha usado, no formato de Economia Solidária, visando à geração de trabalho e renda e a preservação ambiental. Para reduzir os custos de produção do sabão em barra, os autores optaram pelo processo de produção a frio, sendo parte das operações efetuadas com equipamentos elétricos e o restante do serviço feito manualmente. Dentro da análise de investimento, os autores, a partir das informações da *Euromonitor International* (empresa internacional de pesquisa de mercado), consideraram que o mercado de sabão cresceria 9,2% de 2008 a 2010, a uma taxa média anual de 1,8%, sendo previsto um crescimento anual de

2,98%. Foi ainda considerada uma previsão de vendas para 10 anos. O prazo para o retorno de investimento (anos), assim como o ponto de equilíbrio, rentabilidade e lucratividade são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de projeções financeiras.

1. Lucratividade (%)	854,77
2. Rentabilidade (%)	38,63
3. Prazo do retorno de investimento (anos)	2,59
4. Ponto de equilíbrio (R\$)	62.752, 24

Fonte: RIBAS e LEONARDA, 2008.

Dentro da pesquisa também foi estabelecido que 30% do valor total do investimento seria financiado, no caso R\$ 17.956, 33, para o pagamento em 36 meses a uma taxa de 0,9% ao mês. Para a aceitação do referido empreendimento, foi determinada uma taxa de atratividade de 18%. Dentro das projeções financeiras realizadas, os indicadores de viabilidade econômica, *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM), alcançaram resultados favoráveis, de acordo com os autores, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Valores dos indicadores de viabilidade econômica para o projeto.

<i>Payback</i> (anos)	1,64
VPL (R\$)	149.609, 03
TIR (%)	67,21
TIRM (%)	24,73
Taxa Requerida de Retorno (TRR) (%)	18

Fonte: RIBAS e LEONARDA, 2008.

Os autores concluíram que há viabilidade econômica no empreendimento, uma vez que o VPL é 2,5 vezes superior ao montante investido, a TIR de 67,21% é 3,7 vezes superior à TRR e que a TIRM (que considera uma taxa de reinvestimento mais realista que na TIR) também é superior à TRR.

Silva e Puget (2010) produziram sabões a partir de óleos e gorduras residuais de uma empresa do ramo alimentício, no norte do Espírito Santo (ES). Foram avaliadas cinco diferentes metodologias, nas quais houve variação de reagentes e aditivos, e suas respectivas

quantidades, tempo e temperatura das reações, com o intuito de aprimorá-las e obter um produto de boa qualidade e com o menor custo possível. Ao final dos estudos, e somente com a análise de custos de obtenção dos reagentes, os autores conseguiram fabricar um sabão de sódio glicerinado de consistência firme e de grande eficiência na limpeza, com um custo médio de R\$ 0,06 para barras de aproximadamente 60 g.

Rodrigues, Coutinho e Silva (2010) testaram a viabilidade da reciclagem do óleo residual de um restaurante industrial para a fabricação de sabão e utilização no próprio estabelecimento. Foram testadas seis diferentes formulações (nas quais houve variação de aditivos), obtendo-se como melhor resultado um sabão líquido de alto rendimento e baixo custo. A avaliação de custos indicou que o valor final de produção ficou em torno de R\$ 0,21 por litro, diminuindo em 90% os custos com a compra de sabão pelo restaurante, cujo preço, em média, era de R\$ 1,54 por litro. Com isso, foi implantado um programa de reaproveitamento do óleo para a manufatura de sabões no próprio estabelecimento, uma vez que o restaurante despejava o resíduo diretamente nas pias e, dessa forma, o problema do descarte inadequado do óleo residual foi solucionado.

Os autores esclareceram ainda, que a responsabilidade pela produção do sabão permaneceu a cargo de um profissional capacitado e com experiência para atuar na área. No entanto, nessa proposta de reaproveitamento foram avaliados somente os custos envolvidos com a compra dos reagentes para a produção de sabão, sem menção aos custos com mão de obra e/ou maquinário.

2.4.2 Reaproveitamento de óleos residuais de fritura para a produção de resinas poliméricas usadas em tintas

2.4.2.1 A história das tintas

Tintas são utilizadas pela humanidade há mais de 30.000 anos. A princípio o homem fez uso de óxidos e hidróxidos metálicos para retratar, nas paredes de cavernas ou em superfícies rochosas, cenas de seu cotidiano como a pesca, caça, guerras, coleta de frutos, animais e outras situações, conhecidas hoje como pintura rupestre (MELLO e SUAREZ, 2012).

Os egípcios e chineses foram os povos da antiguidade que mais contribuíram para o desenvolvimento das tintas: ambos utilizaram abundantemente esse material em pinturas

decorativas de palácios, templos e tumbas. Descobriram ainda que a calcinação de minerais (sílica, óxidos de cobre, sais de cálcio e de bário, hematita, calcita) fazia-nos mudar de cor, elaborando, dessa forma, os primeiros pigmentos sintéticos. Esses povos usavam também resinas de árvores, cera de abelha, gema ou clara de ovos, como veículo (componente no qual os pigmentos se dispersam e que é responsável pela formação da película de tinta) (MELLO e SUAREZ, 2012; A TAL PINTURA, 2011).

Gregos e romanos empregavam como veículo uma espécie de argamassa feita de óxido de cálcio (cal), areia e água, à qual se misturava os pigmentos e esse produto era aplicado sobre paredes, colunas, estátuas e outros monumentos, quando a água evaporava obtinha-se uma camada dura que conservava a coloração. Essa técnica ficou conhecida como afresco (MELLO e SUAREZ, 2012).

Na Europa, durante a Renascença (fins do século XIV e início do século XVII), houve uma inovação no campo das artes: o uso de óleos vegetais na elaboração de tintas e vernizes dá origem à chamada “tinta a óleo”. Historicamente, a ideia é atribuída aos irmãos Hubert van Eyck (1366-1426) e Jan van Eyck (1390-1441), porque propagaram a técnica. A tinta a óleo foi um marco para as artes no período renascentista, pois o óleo, como veículo, propiciava às tintas uma ótima estabilidade química frente à umidade e outras intempéries e, dessa forma, a qualidade das pinturas foi melhorada (MELLO e SUAREZ, 2012).

Já no século XX, o mercado de tintas é impulsionado pela indústria petroquímica com a fabricação de resinas e solventes a base de petróleo. Essas resinas possuíam características superiores àquelas produzidas a partir de biomassa (maior resistência a umidade e a produtos alcalinos, menor tempo de secagem e maior dureza) e rapidamente se difundiram. Dessa forma, inicia-se a fabricação de tintas contendo em sua composição resinas epóxi, alquídicas, acrílicas, vinílicas, nitrocelulósicas, poliuretanas, dentre outras (MELLO e SUAREZ, 2012; CANAUD, 2007).

Além de serem usadas nas expressões artísticas, as tintas servem para recobrir as superfícies de materiais protegendo-os da ação do tempo, dando resistência e favorecendo o acabamento (MELLO e SUAREZ, 2012; DONADIO, 2011). Na atualidade, a indústria de tintas dedica-se, majoritariamente, a produzir seus produtos para essa finalidade, tais como tintas, vernizes, esmaltes e lacas (MELLO e SUAREZ, 2012; CANAUD, 2007).

2.4.2.2 Alguns tipos de resinas para tintas e suas características

As resinas (também chamadas *binders*) são polímeros (macromoléculas com elevado peso molecular médio, variando de 10^3 a 10^6 g/mol) e constituem a fase contínua das tintas sendo responsáveis pela formação do filme que se adere à superfície e pela aglutinação dos demais componentes (pigmentos, corante, solventes e aditivos), além disso, conferem à maior parte das propriedades químicas e físicas da película formada, como secagem, durabilidade, aplicabilidade, resistência química, resistência a abrasão e riscos, flexibilidade e dureza. (BRANDAU, 1990 *apud* VERONA, 2004; DONADIO, 2011).

As propriedades físicas e químicas dos diversos tipos de resinas são muito variadas, pois são um reflexo direto das diversas propriedades dos polímeros. As resinas, bem como os polímeros, são nomeadas de acordo com o tipo de ligação e/ou grupo funcional presente, que por sua vez, vão designar as tintas nas quais um dos tipos de resina é o veículo. Dessa forma, têm-se as resinas e as tintas alquídicas, acrílicas, vinílicas e epóxi, por exemplo. É a natureza do grupo funcional que rege o sistema de reticulação e, conseqüentemente, as propriedades do produto final (HARE, 1994 *apud* VERONA, 2004).

Existe ainda a divisão das resinas em duas grandes classes: termoplásticas e termofixas. Tintas que têm como veículo resinas termoplásticas, mesmo após a secagem e o tempo de cura, podem ser redissolvidas nos solventes que foram utilizados em sua formulação e o filme formado sofre um amolecimento quando aquecido, já as resinas termofixas produzem películas menos sensíveis a redissolução e menores graus de amolecimento quando expostas a uma fonte de calor (DONADIO, 2011).

Dependendo da finalidade, e conhecendo-se bem as propriedades das resinas, poderá haver misturas entre uma resina termoplástica e outra resina, para que, através de uma reação química entre ambas, seja gerado um filme termofixo. Neste caso, a segunda resina é chamada de agente reticulante ou de cura (DONADIO, 2011).

Para filmes termoplásticos, apenas a evaporação do solvente é necessária para a secagem, para os termofixos, além da volatilização, ocorre uma reação de reticulação, que tem como consequência o aumento do peso molecular do material polimérico final e explica a maior resistência do filme aos solventes e às temperaturas altas (DONADIO, 2011). O Quadro 5 apresenta as diferenças nas características de resinas termoplásticas e termofixas.

Quadro 5 - Propriedades das resinas termoplásticas e termofixas.

Termoplásticas	Propriedades	Termofixas
-	Brilho	+
-	Teor de Sólidos	+
-	Dureza	+
-	Resistência a solventes	+
-	Resistência ao calor	+
+	Aplicabilidade	-
+	Custo dos solventes	-
+	Custo por m ²	-
+	Velocidade de secagem	-

Legenda: (+) superior, (-) inferior

Fonte: SILVA, José, 2013.

Dentre as principais resinas termoplásticas estão as nitrocelulósicas, as acrílicas e as vinílicas e, de um modo geral, as tintas obtidas a partir dessas resinas são denominadas “lacas”. No caso das resinas termofixas, as de maior aplicabilidade são: as epóxi, as poliuretanas e as alquídicas (DONADIO, 2011).

As resinas alquídicas, por exemplo, têm grande domínio na indústria de tintas à base de solvente e são usadas na produção de tintas industriais, automotivas, de móveis e para impressão. Essas resinas podem ser classificadas em curtas, quando a proporção de óleo chega até 45%, médias, de 45 a 55% e longas, acima de 55% (INTERBRASIL S.A., 2014; FAZENDA, 1993).

Tratando-se de resinas para tintas do setor gráfico, o catálogo da empresa Reichhold (2011) traz informações sobre as resinas poliméricas disponíveis, para auxiliar os clientes na escolha do produto dependendo da aplicação gráfica. A Tabela 6 apresenta algumas das propriedades físico-químicas das principais resinas para fabricação de tintas utilizadas em sistemas de impressão *offset* (esse tipo de sistema será discutido mais à frente).

Tabela 6 - Propriedades físico-químicas de resinas comerciais para aplicação em tintas para sistemas *offset*.

Tipos de resinas	Alquídica longa em óleo		Éster de breu fenólica		Verniz
Produtos	BECKOSOL®	BECKOSOL®	RESAFEN®	RESAFEN®	RESAFEN®
	15-252	15-265	17-622	17-644	17-903
Características	Excelente	Bom poder	Excelente	Excelente	Excelente

	poder umectante Excelente brilho e secagem 100% Não- Voláteis (NV) - óleo de linhaça/ soja	umectante Boa retenção de cor 100% NV - óleo de soja	equilíbrio na absorção de água Secagem rápida	resistência à abrasão Elevado peso molecular	brilho Elevada fluidez da tinta Secagem rápida
Viscosidade Gardner	-	Z4 - Z5	X - Z3 (50% Toluol)	-	Z8+ - Z9
Viscosidade Brookfield (cP)/ Laray (P)	100.000 – 200.000 cP	9.000 – 15.000 cP	-	50 - 500 P	400 - 600 P
Índice de Acidez (mg KOH/g)	12 máx.	13 máx.	25 – 35	25 máx.	20 máx.
Ponto de fusão (°C)	-	-	145 mín.	145 –165	-

Fonte: adaptado de REICHHOLD, 2011

2.4.2.3 Principais resinas poliméricas de óleo residual de fritura: resinas alquídicas e resinas de polimerização termocatalítica

O óleo residual de fritura começa a ganhar visibilidade para a produção de resinas poliméricas que podem ser incorporadas às tintas como veículo. A literatura indica principalmente a produção de resinas alquídicas e resinas obtidas através da polimerização térmica dos óleos residuais com o uso de um complexo metálico como catalisador.

a) Resinas alquídicas

Libio (2008) sintetizou uma resina alquídica modificada (poliéster modificado pela adição de óleos e/ou ácidos graxos) com óleo de fritura usado. Nessa síntese são necessárias duas etapas para obtenção do produto final: uma etapa de transesterificação usando um poliálcool funcional, como o glicerol (chamada glicerólise ou alcoólise), e uma etapa de acidólise. A primeira etapa é conduzida via catálise básica com octanoato de lítio, a temperatura de 230 a 250 °C, sob agitação em atmosfera inerte. Após o término da reação

tem-se como produto uma mistura de glicerol não reagido, mono, di e triacilgliceróis, visto que quanto maior a quantidade de monoacilglicerol formado na primeira etapa, melhores são as características finais da resina, como secagem e resistência química. Na segunda etapa, o produto obtido anteriormente é misturado com um poliácido numa temperatura entre 180 e 250 °C, formando-se, através da poliesterificação, a resina alquídica e água, que ao ser eliminada desloca o equilíbrio químico para a formação de mais resina (LIBIO, 2008; INTERBRASIL S.A., 2014). A Figura 7 mostra, genericamente, as duas etapas necessárias à obtenção da resina alquídica.

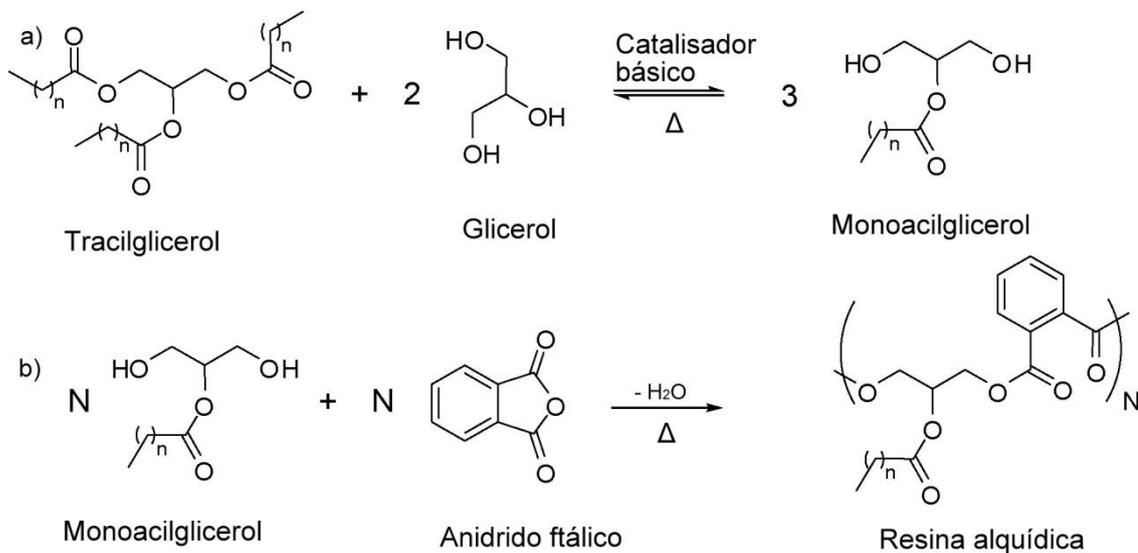


Figura 7 - a) Etapa de transesterificação do óleo residual de fritura com o glicerol. b) Etapa de acidólise e formação da resina alquídica, através de poliesterificação. Sendo n a quantidade de carbonos na cadeia.

