

# Estudo comparativo da viabilidade técnica e econômica da reutilização do óleo residual de fritura

**Beatriz Caroline Meyer\*; Felipe Zanghelini Benevenuti; Jeferson Nascimento Correia; Luana Alchini; Luana Vanessa Bruch; Matheus Henrique Pires da Silva**

Discentes do Curso Técnico em Química (Modalidade Integrado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul.

\*e-mail: beatrizcarolinemeyer@gmail.com

## **Giovani Pakuszewski**

Docente da Unidade Curricular de Química Analítica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul.

e-mail: giovani.quimica@gmail.com

**Resumo-** Neste trabalho, comparou-se técnica e economicamente a reutilização do óleo residual de fritura na produção de sabão, biodiesel e resina alquídica, contribuindo para a revalorização e melhor destinação do óleo residual, que acarreta diversos impactos negativos quando descartado incorretamente no meio ambiente, como a impermeabilização do solo e o extermínio da vida aquática. De acordo com a Lei nº 9605, de 13 de fevereiro de 1998, o descarte de óleo residual doméstico na rede de esgoto é considerado crime ambiental. Desta forma, é fundamental a transformação do óleo residual em matérias-primas que possam ser inseridas no sistema produtivo, garantindo-se assim o desenvolvimento sustentável. As sínteses dos três produtos a partir do óleo já purificado envolveram três reações principais: a transesterificação do biodiesel, a saponificação do sabão e a esterificação da resina alquídica. A partir de análises dos custos de produção e dos custos médios comerciais dos produtos, bem como das metodologias utilizadas, buscou-se comparar a síntese dos três produtos, técnica e economicamente. Constatou-se que a síntese do sabão é a mais viável técnica e economicamente, em bancada, e que apesar das sínteses de biodiesel e resina alquídica não se mostrarem viáveis técnica e economicamente, em bancada, seus preços comerciais indicam a otimização de sua produção em escala industrial.

**Palavras-chave:** Óleo residual. Biodiesel. Sabão. Resina alquídica.

**Abstract-** This paper aimed to compare technically and economically the reuse of residual frying oil in the production of soap, biodiesel and alkyd resin, contributing to the revaluation and better allocation of residual oil, which leads to various negative impacts when improperly disposed in the environment, such as soil sealing and the death of aquatic life. According to Law No. 9605, February 13<sup>rd</sup>, 1998, the disposal of domestic oil into the sewage system is considered an environmental crime. Thus, the transformation of the residual oil into raw materials that can be inserted in the production system is essential, ensuring the sustainable development. The syntheses of the three products from the purified oil involved three main reactions: transesterification of biodiesel, soap saponification and esterification of the alkyd resin. From calculations about production costs and sales of products, as well as analyzes of the used methods, we sought to compare the synthesis of the three products technically and

*economically. Through this paper, it was found that the soap synthesis is more technically and economically feasible, on laboratory scale, and despite the biodiesel synthesis and the alkyd resin synthesis don't prove feasible technically and economically, on laboratory scale, their commercial prices indicate the optimization of their production on an industrial scale.*

**Keywords:** Residual oil. Biodiesel. Soap. Alkyd resin.

## 1 Introdução

Nos últimos anos o consumo de alimentos fritos vem aumentando devido à necessidade de uma alimentação rápida e que exija um menor tempo de preparação, o que gera uma grande quantidade de óleo residual. Em Jaraguá do Sul, por exemplo, o programa municipal de coleta de óleo residual arrecada cerca de 300 litros de óleo residual mensalmente. Contudo, o óleo residual, na maioria das vezes, acaba sendo descartado incorretamente e causa diversos problemas ambientais. O descarte de óleo no solo pode causar a impermeabilização do solo, impedindo a entrada de água e ocasionando a destruição vegetativa do solo; quando o óleo residual entra em contato com a água dos rios e mares, este impede a entrada de luz e oxigênio, exterminando grande parte da vida aquática presente naquele local. Estes problemas ambientais são de extrema relevância, levando-se em conta que um único litro de óleo despejado no esgoto tem capacidade de poluir cerca de um milhão de litros de água (o correspondente ao consumo de uma pessoa durante 14 anos) (BIOLEO, 2015; COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008).

Conforme a Lei nº 9605, de 13 de fevereiro de 1998, o descarte de óleo residual doméstico na rede de esgoto é considerado crime ambiental, sob pena de reclusão, desde que resulte ou possa resultar em danos à saúde humana ou que provoque a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora (BRASIL, 1998).