Fonte: adaptado de MENEGHETTI e MENEGHETTI, 2015.

A reação de acidólise finaliza-se quando são alcançados os padrões pré-determinados de acidez e viscosidade para o sistema. Geralmente resinas alquídicas têm massa molar (peso molecular) que varia de 2.000 a 8.000 g/mol e são classificadas como resinas de baixo peso molecular (LIBIO, 2008; HOFLAND, 1992; LAMBOURN e STRIVENS, 1999).

De acordo com Libio (2008), o pré-tratamento do óleo residual foi feito utilizando-se terras clarificantes ativadas (um adsorvente preparado com silicatos de alumínio por aquecimento com ácido clorídrico (HCl) ou ácido sulfúrico (H₂SO₄) que retira todo o cálcio, magnésio e parte do ferro e do alumínio), a fim de realizar o branqueamento desse resíduo. A mistura formada, chamada torta, passava posteriormente por um filtro prensa, do qual se obtinha o óleo tratado utilizado na reação.

Santana, Oliveira e Fernandes (2011) também sintetizaram resinas alquídicas empregando óleo de fritura residual, por meio da glicerólise e da acidólise, e obtiveram um produto com características físico-químicas muito semelhantes às de uma resina padrão feita com óleo de soja virgem, como mostrado na Tabela 7. Os autores realizaram apenas uma filtração simples para a retirada dos materiais particulados de maior tamanho, oriundos da degradação dos alimentos.

Tabela 7 - Comparação das características físico-químicas entre a resina alquídica obtida com óleo de soja residual e uma resina alquídica padrão de óleo de soja novo.

Características físico-químicas	Resina alquídica de óleo de soja	Resina alquídica de óleo de soja
	novo	residual
Viscosidade Gardner ¹ (expressa por uma letra)	V-X	V
Peso específico (g/cm ³)	1,00 ± 0,02	1,000 ± 0,005
Índice de acidez (mg _{KOH} /g)	12 ± 3	13,97
% Não-voláteis	55 ± 2	57

Fonte: elaborado pela própria autora com base em SANTANA, OLIVEIRA e FERNANDES, 2011.

Além disso, é ressaltado que o óleo de soja que é destinado à indústria de tintas precisa ser aquecido antes da fabricação da resina, para que o produto final tenha a sua secagem melhorada, ao passo que, o óleo residual já foi aquecido e, com isso, a sua utilização tornaria mais barato o processo de produção dessas resinas. (SANTANA, OLIVERA e FERNANDES, 2011).

A empresa Maxvinil Tintas e Vernizes S/A, com sede em Cuiabá, Mato Grosso (MT), reutiliza por mês, cerca de 10.000 litros de óleo de fritura usado na fabricação de resinas alquídicas, que posteriormente são transformadas em tintas sintéticas (MAXVINIL, 2014).

b) Resinas de polimerização termocatalítica

Outro tipo de resina polimérica foi sintetizado por Montenegro *et al.* (2013), através da reação entre óleos residuais, pré-tratados por filtração simples, e o catalisador acetato de níquel (2), a uma temperatura de 315 °C, sob agitação constante e fluxo de gás nitrogênio (N₂)

¹ Viscosidade Gardner: consiste na determinação da velocidade relativa de deslocamento de uma bolha de ar através de um líquido, comparada a padrões. Ela é expressa por uma letra referente ao padrão de viscosidade da amostra (HARTMANN, 2011).

(gás inerte usado para fazer o arraste de oxigênio e compostos voláteis, a fim de evitar que o óleo inflamasse). Foram realizadas duas reações utilizando 650 g de óleo residual e 0,1% de catalisador, com tempos de 10 e 8,5 h e velocidades de agitação de 120 e 200 rpm, para a primeira e segunda reação, respectivamente. O fluxo de N_2 foi de 1 L/min, para as 5 h iniciais da primeira reação e posteriormente foi aumentando para 9 L/min. A segunda reação seguiu do início ao fim com um fluxo de N_2 de 9 L/min. A Figura 8 ilustra o sistema reacional utilizado, composto por um balão de cinco bocas, uma manta de aquecimento, um condensador de refluxo, um agitador mecânico e atmosfera de nitrogênio, como dito anteriormente.

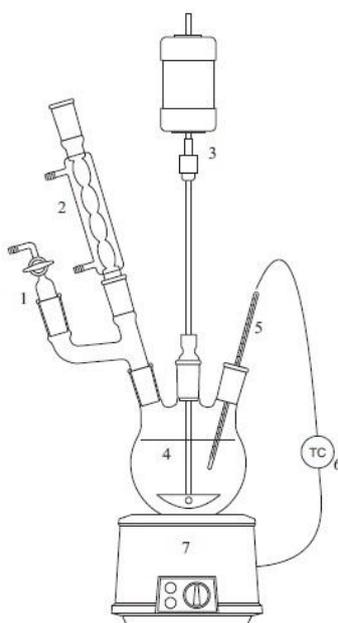


Figura 8 - Sistema de polimerização térmica: (1) fluxo de nitrogênio; (2) condensador de refluxo; (3) agitador mecânico; (4) reator; (5) termopar; (6) controlador de temperatura e (7) manta de aquecimento.

Fonte: MELLO *et al.*, 2013.

Ao evitar-se o acesso de oxigênio durante a reação, obtém-se um polímero de alta viscosidade, cuja química envolvida na sua formação é complexa e depende da temperatura de reação. Nos óleos onde estão presentes grandes quantidades de duas ligações duplas, a primeira etapa da reação de polimerização inicia-se por volta de 220 °C, no momento em que ocorre a isomerização e conjugação das ligações duplas, com a formação do isômero de menor energia sendo favorecida (os complexos formados por metais de transição, como o acetato de níquel (2), possuem considerável atividade para processos de isomerização de duplas ligações). Quando a temperatura é elevada para 300 °C ocorre uma segunda etapa, na

qual reações do tipo Diels-Alder formam um cicloexeno tretassubstituído, através da reação entre um dieno *trans-trans* (espécie com duas ligações duplas conjugadas com isomeria *trans*) e uma ligação dupla que age como dienófilo (espécie com dois elétrons π disponíveis para a reação de cicloadição) (MARTINS, MELLO e SUAREZ, 2013; BROCKSON *et al.*, 2010; MELLO, 2011). As duas etapas envolvidas podem ser vista na Figura 9.

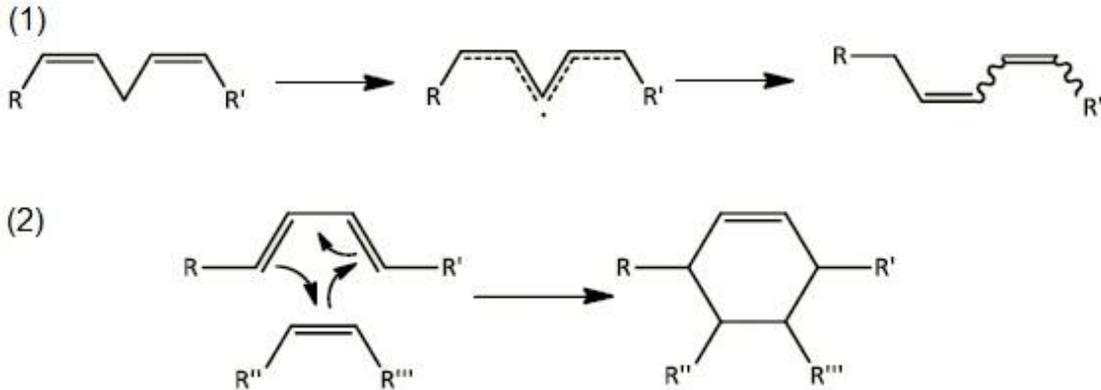


Figura 9 - Etapas envolvidas na polimerização térmica de óleos poli-insaturados em atmosfera inerte: (1) isomerização e conjugação de ligações duplas; (2) reação do tipo Diels-Alder entre um dieno e um dienófilo para a formação de um cicloexeno.

Fonte: adaptado de MARTINS, MELLO e SUAREZ, 2013.

Além das reações de polimerização é comum que ocorram, simultaneamente, reações de craqueamento dos triacilglicerídeos, no entanto, as taxas de ocorrência de ambas variam de acordo com a temperatura utilizada. Com isso, o aumento da viscosidade do polímero dá-se de duas maneiras: a primeira e mais importante deve-se ao aumento do tamanho e do grau de reticulação (*crosslink*) das cadeias carbônicas, através das reações de Diels-Alder com maiores tempos reacionais. A segunda acontece através da remoção dos voláteis gerados nos processos de craqueamento, nos quais são geradas moléculas orgânicas leves (como pentadecano, hexadecenal, heptadecano, ácido esteárico e outros) que podem ser facilmente arrastadas com o auxílio do fluxo de gás (MONTENEGRO, *et al.*, 2013; MELLO, 2013).

Para o favorecimento das reações de polimerização é de grande importância que os óleos utilizados tenham um alto grau de insaturações em suas cadeias, pois proporcionam maior reatividade e diminuem o tempo para a obtenção da resina final com a viscosidade que se deseja (MARTINS, MELLO e SUAREZ, 2013).

As resinas obtidas por Montenegro *et al.* (2013), através das reações de polimerização dos óleos residuais de fritura, alcançaram um rendimento médio de 64% em massa e apresentaram coloração branca com aspecto de parafina, conforme ilustrado na Figura 10.

Além das resinas, foram obtidos hidrocarbonetos e compostos orgânicos oxigenados (produtos de craqueamento), que foram coletados através de um condensador. Observou-se também a presença de água no condensado polimérico, que pode ser gerada pelo craqueamento secundário de ácidos graxos.



Figura 10 - Resina polimérica obtida a partir dos óleos residuais de fritura.
Fonte: MONTENEGRO *et al.*, 2013.

As análises físico-químicas das resinas poliméricas sintetizadas e da blenda preparada com as resinas, em proporção 1:1 (m/m), comparadas ao óleo residual de partida, mostraram que houve um grande aumento da viscosidade, evidenciando a polimerização. A acidez também foi elevada consideravelmente, em consequência dos processos de quebra dos triacilgliceróis e formação de ácidos graxos livres e outros compostos oxigenados. O resultado das análises é exposto na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados físico-químicos do óleo de fritura e das resinas obtidas.

	Óleo de fritura residual	Resina polimérica 1	Resina Polimérica 2	Blenda 1:1 (m/m)
Índice de Acidez (mg KOH/ g)	2,0	35,8	13,6	25,4
Viscosidade cinemática ² (cSt)	60,3	1.495,6	4.012,0	2.415,0

Fonte: adaptado de MONTENEGRO *et al.* 2013.

² A viscosidade cinemática foi medida em um viscosímetro de Ubbelohde em um banho termoestatizado à temperatura constante de 40 °C, seguindo a norma da *American Society for Testing and Materials*, D445 (ASTM, 1964).

É importante ressaltar que a resina polimérica 2, mesmo com um tempo reacional reduzido para 8,5 h, apresentou-se menos ácida e com uma viscosidade maior do que a resina polimérica 1. Esse resultado pode ser fruto da maior velocidade de agitação do sistema, associada ao constante arraste de materiais voláteis pelo gás N₂ (MONTENEGRO *et al.*, 2013; MELLO, 2011).

Mello, Oliveira e Suarez (2013) analisaram a influência de diferentes complexos de íons metálicos divalentes, com fórmula geral M(Carboxilato)₂ (onde M = Ni²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, Co²⁺ e Sn²⁺), na polimerização de óleo de fritura residual e foi observado que o crescimento da atividade catalítica e, o consequente aumento da viscosidade e da acidez, seguiu a ordem Sn²⁺ < Co²⁺ < Cu²⁺ < Fe²⁺ < Ni²⁺, como pode ser visto na Figura 11 e na Tabela 9. As reações foram realizadas em atmosfera de N₂, a uma temperatura de 300 °C por 3 h e sob agitação mecânica.

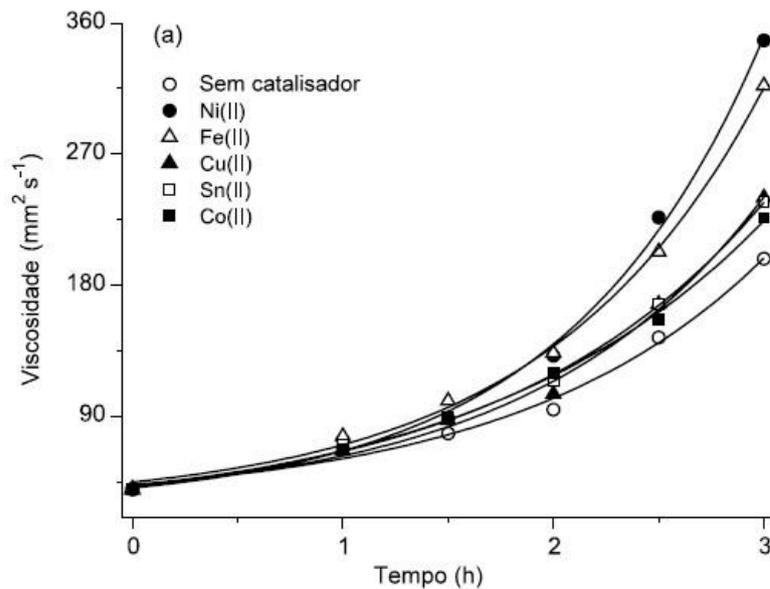


Figura 11 - Análise da viscosidade cinemática durante a polimerização térmica de óleo residual de fritura usando diferentes catalisadores.

Fonte: adaptado de MELLO, OLIVEIRA e SUAREZ, 2013.

Tabela 9 - Valores de viscosidade cinemática e índice de acidez das resinas poliméricas obtidas usando óleo residual de fritura e diferentes catalisadores.

Catalisadores	Viscosidade cinemática ³ final (mm ² s ⁻¹)	Índice de Acidez final (mg KOH g ⁻¹)
-	198	14,5
Ni(II)	348	25,3
Fe(II)	317	24,2
Cu(II)	240	20,3
Co(II)	236	18,2
Sn(II)	226	17,4

Fonte: adaptado de MELLO, OLIVEIRA e Suarez, 2013.

Segundo os autores, os resultados obtidos demonstram que os íons que apresentaram as melhores performances, tais como Ni e Fe, são aqueles que têm melhor atividade nas reações Diels-Alder.

Tanto as resinas obtidas por Montenegro *et al.* (2013) quanto aquelas obtidas por Mello, Oliveira e Suarez (2013) serviram como veículo para a incorporação de pigmentos e preparação de tintas de impressão para sistemas *offset*. No primeiro trabalho foram adicionados às resinas, pigmentos de variadas cores juntamente com carbonato de cálcio, CaCO₃ (componente chamado carga, que é responsável por regular a textura da tinta). No segundo trabalho, apenas dois pigmentos foram utilizados e não houve a adição de carga. Na Figura 12-(a) podem ser observadas as variadas colorações das tintas obtidas por Montenegro *et al.* (2013) e na Figura 12-(b) é mostrada uma impressão com as tintas obtidas na segunda pesquisa.

³ Determinada de acordo com o método ASTM D445.



Figura 12 - (a) Tintas confeccionadas a partir da mistura de diferentes pigmentos com resinas poliméricas de óleo de fritura usado; (b) teste de impressão com tintas de óleo de fritura.
 Fonte: adaptado de MONTENEGRO *et al.*, 2013; MELLO, OLIVEIRA e SUAREZ, 2013.

Os sistemas *offset* utilizam matrizes cilíndricas de chapas de alumínio que fazem a transferência da imagem nelas contida, para o substrato. As imagens são formadas pela transferência das cores, uma a uma, ao substrato (PRINTI, 2014). A impressão em um sistema *offset* pode ser vista na Figura 13.



Figura 13 - Impressão em sistema *offset*
 Fonte: PRINTI, 2014.

Segundo os autores, as tintas sintetizadas exibiram propriedades muito similares aos produtos encontrados no mercado, quando aplicadas ao substrato (no caso, papel), no entanto não foi relatado nenhum outro tipo de caracterização físico-química das tintas como brilho, adesão, dureza, resistência à abrasão e resistência química, por exemplo. Todavia, as formulações das tintas para sistemas *offset* encontradas no mercado variam muito e dependem da aplicação. As composições das tintas utilizadas em máquinas de alimentação à folha

(*sheetfed*), por exemplo, diferem das empregadas em máquinas rotativas (*webfed*) e dentro da linha de tintas para *webfed*, ainda existem variações nas composições de tintas para jornais e para revistas, o que torna favorável uma ampla gama de formulações (CUENCA, 2005).

Dessa maneira, o emprego do óleo residual de fritura, para essa finalidade, parece ser uma alternativa tecnológica bastante atraente (MONTENEGRO *et al.* 2013).

2.4.2.4 Estudos sobre a viabilidade econômica da utilização de óleos residuais para a produção de resinas poliméricas

Os recentes trabalhos encontrados na literatura (LIBIO, 2008; SANTANA, OLIVEIRA e FERNANDES, 2011; MELLO, 2011; MONTENEGRO *et al.*, 2013) trazem apenas informações sobre a viabilidade técnica da utilização dos óleos e gorduras residuais para a síntese de resinas poliméricas, como a disponibilidade do resíduo em grande volume e do mesmo ser proveniente de fontes renováveis, diminuindo os impactos ambientais, e o fato dos produtos sintetizados até o presente momento, apresentarem características muito similares aos produtos comerciais.

Libio (2008) faz somente uma simples comparação entre os custos com a compra de óleo de soja novo (cujo litro, na época, custava em média R\$ 2,83) e com a compra do óleo de fritura residual pelas indústrias do biodiesel (quanto mais purificado está o óleo, melhor o preço de venda). Foi considerada a produção de uma resina alquídica que utiliza 10% de óleo vegetal na etapa de alcoólise e os resultados mostraram que há redução de quase 9% no preço final da resina produzida. A Tabela 10 apresenta os valores encontrados.

Tabela 10 - Redução no preço final de uma resina alquídica de óleo residual.

Características do ORF^[a] doado/vendido	Custo de compra do litro do ORF (R\$) pelas indústrias de biodiesel	Redução do custo de ORF (%) em relação ao OSC^[b]	Redução do preço da resina alquídica (%)
Muito sujo	0,30	88,4	8,84
Sujo	0,40	84,6	8,46
Limpo	0,50	80,0	8,0
Limpíssimo	0,60	76,9	7,69

[a] Óleo Residual de Fritura [b] Óleo de Soja Comercial

Fonte: LIBIO, 2008.

Já Montenegro et al. (2013) ressalta que a obtenção de tintas de impressão obtidas de óleos residuais pode ser economicamente viável, uma vez que, o preço médio de tintas comerciais para sistemas offset varia entre R\$ 25,00 e R\$ 30,00/kg. Entretanto, não foram feitas considerações detalhadas sobre os investimentos iniciais (equipamentos), custos de produção (matéria-prima, catalisador, gás nitrogênio, energia, reagentes, água, etc.), despesas de produção (despesas com vendas, financeiro, salários, impostos e taxas, etc.) e retorno do investimento de acordo com a capacidade produtiva. Portanto, há ainda a necessidade de uma avaliação criteriosa a fim de determinar se esse processo é viável economicamente.

Com relação ao processo de coleta, que se torna uma desvantagem para a utilização de óleos e gorduras residuais, quando não se tem logística, Loss (2011) analisou a viabilidade econômica do recolhimento de óleos, através da implementação de um algoritmo matemático para otimização da logística de coleta, considerando-se os estabelecimentos determinados, um período de tempo estipulado e o menor número de veículos possível. Os resultados da pesquisa indicaram que o processo de coleta torna-se economicamente viável se for utilizado um veículo de médio porte (modelo *Sprinter*), ao invés de um de pequeno porte (modelo *Fiorino*), se a quantidade de óleo residual recolhido for de cerca de 400 litros por ponto de coleta e se a carga horária do motorista for reduzida de 10 para 6 horas de trabalho, uma vez que o salário passaria de R\$1.200,00 para R\$ 1.000,00.

Além disso, muitas dificuldades são encontradas pelos projetos de coleta de óleo de fritura residual e pelo setor de reciclagem de resíduos sólidos domiciliares, como um todo. Primeiramente existe a falta de conscientização da população, por falta de uma forte política de educação ambiental e, após essa etapa, ainda há a dificuldade da adesão voluntária do consumidor (levar o resíduo até um ponto de coleta). Intimamente ligado a isso, está a logística de coleta do óleo residual, que vai desde o preparo técnico de mão de obra para acompanhar todas as etapas que a gestão de resíduos exige, passando pelas diretrizes governamentais, órgãos ambientais, otimização do sistema de coleta e triagem para redução dos custos de transporte (como no estudo feito por Loss, 2011), até chegar à tecnologia que reutilize esse óleo de forma técnica e economicamente viável, ou seja, o percurso é longo e necessita estar muito bem estruturado para a obtenção de um produto à base de óleo de fritura residual (JUNIOR *et al.*, 2009; PROJETO ÓLEO ZERO, 2013; AGÊNCIA CNT, 2014).

2.4.3 Operação de bombeamento e filtração

2.4.3.1 Bombeamento: bombas de deslocamento positivo

As bombas hidráulicas, ou bombas, são geralmente usadas quando se deseja mover um líquido de um ponto a outro, através de uma tubulação. Esses dispositivos incrementam a energia mecânica de um líquido, aumentando a sua velocidade, pressão ou elevação, uma vez que, durante o escoamento ocorrem perdas de energia (também chamadas perdas de carga) por atrito entre o fluido e as paredes da tubulação, pelas perturbações do escoamento em acessórios ao longo dos tubos e ainda pela passagem por medidores de vazão. A reposição de tais perdas de carga é feita justamente pelas bombas (GEANKOPLIS, 1998; MCCABE, SMITH e HARRIOT, 2002; TERRON, 2012).

As bombas selecionadas para a operação de bombeamento no sistema de reciclagem do óleo de fritura, descrito no Capítulo 4, são classificadas como bombas de deslocamento positivo do tipo rotativas. Essas bombas movimentam determinada quantidade de fluido a cada rotação ou ciclo do elemento móvel da bomba (como por exemplo, um pistão ou engrenagens). O fluido é deslocado pela ação direta do elemento móvel, que ao efetuar o seu movimento obriga o fluido a fazer o mesmo e na mesma direção das forças a ele transferidas e, devido a isso, essas bombas são chamadas de deslocamento positivo. Um esquema de funcionamento de uma bomba pode ser visto na Figura 14 (TERRON, 2012).

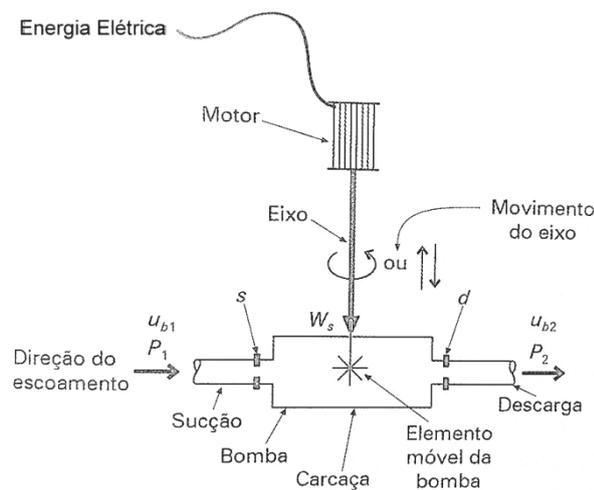


Figura 14 - Esquema de funcionamento de uma bomba. Onde: s - sucção; u_{b1} - velocidade média inicial do líquido; P_1 - pressão inicial do líquido; d - descarga; u_{b2} - velocidade final; P_2 - pressão final ($P_2 > P_1$) e W_s - trabalho de eixo.

Fonte: TERRON, 2012.

As bombas do tipo rotativas têm como partes móveis engrenagens, helicoides, roscas, parafusos, palhetas ou outros elementos que exerçam uma ação rotativa (TERRON, 2012).

Geralmente são selecionadas bombas de deslocamento positivo, em vez de bombas cinéticas (a outra classe de bombas), em aplicações que se requer o bombeamento de líquidos viscosos, medições precisas (dosagem química, farmacêutica etc.) e onde há pressões elevadas e fluxo pequeno (BACHUS e CUSTÓDIO, 2003 *apud* TERRON, 2012). Podem ainda ser citadas características como: as capacidades de bombeamento e de sucção são proporcionais à velocidade da bomba, a pressão é independente da velocidade, fluidos contendo gases ou vapores arrastados podem ser bombeados e a direção do escoamento pode ser revertida. Esses aspectos são bastante relevantes em diversas aplicações industriais (ROBBERTS, 2002 *apud* TERRON, 2012).

2.4.3.2 Filtração: filtro prensa

A filtração é um processo de separação físico-mecânico que se aplica na separação de partículas sólidas presentes em um fluido, seja ele líquido ou gás. Nessa operação unitária estabelece-se uma diferença de pressão que faz com que o fluido flua através de um meio poroso que impede a passagem das partículas e estas, por sua vez, ficam retidas sobre o filtro na forma de uma torta porosa (GEANKOPLIS, 1998).

As filtrações comerciais cobrem uma ampla gama de aplicações, já que a suspensão de alimentação pode conter partículas muito finas (da ordem de micrômetros) ou bastante grandes, muito rígidas ou plásticas, esféricas ou de forma irregular, agregados ou partículas individuais. A alimentação ainda pode conter altas ou baixas cargas de partículas, o que influencia diretamente no tempo de operação dos filtros, fazendo com que operem por grandes períodos de tempo, antes que seja necessário limpar o meio filtrante, quando a concentração de partículas é mínima (GEANKOPLIS, 1998).

O filtro prensa de placas e quadros, como mostrado na Figura 15, é um dos tipos de filtros mais importantes e consiste de placas e quadros alternados. As placas possuem um meio filtrante tal como uma tela e existem incisões em cada placa formando canais para drenar o filtrado. A suspensão de alimentação é bombeada na prensa e flui através do duto até o interior de cada um dos quadros abertos, de modo a preencher os espaços vazios. O líquido passa através da tela filtrante e flui pelos canais de descarga até sair do filtro prensa, enquanto os sólidos acumulam-se como uma torta úmida nos quadros até que estes estejam

completamente cheios e a filtração seja encerrada. Em muitos filtros prensa essas operações são realizadas de maneira automática, exceto a extração das tortas. (GEANKOPLIS, 1998; MCCABE, SMITH e HARRIOT, 2002).

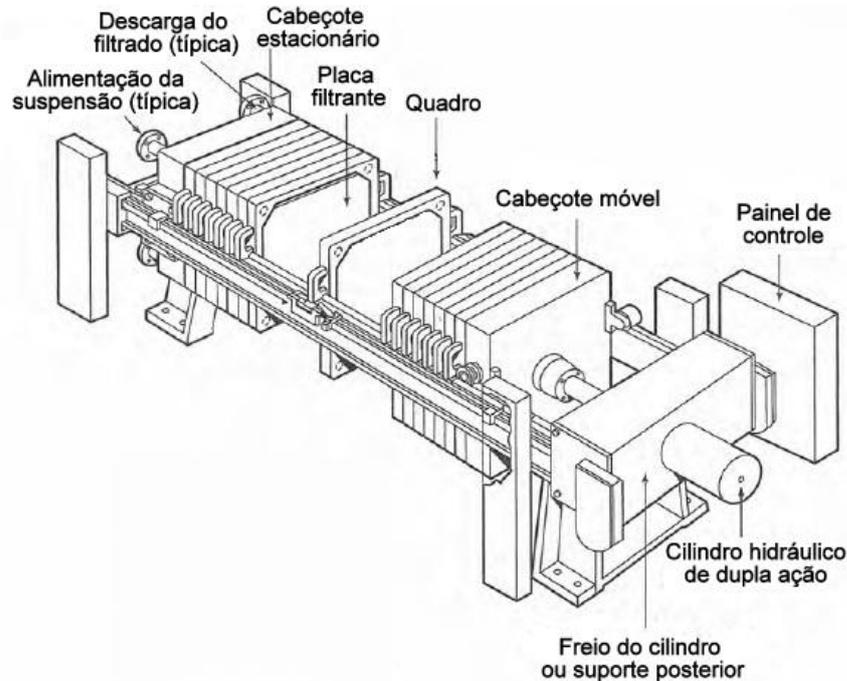


Figura 15 - Filtro prensa com operação automática.

Fonte: adaptado de MCCABE, SMITH e HARRIOT, 2002.

Os filtros prensa são empregados em processos por lotes, mas não são adequados para processos de alto rendimento. Podem ser manuseados com facilidade e são equipamentos versáteis e de operação flexível. Adequados para trabalhar com soluções viscosas ou quando a torta formada apresenta grande resistência e, devido a isso, podem utilizar pressões relativamente altas.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODO

Após o levantamento bibliográfico dos dados técnicos das características do óleo de fritura residual e das estimativas de geração do resíduo, tanto presentes na literatura quanto nas informações obtidas através da visita técnica feita à empresa Ecolimp, foi realizada uma pesquisa dos equipamentos comerciais disponíveis para o recebimento e tratamento do óleo residual de fritura.

Numa segunda etapa foi definida a capacidade de recebimento do óleo residual de fritura, baseada na estimativa de coleta mensal do óleo residual e de produção desejada de sabão e polímeros.