A revalorização dos resíduos urbanos, como o óleo de fritura usado, é uma alternativa ao seu descarte, possibilitando a sua transformação em matérias-primas que possam ser inseridas no sistema produtivo, garantindo-se assim o desenvolvimento sustentável. Dentre as alternativas de reaproveitamento do óleo de fritura, optou-se pelo estudo de três produtos muito sintetizados por empresas especializadas na reciclagem do óleo, conforme levantamento bibliográfico, sendo eles: biodiesel, resina alquídica e sabão.

O biodiesel, de acordo com a Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) nº 14, de 11 de maio de 2012, é definido como um “combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal”. Ele substitui total ou parcialmente o diesel de petróleo em motores e pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. Como combustível, apresenta diversas vantagens sobre os derivados do petróleo, como qualidade de combustão superior, redução das emissões de poluentes e biodegradabilidade. O principal

método de produção do biodiesel é o processo de transesterificação, em que um triacilglicerol (comumente o óleo de soja) reage com um álcool (metanol ou etanol), com o auxílio de um catalisador (normalmente hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH)) (BRASIL, 2015a; KNOTHE et al., 2006 apud BOTELHO, 2012; FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; BRASIL, 2015b; RAMOS et al., 2011; PARENTE, 2003).

As resinas alquídicas também são fabricadas com recursos renováveis e são o tipo mais antigo de polímero produzido em escala industrial. Dentre os diversos tipos de resinas utilizadas na área de tintas, as resinas alquídicas detêm até os dias de hoje a maior parcela do mercado mundial de tintas não aquosas. Caracterizam-se pelas excelentes propriedades de molhabilidade, adesão, brilho, secagem, nivelamento e compatibilidade com outros tipos de resina. Para se obter resinas alquídicas pode-se utilizar o método de “reação a partir de monoglicerídeos” ou o método de “reação a partir de ácidos graxos”. Elas são produtos formados a partir da reação de ácidos polibásicos (poliácidos) e álcoois poli-hídricos (polióis) na presença de ácidos graxos, ou óleo vegetal modificado com álcool. Estas reações correspondem a alcoólise e esterificação (HARTMANN, 2011).

A produção de sabão através do óleo de fritura é considerada a mais simples produção de reciclagem, permitindo-se que haja um ciclo de vida deste produto. O sabão exerce um papel importantíssimo na limpeza porque consegue interagir tanto com substâncias polares quanto com substâncias apolares. Além disso, é um produto biodegradável: a ausência de ramificações nas cadeias carbônicas facilita a degradação dos microorganismos. Quimicamente, os sabões são formados pela hidrólise básica dos ésteres presentes nos ácidos graxos, na presença de calor, reação conhecida como saponificação (RABELO, 2008 apud BELO et al., 2014; ZAGO NETO; DEL PINO, 1997; PERUZZO; CANTO, 2003; LEHNINGER, 2006; OLIVEIRA, 2011).

Portanto, o presente artigo apresenta os resultados de um estudo preliminar, cujo objetivo principal foi comparar a viabilidade técnica e econômica da síntese de biodiesel, sabão e resina alquídica a partir da reutilização do óleo residual de fritura.

## **2 Materiais e métodos**

### **2.1 Coleta e pré-tratamento do óleo residual de fritura**

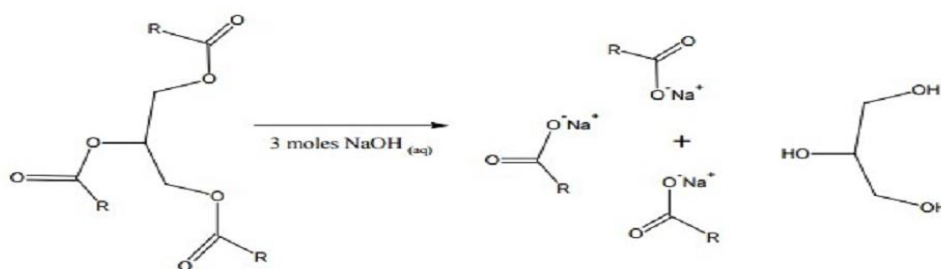
A etapa inicial da presente pesquisa consistiu na coleta do óleo residual de fritura doméstico, obtido pelos integrantes da equipe. Este foi armazenado em garrafas PET (politereftalato de etileno) até o momento de sua utilização. Estima-se ter coletado cerca de 18 L de óleo.

Em seguida, o primeiro ensaio realizado foi o pré-tratamento do óleo residual de fritura, que correspondeu à filtração e ao aquecimento (40 °C) do mesmo, para a redução dos níveis de acidez e de umidade do óleo (PARENTE, 2003; BOTELHO, 2012).

Foram purificados apenas 4 L de óleo residual, quantidade suficiente para as sínteses de sabão, biodiesel e resina. Após a filtração, não foram verificados contaminantes sólidos presentes no óleo purificado.

## 2.2 Síntese do sabão

Quimicamente, os sabões são formados pela hidrólise básica dos ésteres presentes nos ácidos graxos, na presença de calor, produzindo glicerol e sais desses ácidos graxos (sabão) em uma reação conhecida como saponificação (Fig. 1) (LEHNINGER, 2006; OLIVEIRA, 2011).



**Figura 1: Esquema da reação de hidrólise básica de um triacilglicerídeo (saponificação) com a formação de carboxilatos (sabão) e glicerol.**

Fonte: Fernandes, 2009.

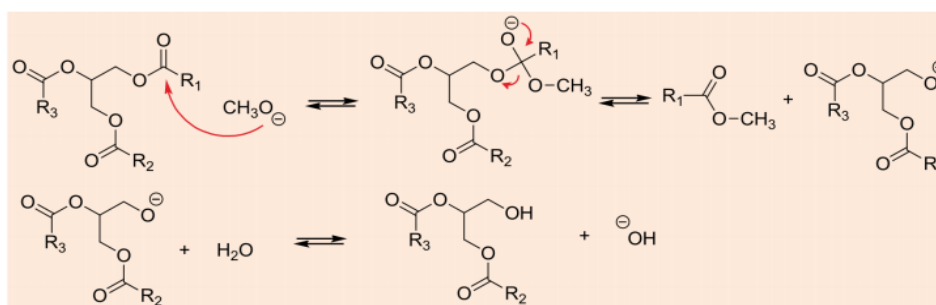
A metodologia utilizada para a síntese do sabão foi a proposta por Vitori e Frade (2015) e consistiu na mistura de água, álcool, soda cáustica e óleo purificado, na proporção de 1: 1: 2,5: 10, respectivamente, sendo essa relação em mililitros. Partindo desta proporção e utilizando provetas, foram medidos 10 mL de água potável (à temperatura ambiente), 10 mL de etanol, 25 mL de soda cáustica e 100 mL de óleo residual purificado. Foram realizadas três bateladas de síntese do sabão, no mesmo dia (temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C e umidade relativa do ar de 54%).

As reações de saponificação foram realizadas diretamente dentro de garrafas PET, previamente lavadas e secas com etanol. Inicialmente, o óleo foi despejado na garrafa PET, seguido pela adição da soda cáustica, da água e do etanol. A garrafa PET foi então fechada e agitada manualmente por 10 minutos. Devido a reação exotérmica, durante a agitação ocorre aquecimento da massa e ao término do processo o sabão apresenta textura pastosa, passando então pelo processo de cura durante 7 dias. Após isso, os sabões foram retirados das garrafas PET e pesados em uma balança semi-analítica. Por fim, foram feitas soluções 1% (m/m) de cada sabão para a determinação do pH dos mesmos, de acordo com orientações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (2008), para verificar se os

sabões sintetizados estavam de acordo com o pH de um produto domi-sanitário seguro para uso humano.

### 2.3 Síntese do biodiesel

O principal método de produção do biodiesel é a reação de transesterificação, em que um mol de triacilglicerol (comumente o óleo de soja) reage com três mols de álcool (metanol ou etanol), com o auxílio de um catalisador (normalmente NaOH ou KOH na catálise básica) (Fig. 2). Apesar de a razão molar (RM) entre o álcool e o óleo ser de 3 mols de álcool para 1 mol de óleo, costuma-se utilizar um excesso de álcool, como 6:1 ou 12:1, para que ocorra um deslocamento do equilíbrio para a maior produção de ésteres graxos (RAMOS et al., 2011; PARENTE, 2003).



**Figura 2: Mecanismo de transesterificação metílica de triglicerídeos em meio alcalino.**

Fonte: Ramos et al., 2011.

A metodologia utilizada para a síntese do biodiesel foi baseada no roteiro de aula prática da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2015). A metodologia baseada nos autores Ferrari; Oliveira; Scabio (2005) e Christoff (2006) apresentava diferenças nas quantidades de reagentes, devido à etapa de determinação da quantidade de ácidos graxos livres (AGLs) no óleo purificado, e na transesterificação, reação conduzida na temperatura próxima e inferior ao ponto de ebulição do álcool (50 °C), em uma chapa de aquecimento (500 W) com agitação, na capela. Devido ao alto rendimento das duas metodologias, optou-se pela primeira, que apresentou maior praticidade. Além disso, foi realizada apenas a transesterificação metílica, devido ao seu maior rendimento, conforme testes realizados e dados da literatura.

Dessa forma, a metodologia de síntese do biodiesel consistiu nas seguintes etapas: transesterificação; separação das fases biodiesel e glicerina e lavagem e secagem do biodiesel. Foram realizadas três bateladas de síntese do biodiesel e estas foram iniciadas e finalizadas em dias diferentes, sendo que a transesterificação foi realizada em um dia (temperatura ambiente de 26,3 °C e umidade relativa do ar de 63%) e a separação, lavagem e secagem em outro (temperatura ambiente de 28,7 °C e umidade relativa do ar de 67%).