Por fim, na terceira etapa, foi realizado o dimensionado de um sistema para o recebimento e tratamento do óleo de fritura, bem como os sistemas para produção de sabão, em batelada e pelo método da semi-fervura, e de resinas poliméricas (via polimerização termocatalítica), baseado em dados técnicos da literatura disponíveis para estes processos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dimensionamento de Sistema para Reciclagem de Óleo de Fritura para Produção de Sabão e Resinas Poliméricas

4.1.1 Estimativa da capacidade de processamento do óleo residual e etapas do processo

A partir das informações adquiridas, tanto na literatura quanto na visita técnica, sobre as quantidades de óleos e gorduras residuais gerados mensalmente no DF, foi proposto um sistema de reciclagem no qual há alternância entre os processos de produção de sabão e resinas poliméricas. Essa rotatividade na produção tem como principal objetivo a utilização dos mesmos reatores para ambos os processos.

Estabeleceu-se que a capacidade de processamento diário é de 900 litros de óleo residual para a produção de sabão, em batelada e pelo método de semi-fervura, durante um período de 3,3 dias de operação do sistema (totalizando 2970 litros) e de 300 litros diários para a produção de resinas poliméricas, usadas como veículo para tintas de sistema de impressão *offset* (obtidas via polimerização termocatalítica), durante um período de 17 dias de operação (totalizando 5100 litros). Dessa maneira, são processados aproximadamente 8000 litros de óleo residual de fritura por mês e, desse total, a maior parte (cerca de 60%) é destinada para a fabricação de resinas, uma vez que esse produto possui um maior valor agregado (MONTENEGRO *et al.*, 2013). No entanto, não há nenhum estudo de análise financeira do projeto que demonstre que essas quantidades sejam economicamente viáveis.

O processo global de reciclagem do óleo residual está dividido em duas grandes etapas: a de pré-tratamento do óleo residual e a de produção de sabão e resinas poliméricas. Dentro dessas etapas estão inseridas outras etapas, que são brevemente descritas a seguir e melhor elucidadas, posteriormente. O total de etapas envolvidas no processo de reciclagem é:

- 1) Descarregamento e peneiramento do óleo residual;
- 2) Bombeamento para o primeiro tanque de armazenagem;
- 3) Bombeamento e filtração;
- 4) Bombeamento do óleo filtrado para o segundo tanque de armazenagem;
- 5) Produção de sabão;
- 6) Produção de resinas poliméricas.

A Figura 16 ilustra o fluxograma esquemático do processo e as etapas em que ele está dividido.

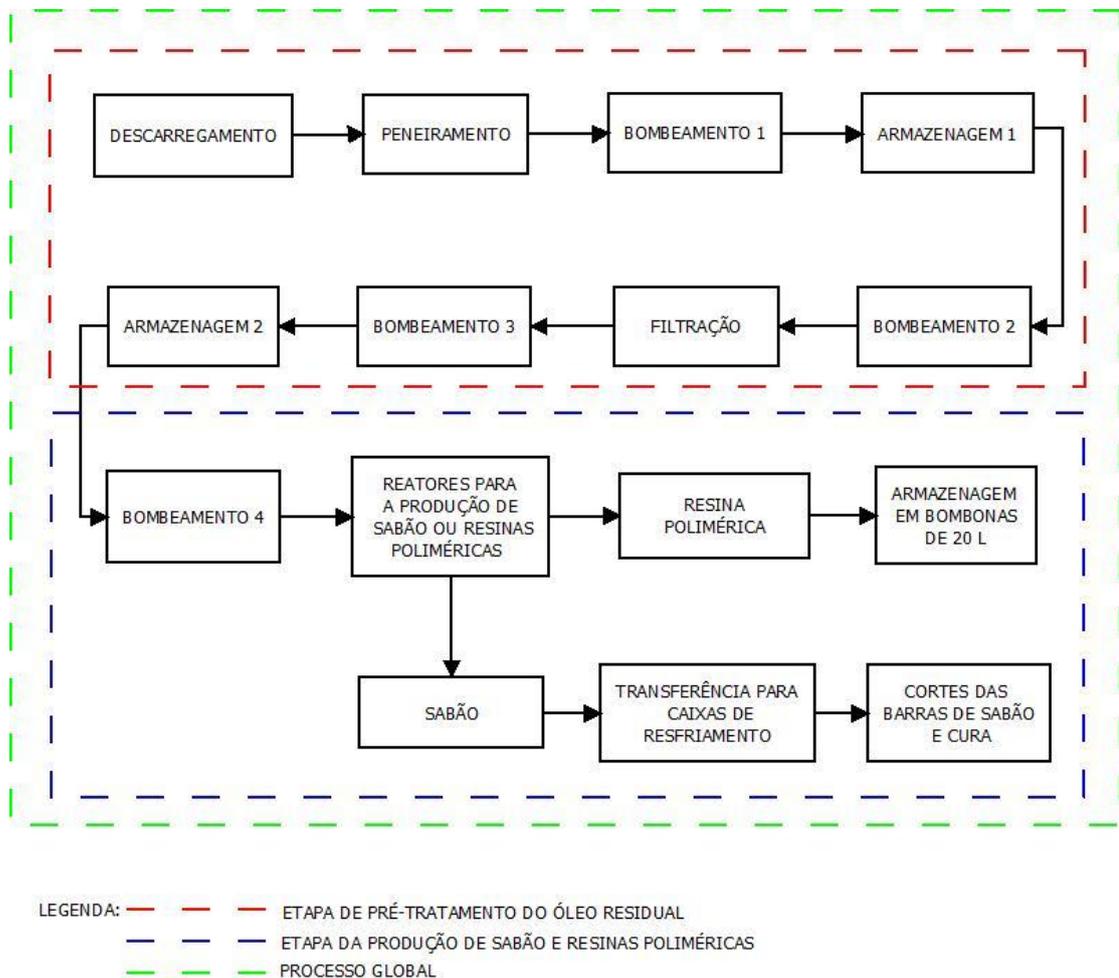


Figura 16 - Fluxograma esquemático do processo.

4.1.2 Etapa 1: pré-tratamento do óleo residual de fritura

Neste subitem são descritas detalhadamente todas as etapas do pré-tratamento do óleo residual bruto, desde o seu descarregamento até a estocagem final. No subitem 4.1.3 são apresentadas as seleções de cada equipamento aqui utilizado.

a) Descarregamento e peneiramento

O óleo residual é transportado em bombonas de 50 litros por caminhões responsáveis pela coleta e transporte. Após o recebimento, o óleo é descarregado manualmente em um tanque coletor de 50 litros no qual está afixado uma placa perfurada com orifícios quadrados

de 1 cm de lado, com o objetivo de peneirar o óleo residual e retirar as partículas sólidas de maior tamanho. Esses resíduos sólidos são de origem orgânica e podem, portanto, ser enviados a aterros sanitários.

b) Bombeamento para o primeiro tanque de armazenagem

Depois da etapa de peneiramento, o óleo é bombeado (bombeamento 1) para um tanque de armazenagem (armazenagem 1) com capacidade de 3.000 litros. Estimou-se uma capacidade de descarregamento de 1.000 litros (20 bombonas de 50 litros) em 30 minutos, o que gera uma vazão de 2.000 L/h ou 33,33 L/min.

c) Filtração

A filtração do óleo residual de fritura precisa ser feita para a retirada de materiais sólidos particulados que não podem ser removidos pelo peneiramento. Para isso, o óleo que está armazenado é bombeado (bombeamento 2) para um filtro prensa cuja porosidade é de 7,5 micrômetros e a vazão de operação é de 6.000 L/h. Não é necessário remover água, uma vez que ela não interfere na produção do sabão e da resina polimérica.

d) Bombeamento do filtrado para tanques

Após a filtração, o óleo é recebido em um pequeno tanque de coleta que alimenta uma bomba (bombeamento 3) para enviar o óleo aos tanques de armazenamento (armazenagem 3). Como o filtro pode tratar 6.000 litros em 8 horas, estimou-se uma vazão máxima de 750 L/h ou 12,5 L/min.

e) Armazenagem do óleo residual filtrado

Na próxima etapa o óleo tratado é armazenado (armazenagem 3) em tanques cuja capacidade total estimada é de 10.000 litros. Optou-se por dois tanques de 5.000 litros para a armazenagem do óleo tratado.

4.1.3 Seleção dos equipamentos para o recebimento, tratamento e estocagem do óleo residual

- Tanque de coleta 50,0 litros (0,37 m x 0,37 m x 0,37 m) feito em aço inoxidável (316);
- Suporte com placa perfurada de área 0,1225 m² (0,35 m x 0,35 m) confeccionada em aço inoxidável com orifícios quadrados de 1 cm de lado, como o modelo apresentado na Figura 17;

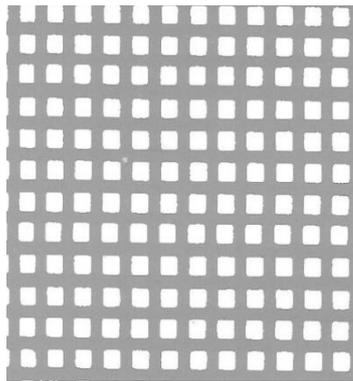


Figura 17 - Modelo de placa perfurada

Fonte: METALBRAS, 2015.

- Tanque cilíndrico vertical para armazenagem de óleo com volume de 3.000 litros feito em polipropileno ou aço inox (316), com altura (H) de 1,75 m e diâmetro (D) de 1,484 m (GRABE, 2008), similar ao modelo visto na Figura 18;

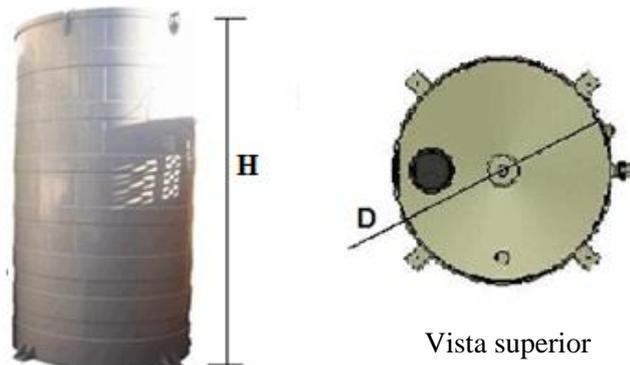


Figura 18 - Modelo de tanque feito em polipropileno.

Fonte: Adaptado de GRABE, 2008.

- Filtro prensa modelo *Flowpress* 320 (GRABE, 2008), apresentado na Figura 19, com 10 placas filtrantes (320 mm x 320 mm cada) com porosidade de 7,50 micrômetros e vazão de operação de 750 L/h;

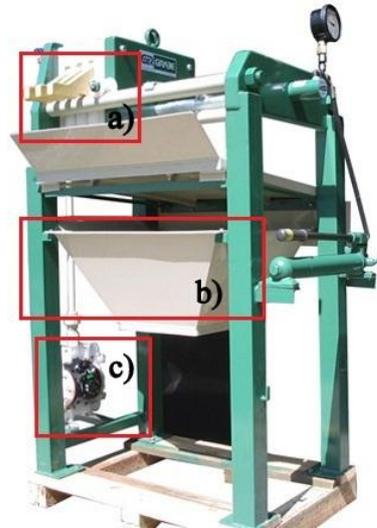


Figura 19 - Filtro prensa modelo *Flowpress* onde: a) placas filtrantes; b) tanque de coleta do óleo filtrado; c) bomba.

Fonte: GRABE, 2008.

- 2 tanques cilíndricos verticais para armazenagem do filtrado com capacidade de 5.000 litros cada, feitos em polipropileno, como mostrado na Figura 16, com altura de 2,30 m e diâmetro de 1,80 m.

4.1.3.1 Seleção das bombas utilizadas no pré-tratamento

Na etapa de pré-tratamento são utilizadas três bombas, chamadas bombas 1, 2 e 3 e dispostas nos bombeamentos de 1 a 3, respectivamente. A seguir são apresentadas a seleção e a justificativa para a escolha de cada bomba.

Bomba 1: Realiza o bombeamento do óleo peneirado para o tanque de recebimento de 3.000 litros.

Para essa operação foi escolhida uma bomba do tipo helicoidal (também chamada de cavidade progressiva) de rotor único ou simples que é projetada para o bombeamento de uma ampla variedade de líquidos e viscosidades e ainda pode operar com suspensões (TERRON, 2012). A opção por esse tipo de bomba foi feita, justamente, porque após o peneiramento o óleo ainda permanece com partículas sólidas em suspensão e o equipamento deve operar nessa condição.

A bomba foi selecionada utilizando-se os seguintes parâmetros: o tamanho máximo das partículas em suspensão, a vazão estimada no bombeamento e o manual técnico de bombas helicoidais (linha BHI) da empresa IMBIL[®], acessível no Anexo 1.

O procedimento para a seleção da bomba inicia-se tendo como referência os seguintes dados:

- Vazão desejada: 2000 L/h ($2 \text{ m}^3/\text{h}$);
- Tamanho máximo de partículas no óleo residual após o peneiramento: 10 mm.

Em seguida, consultando-se a Tabela da página 9 do manual técnico selecionou-se, a partir do tamanho máximo das partículas ($h = 10 \text{ mm}$), o modelo de bomba BHI 20 L, cujo diâmetro da cavidade é de 20 mm.

O fabricante informa que suas bombas helicoidais são fabricadas com um, dois ou quatro estágios, cujas pressões de recalque são de até 6, 12 e 24 kgf/cm^2 , respectivamente (IMBIL, 2015). A partir dessa informação, a bomba a ser selecionada pode ter uma pressão de recalque de até 6 kgf/cm^2 , uma vez que as tubulações do sistema são curtas e com alturas baixas, até 10 metros de coluna d'água (mca), o que não exige uma pressão de bombeamento relativamente alta.

Posteriormente, analisaram-se as curvas de vazão (m^3/h) em função da velocidade de rotação (rpm) da bomba BHI 20 L, apresentadas em três diferentes pressões de recalque (2, 4 e 6 bar $\cong \text{kgf}/\text{cm}^2$), na página 13 do manual técnico, para se obter a velocidade de rotação do equipamento e, em seguida, a potência da bomba, através das curvas de potência (hp $\cong \text{cv}$) em função da velocidade de rotação (rpm), disponíveis também na página 13 do manual. No entanto, para o modelo BHI 20 L com uma pressão de recalque de 6 kgf/cm^2 , a vazão não chega a $2 \text{ m}^3/\text{h}$, fazendo-se necessária a escolha de um outro modelo que forneça a vazão desejada.

Dessa maneira, modelo de bomba a ser selecionado é o BHI 25 L, que tem velocidade de rotação de 287 rpm, vazão de operação de $2 \text{ m}^3/\text{h}$, pressão de recalque de 6 kgf/cm^2 e potência de 1,1 cv. O procedimento de seleção seguiu-se idêntico ao descrito no parágrafo anterior e as curvas utilizadas referem-se à bomba BHI 25 L, presentes na página 14 do manual técnico, que está disponível no Anexo 1.

Bomba 2: é a bomba acoplada ao sistema de filtração do filtro prensa, adquirida juntamente com tal equipamento e adequada à sua operação. Dessa forma, essa bomba não foi dimensionada.

Bomba 3: é a bomba que transporta o óleo filtrado para os tanques de armazenagem.

A bomba aqui selecionada é do tipo engrenagens externas, que se aplica em trabalhos com fluidos viscosos, em diversas aplicações, tais como indústrias químicas, petroquímicas, papel, alimentícia e saneamento, sendo, portanto, adequada ao bombeamento do óleo residual filtrado (FB BOMBAS, 2015).

A bomba foi selecionada utilizando-se os seguintes critérios: a vazão estimada no bombeamento, a escala de conversão de viscosidades com equivalência entre centistokes (cSt) e *Saybolt Universal Second* (SSU - segundos universais de Saybolt), presente no Anexo 2, e o manual técnico da empresa FB Bombas[®], disponível no Anexo 3.

O procedimento para a seleção da bomba tem início tomando-se como referência os seguintes dados:

- Vazão desejada: 12,5 L/min;
- Viscosidade absoluta do óleo de soja na temperatura de 25 °C, $\mu = 59$ cP (BROCK *et al.*, 2008);
- Densidade do óleo de soja a 25 °C: $\rho = 0,922$ g/cm³ (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1993).

Em seguida, utilizando-se a Equação 1 chega-se à $\nu = 64,0$ cSt, que convertida para SSU equivale a 270 SSU.

Equação da viscosidade cinemática (FOX, MCDONALD, PRITCHARD, 2006):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1)$$

Onde:

ν - viscosidade cinemática (m²/s ou cSt);

μ - viscosidade dinâmica (kg/m.s ou cP ou mPa.s);

ρ - densidade do material (kg/m³).

A viscosidade de 270 SSU encontra-se na faixa de 250 a 2.500 SSU na Tabela 2 do manual técnico e, dessa maneira, a velocidade de rotação indicada para a bomba é de 1.150 rpm. Dentre os modelos de bombas mencionados para essa velocidade de rotação selecionou-

se aquela com a vazão mais próxima de 12,5 L/min e pressão de recalque baixa (as tubulações não são demasiadamente longas) e chegou-se a conclusão de que o modelo mais adequado é o FBE 3/4” (três quartos de polegada), cuja vazão é de 30 L/min, pressão de recalque de 0 kgf/cm² e potência de 0,4 cv. No entanto, sabe-se que no rendimento mecânico de uma bomba nem toda a potência necessária para o acionamento do equipamento é, de fato, usada para bombear, pois parte dela perde-se por atrito (TERRON, 2012). Devido a esse fato, o fabricante recomenda (para reserva de potência), na Tabela 4 do manual, a adição de 50% de potência em motores de até 2 cv e através da Equação 2, chega-se a uma potência de 0,6 cv.

Equação para o cálculo da potência reserva.

$$P_R = P_0(1+i) \quad (2)$$

Onde:

P_R - potência reserva (cv);

P_0 - potência inicial (cv);

i - porcentagem a ser adicionada (%).

Uma nova consulta à Tabela 1 do manual técnico mostra que a bomba a ser selecionada tem potência de 0,75 cv, vazão de 29,0 L/min e pressão de recalque de 4 kgf/cm².

As bombas FBE até 1” (uma polegada) operam até uma altura máxima total de 120 mca, portanto satisfazem plenamente à finalidade desejada, já que as linhas de bombeamento são curtas e com alturas muito baixas, cerca de 10 mca, ocorrendo apenas uma diminuição da vazão citada no manual do fabricante.

4.1.4 Etapa 2: produção de sabão e resinas poliméricas

A segunda grande etapa do processo global é a produção de sabão e resinas poliméricas. A utilização de dois processos para reutilização do óleo de fritura residual tem como objetivo fornecer duas alternativas de reciclagem do óleo e fazer com que o sistema seja versátil, ou seja, que haja a possibilidade de aumentar ou diminuir a fabricação de um dos produtos dependendo da demanda de mercado.

Esta etapa inicia-se com o bombeamento (bombeamento 4) do óleo filtrado, e armazenado nos tanques, para os reatores de sabão e de resinas, no qual também é utilizada uma bomba de engrenagens externas.

4.1.4.1 Fabricação de sabão

O sistema de produção de sabão escolhido para o dimensionamento foi o tipo semi-fervura, em que as temperaturas variam de 70 a 90 °C e o produto final é mais adequado ao uso doméstico, pelo fato da glicerina não ser extraída e ficar incorporada ao sabão.

Para a produção de sabão são utilizados três reatores cilíndricos com capacidade de 200 litros cada, aquecidos através de uma camisa de aquecimento elétrico (encamisados). O processo funciona em bateladas e a fabricação do sabão acontece da seguinte maneira:

a) Bombeamento do óleo para os tanques de reação

São bombeados 100 litros de óleo reciclado dos tanques de armazenagem para cada um dos três reatores de 200 litros, através da bomba 4 (bombeamento 4).

b) Adição da solução de NaOH (solução de soda)

A solução de soda é preparada adicionando-se 12,65 kg de NaOH em 20,0 litros de água. Obtendo-se uma solução NaOH 63% (m/v) que será adicionada ao óleo no tanque de reação.

c) Verificação das condições reacionais e do andamento da reação

Depois da adição dos reagentes, deve-se manter o meio reacional sob agitação constante a uma temperatura de 90 °C por 30 minutos. Transcorridos cerca de 20 minutos, o operador deve conferir o andamento da reação e verificar se o produto está com característica pastosa e homogênea. Caso contrário, pode-se adicionar mais base, pois segundo CDI (1995), é possível ajustar a quantidade de base no processo de semi-fervura, para que a reação de saponificação seja mais completa e, assim, seja atingida a consistência necessária para o tipo de sabão produzido, neste caso, tipo duro, segundo a classificação de Uchimura (2007). Esse procedimento pode ser feito preparando-se um volume menor de solução cáustica, cerca de 1 litro, e adicionando-o ao vaso reacional até que seja percebida uma mudança na consistência. De acordo com Uchimura (2007), também pode ser feito um teste coletando-se uma pequena

porção do sabão e verificando-se o seu endurecimento em uma superfície fria indicando assim, o final da reação.

d) Adição de aditivos

Ao término da reação, desliga-se o aquecimento e mantém a agitação, para que sejam adicionados aditivos (a escolher) e perfumes (a escolher) a fim de melhorar as propriedades do sabão.

f) Tempo de cura e corte do sabão

O sabão ainda pastoso e quente é colocado em fôrmas para resfriamento através da abertura de uma válvula no fundo de cada tanque reacional. Posteriormente, as fôrmas são armazenadas à temperatura ambiente, em prateleiras, até o resfriamento e endurecimento do sabão (1 dia). Em seguida o sabão é retirado e cortado, em equipamentos de corte por operação manual. As barras de sabão permanecem armazenadas por 15 dias à temperatura ambiente, para o tempo de cura e, por fim, são embaladas.

4.1.4.2 Tempo estimado para a produção de sabão e quantidade produzida por dia

Estima-se que são realizadas durante um turno de 8 horas de trabalho, três bateladas com duração de 2,5 h cada, a saber: cerca de 1 h total para início (adição dos reagentes, diluição do NaOH e aquecimento) e fim da reação, 10 minutos para bombeamento do óleo nos tanques reacionais e o restante do período (cerca de 1,3 h) para preparação dos reagentes, retirada do sabão do tanque reacional para fôrmas de resfriamento e demais operações necessárias durante o processo.

A partir do volume de óleo utilizado em cada reator (100 L), da densidade do óleo ($\rho = 0,922 \text{ g/cm}^3$, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1993) e da Equação 8, tem-se que a massa de óleo é igual a 92,2 kg.

Equação para o cálculo da massa de óleo a partir da densidade (SÓ FÍSICA, 2015):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde:

ρ - densidade (kg/m³)

m - massa (kg)

V - volume (m³)

Baseando-se em Silva e Puget (2010), considera-se que o rendimento em sabão seja de 97% em relação à massa de óleo inicial. Portanto, para cada 92,2 kg de óleo são produzidos 89,43 kg de sabão. Como são três reatores, o triplo dessa quantidade é produzido, ou seja, 268,30 kg de sabão em cada batelada. Ao final do dia, após três bateladas, é fabricado um total de 804,90 kg de sabão.

Ao término de 3,3 dias de operação, para essa etapa de reciclagem do óleo residual, tem-se uma produção total de cerca de 2.657,0 kg de sabão.

4.1.4.3 Tipo de tanque reacional e escolha do agitador

Como mencionado anteriormente, são utilizados três tanques reacionais com capacidade máxima de 200 litros, e volume útil de 140 litros cada. Cada tanque possui uma tampa com válvula para alívio, de modo a manter a pressão interna em até 1 atm. Optou-se por um sistema tampado por dois motivos: para que o operador não entre em contato direto com os vapores produzidos durante a reação e para que o motor também não seja exposto a esses vapores. A Figura 20 mostra um esquema básico para o tanque de reação.

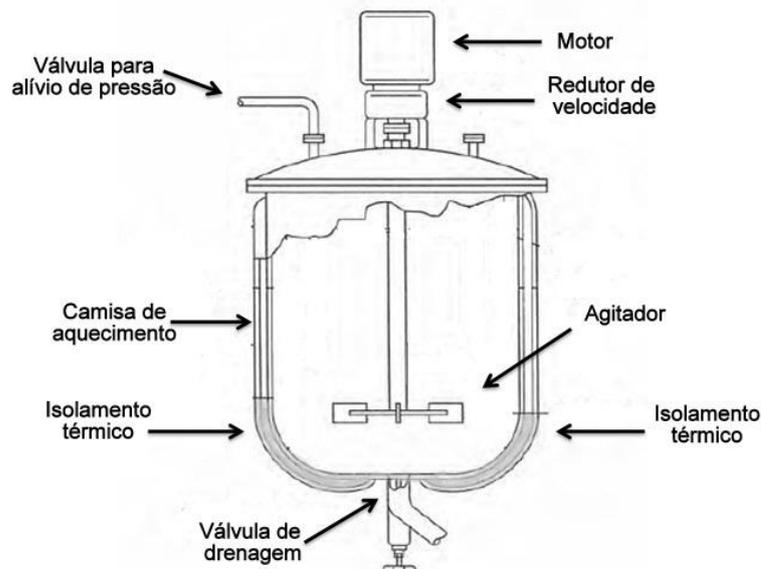


Figura 20 - Esquema de tanque reacional para saponificação.

Fonte: adaptado de MCCABE, SMITH e HARRIOT, 2002.

A escolha do tipo de agitador para a produção de sabão foi feita com base na faixa de viscosidade para sabões que varia de 3550-5500 cP (VINEYARD E FREITAS, 2014). A literatura utilizada informa que não existe uma regra muito específica para a escolha, mas pode ser indicado para essa faixa de viscosidade um agitador do tipo feixe cruzado com lâminas inclinadas, como mostrado na Figura 21, cujo fluxo é axial (aplicado para a transferência de calor) (TERRON, 2012; MCCABE, SMITH e HARRIOT, 2002; BOMAX, 2015).

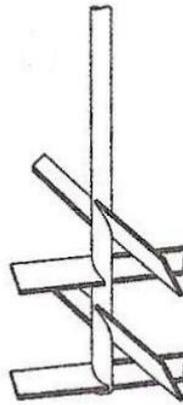


Figura 21 - Agitador de feixe cruzado com lâminas inclinadas.
Fonte: TERRON, 2012.

4.1.4.4 Seleção dos principais equipamentos na produção de sabão

- 3 reatores com capacidade de 120 litros feitos em aço inox 316 (resistente à oxidação em temperaturas de até 875 °C; FAVORIT, 2015) e encamisados com sistema de aquecimento elétrico;
- Motor de 0,5 cv de potência (potência requerida para um reator com capacidade de produção de até 400 kg/dia de sabão em barra, segundo a empresa Fenoquímica (2015) fabricante de maquinário para sabões e sabonetes);
- Agitadores do tipo feixe cruzado com lâminas inclinadas construído em aço inox, com revestimento anti-corrosivo em poliamida e acionamento elétrico (BOMAX, 2015);
- 20 fôrmas de arrefecimento (dimensões a depender do fabricante);
- Conjunto de cortadores para corte múltiplo e individual.

4.1.4.5 Fabricação de resinas poliméricas

O processo de produção de resinas poliméricas aplicado aqui acontece através da polimerização termocatalítica do óleo tratado. O dimensionamento do sistema foi feito com base no trabalho de Montenegro *et al.* (2013), que indica qual o catalisador deve ser utilizado e a respectiva porcentagem (acetato de níquel, 0,1% em massa), e também no trabalho de Mello (em fase de elaboração) do qual é utilizado a temperatura (300 °C), o tempo de reação (3h) e a não necessidade de sistema de agitação. A reação é conduzida em fluxo constante de gás nitrogênio e o processo acontece em bateladas.

Nessa etapa de produção é usado o mesmo trio de reatores cilíndricos de 200 litros da fabricação de sabão. Há, no entanto, a troca do motor e do agitador, que estão encaixados na tampa de cada um dos reatores, por um trocador de calor tubular, que pode ser visto na Figura 22.

As etapas da fabricação de resinas são descritas a seguir:

a) Bombeamento do óleo para os tanques de reação

São bombeados, através da bomba 4, 100 litros de óleo dos tanques de armazenagem para cada um dos três reatores de 200 litros, totalizando 300 litros de óleo.

b) Adição do catalisador

Como são necessários 0,1% de catalisador, devem ser adicionados ao sistema de reação 92,2 g de acetato de níquel, uma vez que a massa de óleo é de 92,2 kg.

c) Finalização da reação e armazenagem

Após as 3 horas de reação e o resfriamento dos reatores, as resinas são despejadas em bombonas de 20 litros, através da abertura de uma válvula no fundo de cada tanque reacional, e armazenadas para posterior comercialização com indústrias que fabricam tintas para sistema de impressão *offset*.

4.1.4.6 Tempo estimado para a produção e quantidade de resina produzida por dia

Levando-se em conta o tempo reacional de cerca de 3 h, a rampa de aquecimento de 30 minutos, cerca de 10 minutos para o bombeamento do óleo nos reatores e mais 1,5 h para resfriamento e envasamento da resina em bombonas de 20 litros, chega-se a um tempo de aproximadamente 5,2 h e, portanto, durante um dia é realizada apenas uma batelada.

De acordo com Mello (em fase de elaboração), o rendimento das resinas poliméricas é de 97% (em massa). Portanto, a cada 92,2 kg de óleo (100 L) utilizados na reação são produzidos 89,43 kg de resinas. Considerando os três reatores utilizados durante o processo, o triplo dessa quantidade é produzido e, portanto, 268,30 kg de resinas poliméricas durante um dia.

Após os 17 dias de operação dessa segunda etapa de reciclagem do óleo residual, a produção de resinas poliméricas chega a cerca de 4.561,0 kg.

4.1.4.7 Tipo de reator

Cada reator é composto por uma camisa de aquecimento elétrico (encamisado), com um sistema para entrada e saída do fluxo de gás nitrogênio e um sistema para condensação de voláteis, que pode ser conectado à tampa do reator e removido, quando este estiver atuando como reator de saponificação. O reator opera a pressão atmosférica e não há sistema de agitação, pois o objetivo é diminuir a quantidade de voláteis gerados e aumentar o rendimento em massa da resina, portanto, nesta configuração, o motor e o agitador são retirados. A Figura 22 mostra um reator esquemático usado no processo.