Inicialmente, foi realizada a reação de transesterificação do óleo purificado. O primeiro ensaio consistiu nas pesagens do óleo em uma balança semi-analítica, cujas massas foram: óleo A: 50 g; óleo B: 50,04 g e óleo C: 50 g. Em seguida, foram feitas três dissoluções de 0,360 g de NaOH em escamas (pesados em uma balança semi-analítica) em 20 mL de metanol P.A (medidos em uma proveta), para a formação dos íons alcóxidos. Após isso, a mistura foi adicionada a um balão de fundo redondo, em que posteriormente foram adicionadas pérolas de vidro. A reação foi conduzida em sistemas de refluxo pelo período de uma hora.

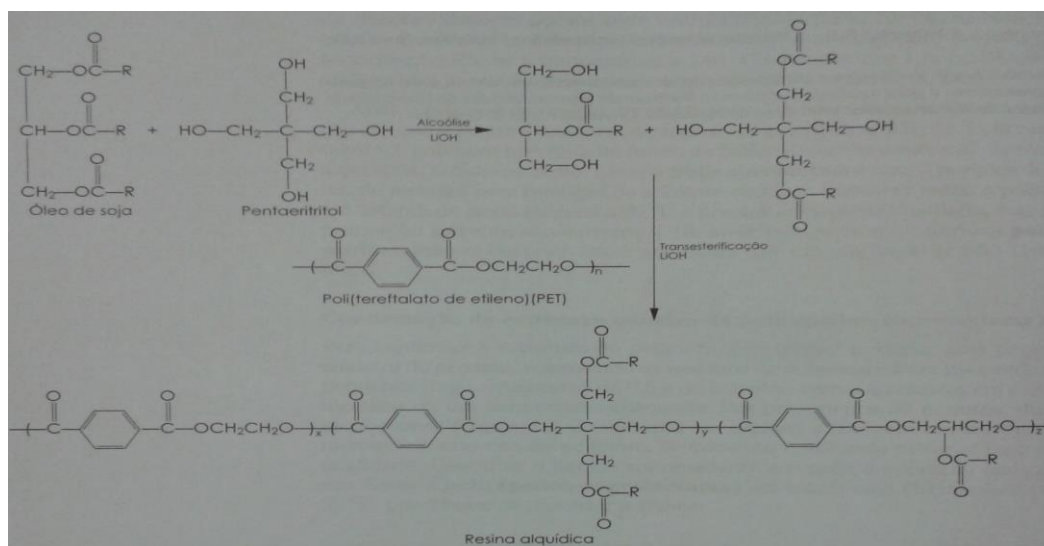
Após a reação de transesterificação, a mistura de biodiesel e glicerina foi transferida para um funil de decantação e permaneceu decantando por cerca de 15 minutos, quando foi separada a glicerina (fase mais densa e de coloração avermelhada) do biodiesel (fase menos densa e de coloração amarelada), que foi então armazenada.

Utilizando uma proveta, foram feitas cinco lavagens do biodiesel com 16 mL de água destilada para a remoção de sabão, glicerina, catalisador e álcool em excesso (fase inferior), sendo que o procedimento foi repetido até a mudança da coloração da fase inferior (de branco para mais transparente) e a mudança do pH para próximo de 7, verificada por fitas de pH. Por fim, foi feita a secagem do biodiesel na chapa de aquecimento, até que o mesmo ficasse límpido, por cerca de 10 minutos.

A confirmação da formação do biodiesel foi feita através do teste de chama, que consistiu no surgimento de uma chama intensa, quando um fósforo aceso foi aproximado à superfície do biodiesel, sendo que todas as bateladas obtiveram resultado positivo.

## **2.4 Síntese da resina alquídica**

As resinas alquídicas são formadas a partir da reação de ácidos polibásicos (poliácidos) e álcoois poli-hídricos (polióis) na presença de ácidos graxos, ou óleo vegetal modificado com álcool. Para a obtenção destas resinas, pode-se utilizar o método de “reação a partir de monoglicerídeos” (Fig. 3) ou o método de “reação a partir de ácidos graxos”. A partir do primeiro método, as reações ocorridas correspondem a alcoólise e esterificação (processos em que acontece a condensação das moléculas reatantes e a formação de água como subproduto). A esterificação é opcionalmente conduzida na presença de um catalisador (como óxidos metálicos) (HARTMANN, 2011).



**Figura 3 - Esquema da síntese de resina alquídica por alcoólise e esterificação de monoglicérido.**

Fonte: Mano; Dias; Oliveira, 2004.