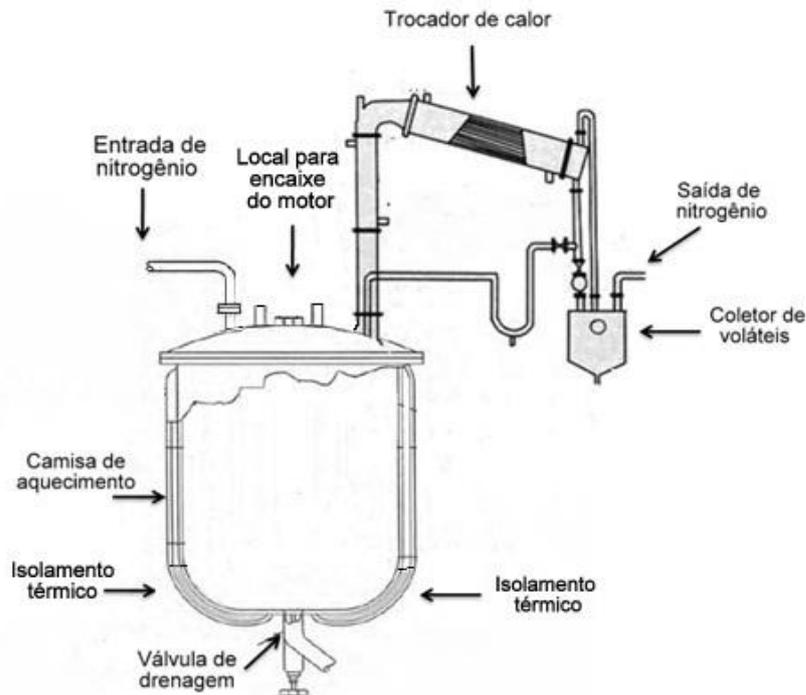


Figura 22 - Modelo de reator usado para a polimerização térmica do óleo residual.
 Fonte: adaptado de MCCABE, SMITH e HARRIOT, 2002.

Tratando-se de um sistema de aquecimento é importante saber a potência requerida para atingir a temperatura de reação, nesse caso 300 °C. Com os dados do calor específico (C_p) e da densidade (ρ) do óleo e a Equação 9, estimou-se, de forma ordinária, a potência necessária para uma rampa de aquecimento de cerca de 30 minutos, partindo da temperatura de 25 °C. Os cálculos são mostrados logo abaixo:

Dados: $C_p = 1,97 \text{ kJ/kg.K}$ (THE ENGINEERING, 2015); $\rho = 0,922 \text{ g/cm}^3$ (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1993); $T_i = 25 \text{ °C}$; $T_f = 300 \text{ °C}$; $V = 100 \text{ L}$.

$$Q = mC_p\Delta T \text{ (ATKINS e JONES, 2001)} \quad (4)$$

Onde:

Q - calor (J)

m - massa (kg)

C_p - calor específico (J/kg.K)

ΔT - variação de temperatura (K)

$$Q = (100L) \times \left(0,922 \frac{kg}{L}\right) \times \left(1,97 \frac{kJ}{kg.K}\right) \times (275K)$$

$$Q = 49.949,35 \text{ kJ ou } 49.949,35 \times 10^3 \text{ J}$$

Como potência tem unidade em Watts (W) e sabendo-se que $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$, para uma rampa de 30 minutos (0,5 h) tem-se que:

$$P = \frac{Q}{t} = 49.949,35 \times 10^3 \frac{J}{0,5h} \times \frac{1h}{3600s} = 27.749,64 \frac{J}{s} (W) = 27,7 \text{ kW}$$

Devido às perdas de carga, adicionou-se arbitrariamente 50% de potência, com isso chega-se a:

$$P = 27,7 \times 1,5 = 41,6 \text{ kW}$$

Dessa maneira, cada um dos reatores necessita de uma potência de 41,6 kW para aquecer até 300 °C em 30 minutos. Podem-se utilizar dois blocos de aquecimento com 20,8 kW cada um.

4.1.4.8 Seleção dos principais equipamentos utilizados na produção das resinas poliméricas

- 3 reatores com capacidade de 120 litros feitos em aço inox 316 (resistente à oxidação em temperaturas de até 875 °C; FAVORIT, 2015) e encamisados com sistema de aquecimento elétrico;
- Sistema de condensação usando trocador de calor tubular (casco e tubos) acoplado ao reator e a um coletor de voláteis;

4.1.4.9 Seleção da bomba utilizada na produção de sabão e resinas poliméricas

Bomba 4: é a bomba que opera no abastecimento do óleo aos reatores para a produção de sabão ou resinas, bombeamento 4 da Figura 16.

A seleção dessa bomba segue o mesmo procedimento descrito para a bomba 3, no subitem 4.1.3.1 e, dessa maneira, são apenas apresentados os valores e suas justificativas.

- Velocidade de rotação: 1.150 rpm (viscosidade de 250 a 2.500 SSU).

Estimou-se abastecer com um volume total de 300 litros os três tanques de reação, em cada batelada, tanto na produção de sabão quanto na de resinas poliméricas, em um tempo de 10 minutos. Com isso, a vazão desejada é de 300 L/10 min ou 30,0 L/min.

O modelo de bomba primeiramente selecionado é o FBE 1", cuja vazão é de 42 L/min, com potência de 0,4 cv e pressão de recalque de 0 kgf/cm². Após a adição de 50% de potência reserva, o manual técnico indica que a bomba a ser selecionada tem potência de 0,75 cv, vazão de 41 L/min e pressão de recalque de 4 kgf/cm².

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

A conscientização da população e o incentivo governamental acerca do reaproveitamento de óleos residuais de fritura constituem-se medidas urgentes para diminuir o volume desse resíduo descartado na natureza.

Existem várias alternativas de utilização do óleo residual de fritura para obtenção de outros produtos com diferentes valores agregados, os quais podem envolver desde pequenas a grandes empresas.

Os processos de produção de sabão e de produção de resinas podem ser implementados em pequenas empresas, conforme foi proposto no presente trabalho.

É importante que em trabalhos futuros, sejam realizadas análises detalhadas de viabilidade econômica desses tipos de projetos, tendo em vista que foram encontrados poucos dados em literatura sobre o retorno econômico deste tipo de empreendimento utilizando óleo residual de fritura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A TAL PINTURA. História das Tintas. Versão 2011. Disponível em: <<http://atalpintura.blogspot.com.br/p/historia-das-tintas.html>>. Acesso em: 14 maio 2015.

AGÊNCIA CNT. **Reaproveitamento de óleo usado gera impacto também na economia brasileira.** Agência CNT de notícias, Brasília, 15 out. 2014. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/paginas/Agencia_Entrevistas_Detalhe.aspx?e=71>. Acesso em: 26 jun. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Aprova o Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. **Resolução RDC Nº 270, de 22 de setembro de 2005**, Diário Oficial da União, Brasil, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Limpeza e Afins harmonizado no âmbito do Mercosul através da Resolução GMC Nº 47/07. **Resolução RDC Nº 40, de 05 de junho de 2008**, Diário Oficial da União, Brasil, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Assunto: Óleos e Gorduras Utilizados em Frituras.** Informe Técnico Nº 11, de 5 de outubro de 2004, Ministério da Saúde, Brasil, 2004.

AGENDA 21. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1995. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

ALBERICI, R. M.; PONTES, F. F. F. Reciclagem de óleo comestível usado através da fabricação de sabão. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1, p. 73-76, jan./dez., 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids: ASTM D445. United States of America*, 1964. 6 p.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 965 p.

BACHUS, L.; CUSTODIO, A. *Know and understand centrifugal pumps.* Oxford, UK: Elsevier, 2003. 264 p.

BOMAX. Catálogo de agitadores e misturadores verticais Agimax. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.bomax.com.br/pdfs/Agimax.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

BRANDAU, A. H. *Introduction to Coatings Technology. Philadelphia: Federation of Societies for Coatings Technology*, 1990. 46 p.

BRASÍLIA. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei Nº 2.074 de 19 de setembro de 2007.** Dispõe sobre a obrigação dos postos de gasolina, hipermercados, empresas vendedoras ou distribuidoras de óleo de cozinha e estabelecimentos similares de manter estruturas destinadas à coleta de óleo de cozinha usado e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=1256BF81C681B>

546AE882AC6D27E7FA2.node2?codteor=509100&filename=Avulso+-PL+2074/2007>.

Acesso em: 20 maio 2015.

BRASÍLIA. **Lei Nº 4.134, de 5 de maio de 2008.** Dispõe sobre a coleta, transporte e destinação final de óleos utilizados na fritura de alimentos no Distrito Federal e dá outras providências.

BROCKSOM, T. J. *et al.* A Reação de Diels-Alder no Início do Século Vinte Um. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 10, p. 2211-2218, 2010.

CAESB. Projeto Biguá. Disponível em: <<http://www.caesb.df.gov.br/projeto-bigua.html>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

CANAUD, C. **Dossiê Técnico Fabricação de Tintas.** Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2007.

CASTELLANELLI, C. A. **Estudo da viabilidade de produção do biodiesel, obtido através do óleo de fritura, na cidade de Santa Maria - RS.** 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

CENTRE FOR THE DEVELOPMENT OF INDUSTRY (CDI). Guide Soap Production, 1995, 70 p. Disponível em: <<http://www.nzdl.org/gsd/mod?e=d-00000-00---off-0cdl--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-0l--11-en-50---20-help---00-0-1-00-0-0-11-1-OutfZz-8-00-0-0-11-10-OutfZz-8-00&a=d&c=cdl&cl=CL4.30&d=HASH015bbb10c6f5cb2249d93782.9>>.

Acesso em: 08 maio 2015.

CHOE, E.; MIN, D.B. *Chemistry of Deep-Fat Frying Oils.* **Journal of Food Science**, Ohio, v. 72, n. 5, p. 77-86, 2007.

CIDADANIA Ecológica em Brasília. Reciclagem de óleos de frituras em Brasília. Versão 2011. Disponível em:

<<https://cidadaoecologicobrasiliense.wordpress.com/2011/06/20/reciclagem-de-oleos-de-frituras-de-alimentos/>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

COMERLATO, F. A baleia como recurso energético no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA AMBIENTAL E MIGRAÇÕES, 1., 2010, Florianópolis. Anais **Simpósio Internacional de História Ambiental E Migrações**. Florianópolis: UFSC, 2010. p. 1119-1138.

CORREIO BRAZILIENSE. Resto de óleo de cozinha abastecerá frota da Caesb. Versão 2010. Disponível em:

<http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2010/03/26/interna_cidadesdf,182082/resto-de-oleo-de-cozinha-abastecera-frota-da-caesb.shtml>. Acesso em: 20 jun. 2015.

CORSINI, M. S. *et al.* Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 956-961, 2008.

CUENCA, R. Tintas de Impressão. **Revista Tecnologia Gráfica**, São Paulo, ano 10, ed. 47, out., 2005. Disponível em: <<http://www.rickardo.com.br/epg/tintas.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

CURIOUS SOAPMAKER. What is soap - find out, 2012. Disponível em: <<http://curious-soapmaker.com/what-is-soap.html>>. Acesso em: 07 maio 2012.

DESER. Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil. Boletim eletrônico, **Conjuntura Agrícola**, Brasil, n. 157, jun. 2007, p. 1-10. Disponível em: <<http://www.deser.org.br/documentos/doc/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20consumo%20de%20C3%B3leos%20vegetais.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um motorizador**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira (SP), 2010.

DONADIO, P. A. **Manual Básico Sobre Tintas**, jan. 2011. Disponível em: <http://www.aguiaquimica.com/upload/tiny_mce/manual/manual_basico_sobre_tintas.pdf>. Acesso em: 17 maio 2015.

ELLIS, M. **A baleia no Brasil Colonial**. São Paulo: Melhoramentos, 1969. 235 p.

EMBRAPA. BIODIESEL: inovação para sustentabilidade. Cartilha, 2009. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23994/1/biodiesel-inovacao-para-sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2015.

FB BOMBAS. Bombas de engrenagens externas FBE. Versão 2015. Disponível em: <http://www.fbbombas.com.br/produtos/engrenagens/FBE/MANUAL%20TECNICO_FBE.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2015.

FAVORIT aços especiais. Aços inoxidáveis - Aço AISI 316 / AISI 316 L. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.favorit.com.br/produtos/acos-inoxidaveis/aco-aisi-316-aisi-316-l>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. São Paulo: Abrafati, 1993.

FENOQUÍMICA máquinas para sabões e sabonetes. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.fenoquimica.com.br/produtos/maquinas-reatormotorizado.php>>. Acesso em: 27 jun. 2015.

FILHO, S. T. *et al.* Sistema de análise estequiométrica para produção de sabão a partir do óleo vegetal residual: uma estratégia para redução do impacto ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** - REGET, Santa Maria, v. 15, n. 15, p. 3019-3025, 2013. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/10814/pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 813 p.

FREIRE, P. C. M.; FILHO, J. M.; FERREIRA, T. A. P. C. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 353-368, mai./jun., 2013.

GEANKOPLIS, C. J. **Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias**. 3. ed. México: CECSA, 1998. 1008 p.

GRABE. Filtros prensa *Flowpress*. Versão 2008. Disponível em: <http://www.grabe.com.br/filtroprensa.html?gclid=CjwKEAjwqqmsBRDGy_3h_eS80jYSJAC>

S95CvLXJY_7nQ0ktfeCL9al1LZnWfrmFKee0bok8Y8IotDxoCDbHw_wcB >. Acesso em: 01 jul. 2015.

HARE, C. H. *Protective Coatings: Fundamentals of chemistry and composition*. Pittsburg: Technology Publishing Company, 1994. 514 p.

HARTMANN, D. **Resinas Alquídicas Base Água Emulsionadas por Inversão de Fase**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HISTÓRICO dos movimentos ambientais no Brasil e no mundo. Disponível em: <[http://www.fec.unicamp.br/~bdta/premissas/historico.htm#HISTÓRICO DOS MOVIMENTOS AMBIENTAIS MUNDIAIS](http://www.fec.unicamp.br/~bdta/premissas/historico.htm#HISTÓRICO_DOS_MOVIMENTOS_AMBIENTAIS_MUNDIAIS)>. Acesso em: 11 jun. 2015.

HOFLAND, A. *Polymers Paint Colour Journal*, n. 182, v. 4301, p. 118, 1992.

IMBIL. Produtos BHI. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.imbil.com.br/Imbil/upload/produto/Portugues/BHI.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

INTERBRASIL S.A. Resinas Alquídicas. Versão 2014. Disponível em: <<http://www.interbrasilsa.com/produtos/resinas-alquidicas/>>. Acesso em: 15 maio 2015.

JUNIOR, O. S. R. P. *et al.* Reciclagem do Óleo de Cozinha Usado: uma Contribuição para Aumentar a Produtividade do Processo. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. **Key Elements For a Sustainable World: Energy, Water And Climate Change: [Resumos]**. São Paulo, 20 a 22 maio 2009. 10 f. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4b/2/M.%20S.%20Nogueira%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2015.

LAMBOURNE, R.; STRIVENS, T. A. *Paint and Surface Coatings: Theory and Practice*. 2. ed. *United States of America*: William Andrew Publishing, 1999. 784 p.

LEONARDO, R. Gorduras! Diário do Chef: gastronomia é muito mais do que só receitas, 2009. Disponível em: <<http://diariodochef.com.br/2009/02/19/gorduras/>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

LIBIO, I. C. **Óleo de fritura**: uma fonte natural reciclável utilizada na produção de resinas alquídicas. 2008. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LOSS, M. **Análise da Viabilidade Econômica do Recolhimento de Resíduos de Óleo de Fritura**. 2011. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MARTINS, G. B. C.; MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. Processos Térmicos em Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 16-25, 2013.