A metodologia utilizada para a síntese da resina alquídica foi baseada nos autores Mano; Dias; Oliveira (2004), que consistiu nas seguintes etapas: preparação do PET; alcoólise, esterificação, diluição e filtração da resina. Foi realizada apenas uma batelada de síntese da resina e esta foi iniciada e finalizada em dias diferentes, sendo que a alcoólise e parte da esterificação foram realizadas no mesmo dia (temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C e umidade relativa do ar de 63%) e o término da esterificação, a diluição e a filtração foram realizados em outro dia (temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C e umidade relativa do ar de 60%).

Inicialmente, o PET foi cortado em pequenos pedaços, lavados com acetona e secos em estufa a 100 °C. Então, foi realizada a alcoólise do óleo. Em um balão de fundo chato, foram adicionados 13 g de glicerina P.A., 52,98 g de óleo residual, 0,015 g de LiOH (pesados em uma balança semi-analítica) e 100 mL de xileno (medidos em uma proveta). Montou-se um sistema de refluxo com agitação magnética. O meio foi aquecido até o refluxo, e então, foi mantido por 40 minutos. O volume de água formado no Dean-Stark<sup>1</sup>, nesta etapa, correspondeu a 3,5 mL; esta foi retirada à medida em que a vidraria era preenchida (para evitar que a água retornasse ao meio) e foi posteriormente armazenada. O fim da alcoólise foi verificado reagindo 1 mL do meio com 1 mL de metanol, sendo possível observar a completa homogeneidade do sistema.

Em seguida, o balão foi resfriado, para que 20 g de PET picado (pesados em uma balança semi-analítica) pudessem ser adicionados ao meio. Iniciou-se o processo de

<sup>1</sup> O aparelho de Dean-Stark serve para determinar o teor de umidade de uma amostra, através do método volumétrico. Este método é um processo de separação difusional (como uma destilação), cujo solvente utilizado tenha ponto de ebulição maior do que o da água e densidade menor do que a da água, para que esta evapore primeiro e, ao condensar no captador de umidade, fique na fase inferior em relação ao solvente (UFPE, 2012).

esterificação, em que o refluxo foi mantido por 6 horas. O volume total de água formado no Dean-Stark correspondeu a 20 mL; esta também foi retirada à medida em que a vidraria era preenchida e foi posteriormente armazenada. Na sequência, foi interrompido o aquecimento para que o meio fosse resfriado até a temperatura de 80 °C, momento em que foram adicionados 50 mL do solvente xileno para a diluição do verniz. O balão foi então reaquecido até 80 °C e o meio foi, por fim, filtrado quente sobre a tela de náilon, para a remoção do PET.

Visando-se confirmar a estrutura do polímero, foi realizada a análise qualitativa de espectroscopia no infravermelho de duas amostras de 10 mL da resina alquídica, previamente lavada com metanol (para a remoção de resíduos de reagentes e solventes), separada e seca em estufa a 50 °C por cerca de duas horas (MANO; DIAS; OLIVEIRA, 2004).

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Sabão

Todos os sabões sintetizados apresentaram boa espumação, coloração branca levemente amarelada e dureza moderada, características que se assemelham aos sabões produzidos a partir do óleo de soja (MERCADANTE; ASSUMPÇÃO, 2010). Além disso, todos os sabões produzidos encontram-se dentro dos valores de pH de um produto domissanitário (maior que 2,0 e menor que 11,5), seguro para uso humano (ANVISA, 2008) As massas e os pHs dos sabões obtidos são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Massas e pHs das três bateladas de síntese do sabão.**

	pH	Massa (g)
<b>Sabão A</b>	8	140,8
<b>Sabão B</b>	11	141,1
<b>Sabão C</b>	11	139,3

Normalmente, o sal (sabão) produzido por meio da reação de saponificação possui característica básica, pois este é derivado da reação de uma base forte (NaOH ou KOH) e um ácido fraco (ácido graxo). Sabões que apresentam esta característica tem maior ação de limpeza em relação a sabões ácidos ou de caráter neutro. Porém, o contato constante com este tipo de sabão pode alterar o pH fisiológico da pele, que é levemente ácido, causando desidratação e rachaduras na mesma. Desta forma, os sabões B e C, que apresentaram propriedades físicas mais semelhantes entre si, são mais eficazes na limpeza (pH 11),

embora seu uso possa apresentar riscos à pele (utilização com luvas). Assim, o sabão A pode ser o mais indicado para uso doméstico (pH 8), pois sabões mais neutros não interferem no pH fisiológico da pele (NETO; DEL PINO, 1997; VOLOCHTCHUK et al., 2000).

Nenhum dos sabões sintetizados apresentou pH ácido ou levemente ácido. Isso ocorreu porque a soda cáustica, por ser uma base forte, tende a receber prótons em solução; já o ácido graxo (óleo residual) é considerado um ácido fraco, assim, tende a perder seus prótons para a soda (UCKO, 1992).

É possível que o sabão sintetizado a partir do óleo residual possua mais afinidade com os vestígios de óleo encontrados em louças ou em manchas nas roupas (devido a sua cadeia apolar interagir com substâncias apolares, no caso, a cadeia de monoglicerídeos provindas do óleo irá interagir com as cadeias de triglicerídeos presentes no óleo), o que aumenta o poder de limpeza do sabão (VITORI; FRADE, 2012).

Considera-se que as sínteses dos sabões obtiveram rendimento bruto de 100%, pois glicerol e carboxilatos originaram uma mistura homogênea constituinte dos sabões produzidos. Além disso, as sínteses não utilizaram energia elétrica.

Com relação aos custos de produção do sabão, seus valores (média) são apresentados na Tabela 2, e foram calculados de acordo com a pesquisa de preço na literatura. O óleo residual foi obtido gratuitamente das residências dos alunos da equipe (custo como zero).

**Tabela 2 - Custo total de produção do sabão**

Reagente	Preço	Quantidade gasta (mL)	Total gasto (R\$)
NaOH 50% (m/m)	R\$ 7,24/L	25	0,18
Água	R\$ 1,73/m <sup>3</sup> *	10	0,00*
Etanol (96° GL)	R\$ 13,60/L	10	0,13

\*O volume de água utilizado é desprezível para tarifação, uma vez que a tarifa é dada em m<sup>3</sup> (a cada 1.000 L).

Com base na Tabela 2, obteve-se um valor gasto de R\$ 0,31 para a produção de uma média de 140,4 g de sabão. Comparando-se o preço de produção do sabão, com o seu preço médio no mercado, observa-se que a produção de 1 kg de sabão em bancada custou cerca de R\$ 2,20, enquanto o preço médio comercial de 1 kg de sabão em barra é de R\$6,50, resultando em um lucro bruto<sup>2</sup> de R\$ 4,30/kg na venda do sabão, o que equivale a cerca de 195%. Dessa forma, pode-se considerar que o sabão é um produto que apresenta um valor agregado significativo, viabilizando a reutilização do óleo residual de fritura para sua produção.

<sup>2</sup> O lucro bruto se refere à diferença entre a receita líquida das vendas e serviços e o custo dos bens e serviços vendidos (INDÚSTRIA HOJE, 2016).

### 3.2 Biodiesel

Todas as bateladas do biodiesel obtiveram resultado positivo no teste de chama. Na Tabela 3 apresenta-se as massas de biodiesel e glicerina obtidas, bem como o rendimento bruto do biodiesel.

**Tabela 3 - Massas e rendimento bruto das três bateladas de síntese do biodiesel**

Óleo	Massa de glicerina (g)	Massa de biodiesel (g)	Rendimento (%)
A	10,26	31,42	62,84
B	11,54	38,48	76,90
C	12,55	38,28	76,56

As bateladas de síntese do biodiesel B e do biodiesel C apresentaram rendimento bruto muito semelhante. Em contrapartida, a batelada do biodiesel A apresentou rendimento cerca de 14% inferior às demais. É provável que seu menor rendimento tenha sido causado pela formação de emulsão<sup>3</sup> durante a lavagem do biodiesel. Emulsões são comumente formadas quando uma substância orgânica e água se misturam com agitação vigorosa, e evitam a transferência de material de uma fase para outra. Para a quebra da emulsão, foi adicionada uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) ao meio (PAVIA, 2009).

Partindo apenas da quantidade de óleo que entra na reação, Ferrari; Oliveira; Scabio (2005) observaram uma taxa de conversão de 97,5% dos ácidos graxos presentes em ésteres etílicos. Dessa forma, foram obtidos resultados satisfatórios no rendimento das bateladas do biodiesel sintetizado.

Com relação aos custos de produção do biodiesel relativos a sua matéria-prima, seus valores (média) são apresentados na Tabela 4, de acordo com a pesquisa de preço realizada na literatura. Já o preço total de produção, incluindo o preço total da matéria-prima e o preço da energia elétrica consumida são mostrados na Tabela 5. O óleo residual foi obtido gratuitamente das residências dos alunos da equipe, assim, considera-se seu custo como zero.

<sup>3</sup> Uma emulsão é um suspensão coloidal de um líquido em outro (PAVIA, 2009).

**Tabela 4 - Custos de produção do biodiesel (matéria-prima)**

Reagente	Preço	Quantidade gasta	Total gasto (R\$)
NaOH (escamas)	R\$ 15,00 /kg	0,360 g	0,00*
Água destilada	R\$ 1,73/m <sup>3</sup> *	80 mL	0,00*
Metanol P.A.	R\$ 16,00/L	20 mL	0,32

\*Valores desprezíveis para interpretação.