MAXVINIL. A empresa: óleo ecológico. Versão 2014. Disponível em: <<http://www.maxvinil.com.br/empresa.html>>. Acesso em: 30 maio 2015.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. *Operaciones unitarias em Ingeniería Química*. 6. ed. México: McGraw-Hill, 2002. 1224 p.

- MCMURRY, J. **Química Orgânica Combo**. 7.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 1149 p.
- MELLO, V. M. **Estudo da Polimerização Térmica de Óleos e Gorduras**. 2011. 54 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- MELLO, V. M. **Estudo dos comportamentos térmicos dos triacilglicerídeos, ácidos graxos e ésteres metílicos**: perfil reacional e mecanismos. Tese de doutorado em elaboração. Programa de pós-graduação em Química, Universidade de Brasília.
- MELLO, V. M. *et al.* **New metal catalysts active for thermal polymerization of vegetable oils. *Industrial Crops and Products***, v. 43, p. 56-60, 2013.
- MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. As Formulações de Tintas Expressivas Através da História. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 2-12, mar. 2012. Disponível em: < <http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewArticle/248>>. Acesso em: 10 abr. 2015.
- MELLO, V. M; OLIVEIRA, G. V. SUAREZ, P. A. Z. *Turning Used Frying Oil into a New Raw Material to Printing Inks. *Journal Brazilian Chemistry Society**, v. 24, n. 2, p. 1-6, 2013.
- MENDONÇA, M. A. *et al.* Alterações físico-químicas em óleos de soja submetidos ao processo de fritura em unidades de produção de refeição no Distrito Federal. **Revista Comunicação em Ciências da Saúde**, Brasília, v. 19, n. 2, p.115-122, 2008.
- MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P Sn(IV)-based Organometallics as Catalysts for the Production of Fatty Acid Alkyl Esters. **Catalysis Science & Technology**, London, v. 5, n. 765, p. 765-771, 2015. Disponível em: <<http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/CY/C4CY01535E>>. Acesso em: 18 maio 2015.
- METALBRAS. Chapas perfuradas. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.metalbrasne.com.br/categoria.php?cat=Chapas%20Perfuradas>>. Acesso em: 06 jul. 2015.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Aprova as Normas de Identidade, Qualidade, Embalagem, Marcação e Apresentação do Óleo e do Farelo de Soja. **Portaria Nº 795, De 15 de Dezembro de 1993**. Diário Oficial da União, Brasil, 1993.
- MONTENEGRO, M. A *et al.* Aproveitamento de Óleos e Gorduras Residuais para Obtenção de Produtos de Alto Valor Agregado: Formulação de Tinta de Impressão a Partir de Óleo Residual de Fritura. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 26-37, 2013.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998. 150 p.
- MOTTA, E. F. R. O. **Dossiê Técnico Fabricação de produtos de higiene pessoal**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2007.
- NELSON, D. L.; COX, M.M. **Lehninger**: Princípios de Bioquímica. 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002. 907 p.

NETO, O. G. Z.; PINO, J. C. D. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Química, 2008.

ONG TREVO. Empresa: Nosso Compromisso. Versão 2015. Disponível em: <<http://trevo.org.br/empresa.php>>. Acesso em: 26 maio 2015.

OSAWA, C. C.; GONÇALVES, L. A. G.; MENDES, F. M. Avaliação dos óleos e gorduras de fritura de estabelecimentos comerciais da cidade de Campinas/SP. As boas práticas de fritura estão sendo atendidas? **Revista de Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 1, p. 47-55, jan./mar., 2010.

PEREIRA, C. M. P. et al. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 10, p. 2013-2018, 2012.

PRINTI. Impressão Digital vs Impressão *offset*. Verão 2014. Disponível em: <<http://www.printi.com.br/blog/impressao-digital-vs-impressao-offset>>. Acesso em: 20 maio 2015.

PROGRAMA BIÓLEO duplamente sustentável. Disponível em: <<http://bioleo.org.br/programa-bioleo/descarte-inadequado/>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

PROJETO ÓLEO ZERO. Recipiente "Cata Óleo" que fica acoplado no botijão de gás de cozinha. Versão 2013. Disponível em: <<http://www.projetooleozero.com/futuramente.html>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 2-15, 2013.

REICHHOLD. **Catálogo de Principais produtos e resinas Reichhold para tintas de impressão gráfica**. Versão 2011. Disponível: <http://www.maxepoxi.com.br/pdf/reichhold_artes-graficas.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2015.

REQUE, T. P.; KUNKEL, N. Quantificação do óleo residual de fritura gerado no município de Santa Maria-RS. **Disc. Scientia**. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas. Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 50-63, 2010.

RIBAS, M. A. S.; LEONARDA, H. O Estudo de Viabilidade para a Implantação de uma Fábrica de Sabão Ecológico Segundo os Princípios da Economia Solidária. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28. 2008. Rio de Janeiro. **A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável**: [resumo]. Rio de Janeiro: APEPRO, 2008. 14 f. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/267796242_O_ESTUDO_DE_VIABILIDADE_PARA_A_IMPLANTAO_DE_UMA_FBRICA_DE_SABO_ECOLGICO_SEGUNDO_OS_PRINCIPIOS_DA_ECONOMIA_SOLIDRIA/links/54b427650cf28ebe92e45b68.pdf>. Acesso em: 23 maio 2015.

ROBBERTS, T. C. **Food plant engineering systems**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2002. 203 p.

RODRIGUES, L. B.; COUTINHO, J. P.; SILVA, C. A. Proposta de reaproveitamento do óleo de fritura residual em um restaurante industrial. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 136-145, 2010.

SABÃO GLICERINA. *Cold Process*, 2015. Disponível em: <<http://www.sabaoeglicerina.com.br/p-17-saboaria-cold-process>>. Acesso em: 09 maio 2015.

SABESP. Programa de Reciclagem de Óleo de Fritura da Sabesp. Versão 2015. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/programa_reciclagem_oleo_completo.pdf>. Acesso em: 26 maio 2015.

SANTANA, A. F.; OLIVEIRA, T. T. C. FERNANDES, S. H. Oleoquímica: Reciclagem de Óleo De Soja Usado para Produção de Resinas Alquílicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 63., 2011, Goiânia. **Cerrado: Água, Alimento e Energia**: [resumos]. Goiânia: SBPC, 2011. 4 f. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/arquivos/jovem/67oleoquimica.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

SILVA, B. G.; PUGET, F. P. Sabão de sódio glicerinado: produção com óleo residual de fritura. **Revista Enciclopédia Biosfera** - Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-15, 2010.

SILVA, J *et al.* Fabricação de sabão com óleos usados em fritura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 49.; 2009, Porto Alegre. **A Química e a Sustentabilidade**: [resumos]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Química (AEQ), 2009. 1 f. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2009/trabalhos/4/4-440-5460.htm>>. Acesso em: 11 maio 2015.

SILVA, José. **Estudo de Tintas Autolimpantes e Purificadoras**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, 2013.

SILVA, M. *et al.* Reciclagem de óleos residuais para a produção de sabão no município de Itapetinga-BA. Extensio - **Revista Eletrônica de Extensão**, Florianópolis, v. 9 n. 13 p. 106-120, 2012.

SÓ FÍSICA. Hidrostática. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/EstaticaeHidrostatica/pressao.php>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

TAVARES, J. Organizando o descarte. **Revista biodieselbr**, São Paulo, ano 8, n. 46, p. 22-25, maio/jun., 2015.

TECÉM. Viscosidade. Equivalência entre centistokes e SSU. Versão 2015. Disponível em: <<http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2013/03/LB03-oleos-lubrificantes-classificacao-sae-tecem1.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

TERRON, L. R. **Operações Unitárias para Químicos, Farmacêuticos e Engenheiros**: Fundamentos e Operações Unitárias do Escoamento de Fluidos. 1. ed. São Paulo: LTC, 2012. 612 p.

THE ENGINEERING ToolBox. Disponível em: <http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html>. Acesso em: 02 jul. 2015.

UCHIMURA, M. S. **Dossiê Técnico Sabão**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Paraná: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.

VELOSO, Y. M. S. *et al.* Rotas para reutilização de óleos residuais de fritura. **Cadernos de graduação** - Ciências Exatas e Tecnológicas, Sergipe, v. 1, n. 15, p. 11-18, 2012.

VERONA, C.C. **Estudo do Impacto da Variabilidade de Resinas Alquílicas nas Propriedades de Tintas**. 2004. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VINEYARD, P. M.; FREITAS, P. A. M. Estudo e caracterização do processo de fabricação de sabão utilizando diferentes óleos vegetais. Escola de Engenharia Mauá, 2014. Disponível em: <www.maua.br/arquivos/index/h/897b490558d1a4842ee059d0dc3b007e>. Acesso em: 01 jul. 2015.

ZANIN, S. M. W. *et al.* Desenvolvimento de sabão de base transparente. **Revista Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 19-22, jan./jun., 2001.

ANEXOS

ANEXO 1 - Manual técnico da empresa IMBIL para seleção da bomba de cavidade progressiva.

Linha

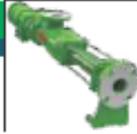
BHI "Helicoidal"



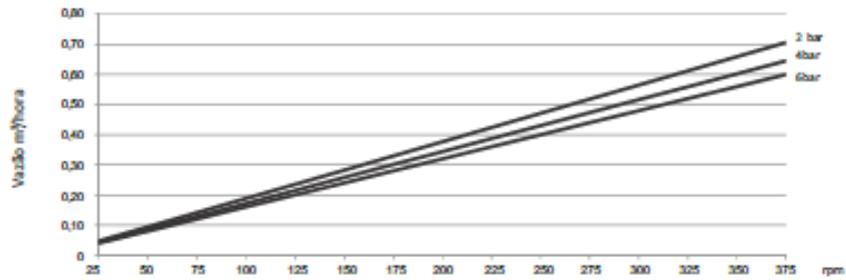
 **IMBIL**[®]
Soluções em Bombeamento

Bombas BHI

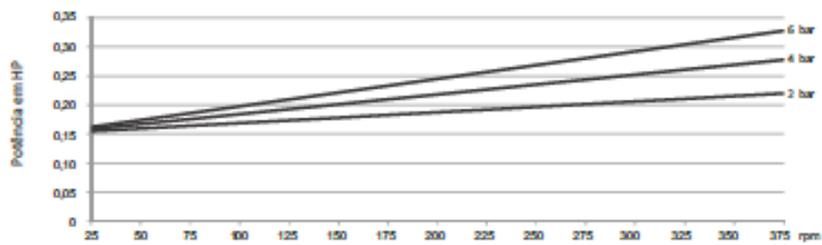
"HELICOIDAL"



BHI 15 L

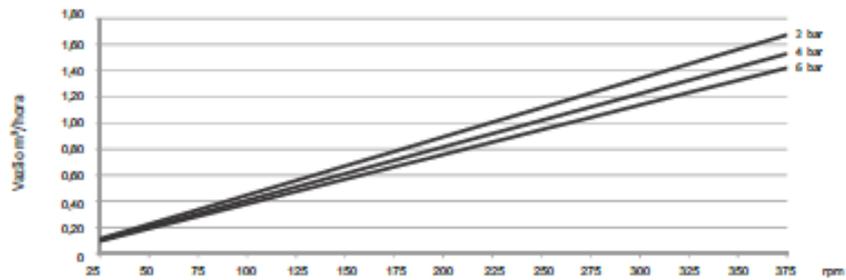


Valores válidos para água (1 cP) a temperatura de 25°C

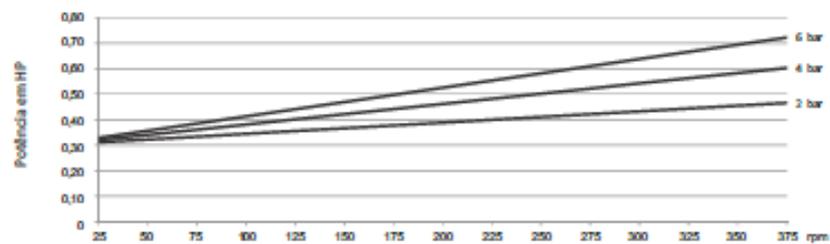


Potência Friccional 0,07 hp

BHI 20 L



Valores válidos para água (1 cP) a temperatura de 25°C



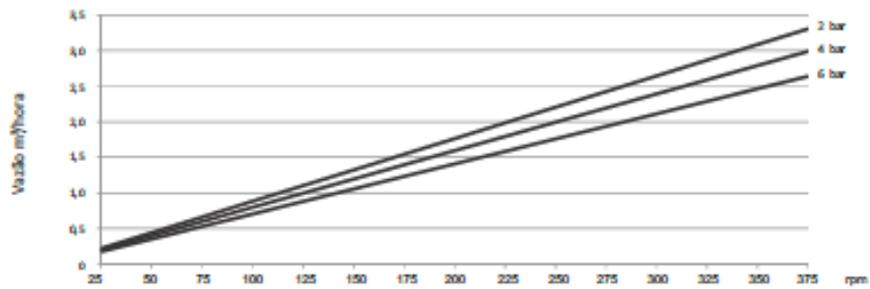
Potência Friccional 0,16 hp

Bombas BHI

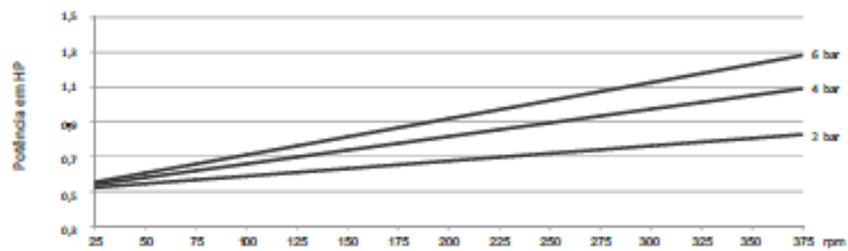
"HELICOIDAL"



BHI 25 L

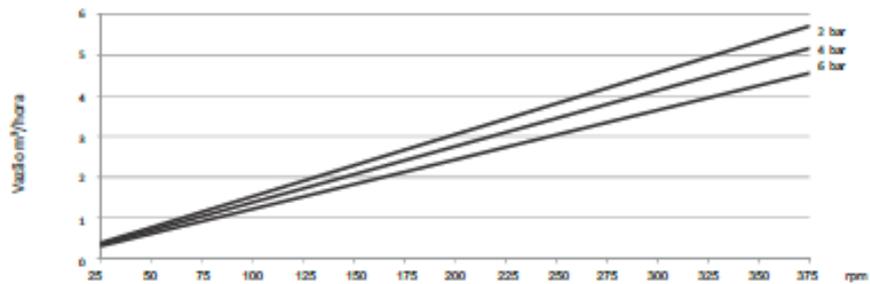


Valores válidos para água (1 cP) a temperatura de 25°C

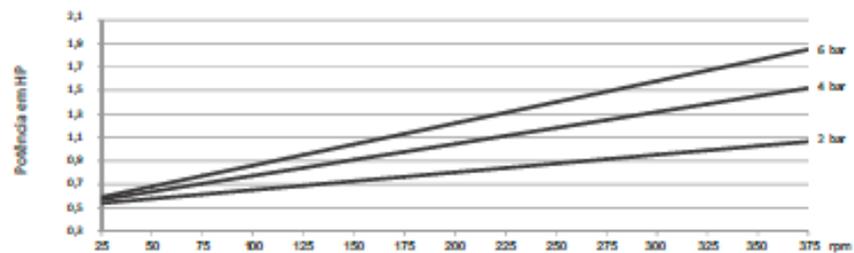


Potência Friccional 0,32 hp

BHI 30 L

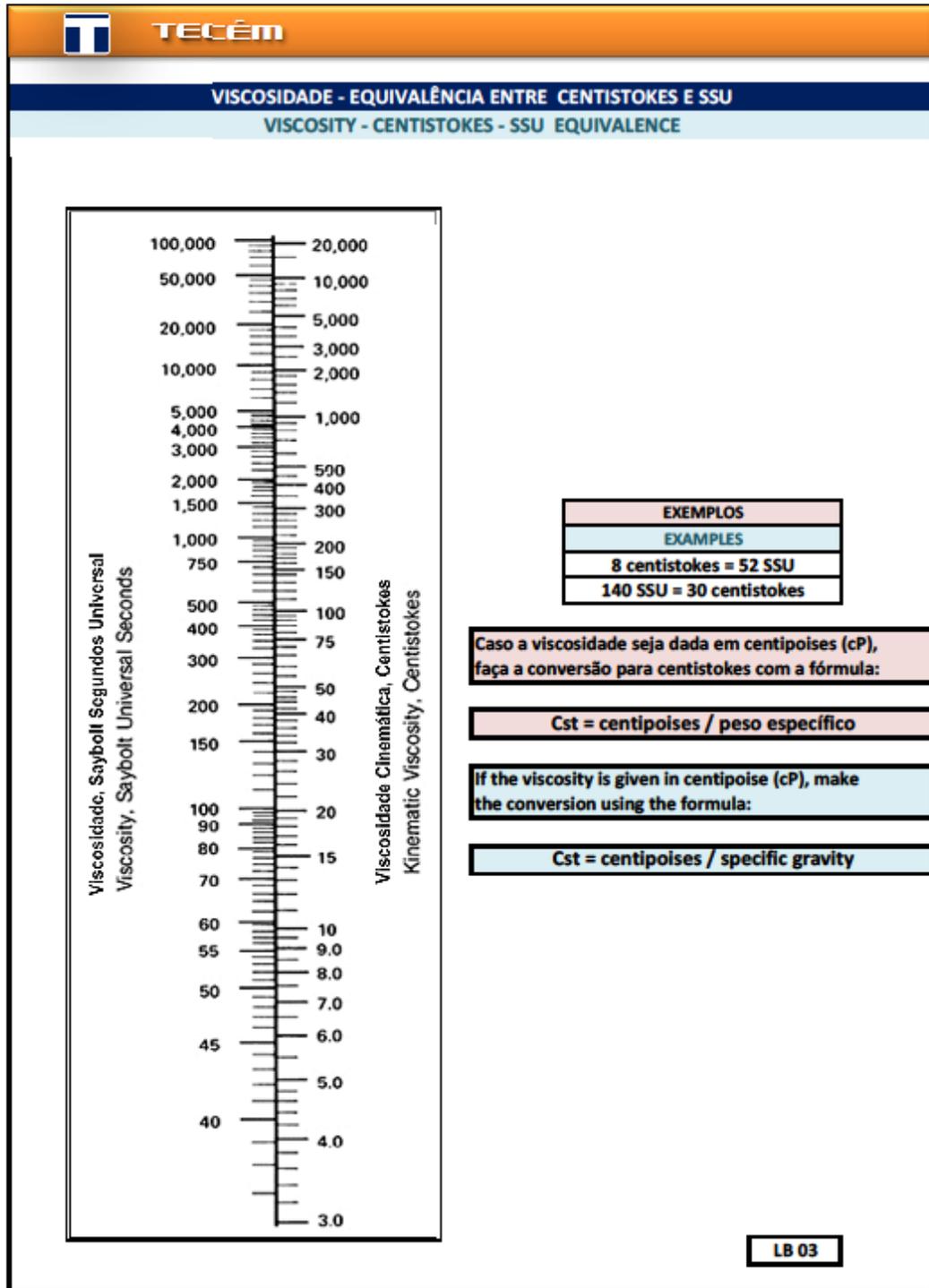


Valores válidos para água (1 cP) a temperatura de 25°C



Potência Friccional 0,48 hp

ANEXO 2 - Escala de conversão de viscosidades com equivalência entre centistokes e SSU



ANEXO 3 - Manual técnico da empresa FB Bombas para seleção de bombas de engrenagens externas.

BOMBA DE ENGRENAGENS EXTERNAS FBE



MANUAL TÉCNICO

Série: FBE



Aplicação

Desenvolvida para trabalhar com fluidos viscosos, em inúmeras aplicações, tais como indústrias químicas, petroquímicas, papel, polpa, siderúrgica, mineração, alimentícia, têxtil, farmacêutica e saneamento.

Descrição Geral

Construção composta por corpo com pés para fixação na base, eixos apoiados sobre mancais, engrenagens com dentes helicoidais montada uma sobre a outra denominada motriz e acionada. Vedação selecionada conforme aplicação do fluido bombeado, alojada na região frontal da bomba.

Denominação

Marca	FB	E	2"
Modelo (Engrenagens Externas)			
Diâmetro nominal do bocal de sucção e recalque (polegada)			

Dados de Operação

- Tamanhos: DN 1/8" até 6"
- Vazões: até 390m³/h
- Altura manométrica: até 220m
- Temperaturas: até 350°C
- Rotação: 1750rpm



BOMBA DE ENGENHAGENS EXTERNAS FBE

1. Tabela de Seleção Rápida

1.1 Viscosidade inferior a 1000SSU- 60Hz

TABELA DE SELEÇÃO DAS BOMBAS DE ENGENHAGENS EXTERNAS MODELO FBE (viscosidade inferior a 1000 SSU)															
Modelo	RPM	Vazão Potência	Pressão de Recalque (Kg/cm ²)												
			0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
FBE 1/8"	1150	l/min CV	3,5 0,05	3,4 0,07	3,3 0,09	3,2 0,11	3,1 0,13	3 0,15	2,9 0,18	2,7 0,21	2,5 0,24	2,3 0,27	2 0,3	1,7 0,34	
	1750	l/min CV	5,15 0,07	5 0,09	4,85 0,12	4,7 0,14	4,55 0,17	4,4 0,19	4,25 0,23	4,1 0,27	3,95 0,31				
FBE 1/4"	1150	l/min CV	6 0,1	5,9 0,14	5,8 0,18	5,7 0,22	5,6 0,26	5,4 0,3	5,2 0,35	5 0,42	4,8 0,48	4,6 0,54	4,2 0,6	3,7 0,68	3,1 0,8
	1750	l/min CV	8,9 0,13	8,7 0,18	8,5 0,23	8,3 0,28	8,1 0,33	7,9 0,39	7,7 0,45	7,4 0,54	6,8 0,62				
FBE 3/8"	1150	l/min CV	9,5 0,15	9,4 0,17	9,3 0,23	9,2 0,29	9,1 0,35	8,9 0,42	8,8 0,49	8,2 0,58	7,7 0,68	7,1 0,8	6,5 0,92	5,8 0,98	
	1750	l/min CV	14 0,19	13,9 0,22	13,8 0,3	13,6 0,34	13,4 0,4	13,1 0,47	12,7 0,55	12,1 0,64	11,4 0,74				
FBE 1/2"	1150	l/min CV	12 0,3	11,9 0,4	11,8 0,5	11,7 0,6	11,6 0,7	11,4 0,8	11,2 0,9	10,8 1,0	10,2 1,1	9,6 1,2	9 1,3	8,2 1,4	
	1750	l/min CV	17,7 0,39	17,6 0,52	17,5 0,65	17,3 0,8	17,1 0,97	16,8 1,1	16,4 1,3	16,1 1,5	15,6 1,7	15,1 1,9	14,5 2,1		
FBE 3/4"	1150	l/min CV	30 0,4	29,5 0,5	29 0,75	28,5 1	28 1,4	27,5 1,75	27 2	26,5 2,3	26 2,7	25,5 3	25 3,2	24,5 3,5	
	1750	l/min CV	44,4 0,4	43,6 0,5	42,8 0,9	42 1,2	41 1,7	40 2	39,5 2,4	39 2,9	38,5 3,4	38 3,9	37,5 4,4	37 4,9	
FBE 1"	1150	l/min CV	42 0,4	41,5 0,5	41 0,75	40,5 1	40 1,5	39,5 2	39 2,5	38,5 3	38 3,5	37,5 4	37 4,5	36,5 5	
	1750	l/min CV	62 0,6	61,5 0,7	61 1,1	60 1,7	59,5 2,3	59 3	58,5 3,7	58 4,4	57,5 5,1	57 5,8	56,5 6,5	56 7,2	
FBE 1" A	1150	l/min CV	50 0,75	49 1	48 1,5	47 2	46,5 2,5	46 3	45,5 3,7	45 4	44,5 4,5	44 5,2	43,5 6	43 7,5	
	1750	l/min CV	74 0,75	72,5 1	71 1,5	69 2	67 3	65 3,5	63 4	61 4,5	59 5,2	57 6	55 7	53 8	
FBE 1" D	1150	l/min CV	60 0,75	59,5 1	59 1,5	58,5 2	58 2,5	57,5 3	57 3,7	56,5 4,5	56 5,2	55,5 6	55 7	54,5 8	
	1750	l/min CV	88,6 0,75	88 1	87,3 1,5	86,6 2,2	85,8 3,1	84,9 3,9	83,8 4,9						
FBE 1" DA	1150	l/min CV	75 1	74 1,5	73 2	71,5 2,5	7 3	68,5 3,7	67 4,5	66 5,2	65 6	64 7,2	63 8,5	62 10	
	1750	l/min CV	112 1	110 1,5	108 2,4	105 3,3	104 4	101 4,9	99 5,9	98 6,9	97 8	96 9,1	95 10,2	94 11,3	
FBE 1.1/2" FBE 1.1/2" CA	1150	l/min CV	100 3	99 4	98 5	97 5	96 7	95 8	94 9	93 10	92 11	91 12	90 13	89 14	
	850	l/min CV	70 1,5	69 2	68 2,5	67 3	66 3,5	65 4	64 4,5	63 5	62 5,5	61 6	60 6,5	59 7	
FBE 1.1/2" A FBE 1.1/2" CA A	1150	l/min CV	133 3,5	131 4	129 5	127 6	125 7,5	123 9	121 10,5	117 12,4					
	850	l/min CV	94 1,75	92 2	90 2,5	88 3	86 3,8	84 4,4	81 4,75	78 5,2	76 5,8	74 6,4	72 7,1	70 7,8	
FBE 2" FBE 2" CA	1150	l/min CV	200 4,5	198 6	196 7	194 8	192 9	190 10	188 11	186 12	184 13,5	182 15	180 17	178 19	
	850	l/min CV	139 2,8	138 3	137 3,5	136 4,2	135 5,3	133 6,3	131 7,9	129 9,3					
FBE 2" A FBE 2" CA A	1150	l/min CV	275 7,5	269 9	267 11	264 12	261 15	259 18	256 20						
	850	l/min CV	188 3,8	187 4,5	186 5,5	185 6	184 7,5	182 9	181 10						
FBE 3" FBE 3" CA	1150	l/min CV	500 10	498 12	496 15	493 18	490 20	488 25							
	850	l/min CV	351 6	349 6,5	347 7,5	345 9	343 13	340 17,2	337 21,4						
FBE 3" M9 FBE 3" M9 CA	1150	l/min CV	600 12,5	597 15	595 19	592 21	588 25								
	850	l/min CV	420 6,4	418 7,5	416 8,5	414 12	411 17								
FBE 4" M6 FBE 4" M6 CA	1150	l/min CV	650 11	645 15	640 21	635 25	630 25								
	850	l/min CV	455 6	452 8	448 11	444 12	440 17								
FBE 4" M8 FBE 4" M8 CA	1150	l/min CV	1000 15	985 20	980 25	975 30	970 35								
	850	l/min CV	700 7,5	695 10	692 15	688 21	684 30								
FBE 4" M12 FBE 4" M12 CA	1150	l/min CV	1350 20	1343 25	1336 30	1329 35									
	850	l/min CV	945 10	940 12,5	935 18	930 25									
FBE 5" FBE 5" CA	1150	l/min CV	3850 25	3800 40	3750 61	3700 122	3607 162								
	850	l/min CV	2848 22	2809 31	2772 60	2735 90	2710 120								
FBE 6" FBE 6" CA	1150	l/min CV	2950 24,2	2895 22,98	2890 45,9	2885 68	2880 91								
	850	l/min CV	6550 90	6530 144	6520 217	6510 289	6500 361								
FBE 8" CA	1150	l/min CV	3950 68	3918 95	3912 126	3906 173	3903 216								
	850	l/min CV	2950 42	2918 60	2912 81	2906 108	2903 144								

Tabela 1 – Informações técnicas

BOMBA DE ENGRENAGENS EXTERNAS FBE



Os modelos de bombas mencionadas abaixo, também se referem aos modelos "A", "CA", "CA-A"

Viscosidade (SSU)	Rotação (rpm)	Transmissão	Modelos
30 A 250	1750	DIRETA	FBE 1/8" - 1/4" - 1/2" - 3/4" - 1" - 1" D
250 A 2500	1150	DIRETA	FBE 1/8" - 1/4" - 1/2" - 3/4" - 1" - 1" D - 1.1/2" - 2" - 3" - 4" - 5"
2500 A 7500	850	DIRETA	FBE 1/2" - 3/4" - 1" - 1" D - 1.1/2" - 2" - 3" - 4" - 5" - 6"
7500 A 10000	700 - 500	POLIA OU REDUTOR	FBE 1.1/2" - 2" - 3" - 4" - 5" - 6"
10000 A 50000	500 - 300	POLIA OU REDUTOR	FBE 1.1/2" - 2" - 3" - 4" - 5" - 6"
50000 A 100000	300 - 150	POLIA OU REDUTOR	FBE 3" - 4" - 5" - 6"

Tabela 2 – Informações técnicas

PRESSÃO Kg/cm ²	VISCOSIDADE EM SSU											
	1000	3000	6000	7000	9000	10000	30000	50000	70000	90000	100000	250000
3	26	20	18	16	15,5	15	11	10	8,5	8	8	6
7	40	32	28	26	25,5	25	20	17	16	15	14	11
11	43	38	35	34	32	30	25	22	21	20,5	20	17
15	45	42	40	37	36	35	30	28	26	25	25	22

Tabela 3 – Informações técnicas

Recomendam-se os valores citados abaixo, para reserva de potência na escolha dos motores comerciais.

Potência Ncv BHP	Até				
	2cv	3 a 5cv	6 a 10cv	11 a 25cv	Acima de 25cv
Reserva de Potência	50%	30%	25%	15%	10%

Tabela 4 – Informações técnicas

1.2 Nomenclaturas

- A – Engrenagem com diâmetro maior
- CA – Com Câmara de Aquecimento
- D – Engrenagem com comprimento maior
- DA – Engrenagem com comprimento e módulo maior
- M9 – Engrenagem com módulo 9
- M6 – Engrenagem com módulo 6
- M8 – Engrenagem com módulo 8
- M12 – Engrenagem com módulo 11