**Tabela 5 - Custo total de produção do biodiesel**

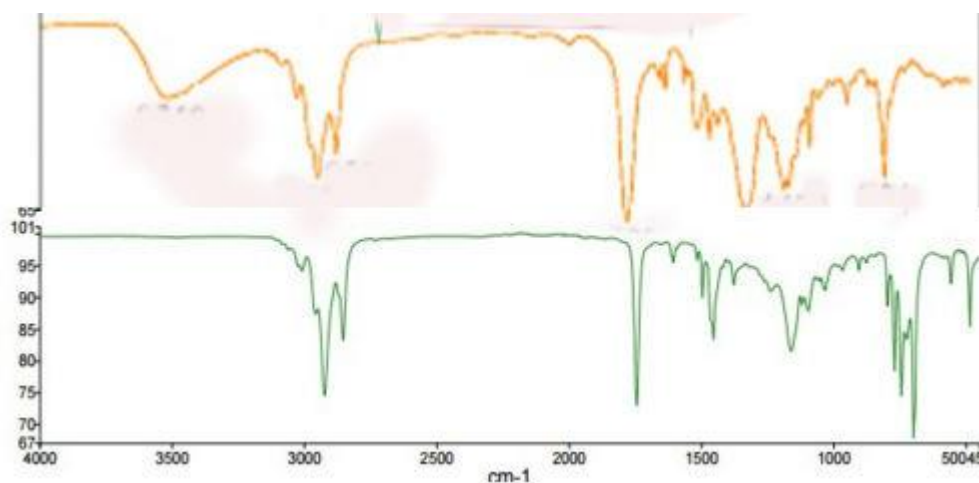
Preço da matéria-prima (R\$)	Preço da energia consumida (R\$)	Preço total (R\$)
0,32	0,07	0,39

Obteve-se um valor de R\$ 0,39 gastos para a produção de uma média de 36,06 g de biodiesel. Comparando-se o preço de produção do biodiesel, com o seu preço médio no mercado, observa-se que a produção de 1 L de biodiesel em bancada custou R\$ 9,41, enquanto que o preço médio comercial de 1 L de biodiesel no 47º Leilão de Biodiesel da ANP (2016) foi de R\$ 2,623/L. Deste modo, a produção de biodiesel em escala laboratorial não se mostra economicamente viável. Entretanto, o preço do biodiesel vendido no Leilão de Biodiesel indica que o processo de produção em escala industrial do biocombustível está otimizado, ou seja, é viável economicamente. Isso pode ser verificado no Brasil, sendo que os óleos vegetais utilizados como matéria-prima para o biodiesel são o de soja (responsável por 90% da produção de óleo no país), girassol, amendoim, pinhão manso, algodão, babaçu, entre outros (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; BRASIL, 2015b). Além disso, também pode ser utilizado como matéria-prima o sebo bovino e a gordura suína. Em 2013, o sebo bovino correspondeu a 20% da produção do biocombustível no Brasil (PETROBRAS, 2015; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), 2015).

Dessa forma, ainda existe o gargalo tecnológico da viabilidade econômica da produção e da utilização do biodiesel em grande escala, visto que o custo de oportunidades dos óleos vegetais e os custos operacionais são muito elevados e há a formação da glicerina (matéria-prima em várias indústrias) na transesterificação, o que pode aumentar a competitividade do biodiesel (BOTELHO, 2012; FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; PARENTE, 2003; BRASIL, 2015b).

### 3.3 Resina alquídica

Através da espectroscopia no infravermelho da resina alquídica, é possível perceber bandas semelhantes entre o espectro da amostra (verde) e o espectro da resina comercial (laranja), que não é feita a partir do PET, (Fig. 4), especialmente nas regiões de aproximadamente  $1730\text{ cm}^{-1}$  a  $1740\text{ cm}^{-1}$ ,  $1120$  a  $1280\text{ cm}^{-1}$  e  $2800$  a  $3000\text{ cm}^{-1}$ . É possível identificar as bandas características da resina alquídica à base de PET, conforme Mano; Dias; Oliveira (2004): a banda de absorção muito alargada entre  $2800$  e  $3600\text{ cm}^{-1}$  pode indicar a presença do grupo COOH (terminal), as bandas da absorção nas regiões de  $1740$  e  $1170\text{ cm}^{-1}$  (pouco intensa) podem indicar a presença da ligação C=O (alifático-alifático), as bandas da absorção nas regiões de  $1730$  e  $1280\text{ cm}^{-1}$  (aproximadamente) podem indicar a presença da ligação C=O (alifático aromático) e a banda de absorção na região próxima de  $1600\text{ cm}^{-1}$  pode indicar a presença da ligação C=C do grupo tereftalato (pouco intensa). Além disso, é possível relacionar a região de absorção de  $1465\text{ cm}^{-1}$  com o dobramento da ligação  $-\text{CH}_2-$  e a região de absorção entre  $900$  e  $690\text{ cm}^{-1}$  com o grupo aromático presente no xilol (que corresponde à uma mistura de isômeros), que pode não ter sido removido totalmente da resina com a lavagem do metanol. Assim, é possível que o composto sintetizado seja resina alquídica, no entanto, é importante ressaltar que a mesma encontra-se impura.



**Figura 4 - Espectros no infravermelho da resina alquídica comercial (em laranja) e da resina sintetizada (em verde).**

Fonte: adaptado de Paula; Pacheco; Visconte (2016).

Na Tabela 6 apresentam-se as massas de resina (impura) e de água condensada obtidas.

**Tabela 6 - Massas de água e de resina da batelada de síntese da resina alquídica**

Massa de resina (g)	Massa de água condensada (g)
83,73	20

Os dados indicam a condensação de moléculas de água durante a síntese da resina alquídica, o que pode ser outro indicativo da formação do polímero, visto que ocorre a formação de água como subproduto durante a esterificação da resina. Além disso, através da massa de resina alquídica (impura) sintetizada, é possível classificá-la como longa em óleo (contém cerca de 63,3% de óleo) (HARTMANN, 2011). Não foi possível calcular o rendimento da batelada de síntese da resina alquídica, pois não foi feito nenhum método de purificação do polímero.

Com relação aos custos de produção da resina alquídica relativos a sua matéria-prima, seus valores (média) são mostrados na Tabela 7, calculados de acordo com a pesquisa de preço realizada na literatura. Já o preço total de produção, incluindo o preço total da matéria-prima e o preço da energia elétrica consumida são mostrados na Tabela 8. O óleo residual foi obtido gratuitamente das residências dos alunos da equipe, assim, considera-se seu custo como zero.

**Tabela 7 - Custos de produção da resina alquídica (matéria-prima)**

Reagente	Preço	Quantidade gasta	Total gasto (R\$)
Glicerina	R\$ 23,80/L	10,32 mL	0,25
PET	R\$ 1,00/kg	20 g	0,02
LiOH	R\$ 119,00/100 g	0,015 g	0,02
Xileno	R\$ 27,65/L	100 mL*	2,77

\*Não considerou-se os 50 mL de xileno utilizados na diluição da resina, pois existem vários solventes utilizados na diluição da mesma no mercado, assim, será feita a comparação do preço da resina não diluída.

**Tabela 8 - Custo total de produção da resina alquídica**

Preço da matéria-prima (R\$)	Preço da energia consumida (R\$)	Preço total (R\$)
3,06	1,10	4,16

Obeve-se um valor de R\$ 4,16 gasto para a produção de 83,73 g de resina alquídica (impura). Comparando-se o preço de produção da resina, com o seu preço médio no mercado, observa-se que a produção de 1 kg de resina alquídica em bancada custou R\$ 49,70, enquanto que o preço médio comercial de 1 kg de resina alquídica longa é de R\$

7,64. Deste modo, a produção de resina alquídica a partir de PET pós-consumido realizada em escala laboratorial não se mostrou técnica e economicamente viável. É necessário destacar que foram feitas adaptações na metodologia utilizada e estas são possíveis fontes de erro: a chapa de aquecimento pode não ter promovido o aquecimento necessário ao meio reacional; o PET utilizado pode não ter a mesma eficiência de outros poliácidos comumente utilizados, como o anidrido ftálico; a falta do fluxo de nitrogênio (empregado para auxiliar na remoção de subprodutos, aumentar o calor e a transferência de massa da reação e garantir uma atmosfera inerte) pode ter contribuído para um baixo rendimento (HARTMANN, 2011).

O preço médio comercial da resina alquídica também indica que o seu processo de produção em escala industrial está otimizado, ou seja, é viável técnica e economicamente.

### **3.4 Comparação técnica e econômica das sínteses dos três produtos**

As sínteses dos três produtos apresentaram diferenças nos preços de produção em bancada e nos preços médios comerciais. Além disso, as metodologias utilizadas apresentaram diferenças no tempo de reação, no rendimento e nas tecnologias empregadas.

No geral, o sabão mostrou-se o produto da reutilização do óleo residual de fritura mais viável técnica e economicamente.

Com relação à metodologia de síntese, o sabão apresenta vantagens técnicas sobre o biodiesel e a resina alquídica, como o menor de tempo de preparo (sem incluir o seu tempo de cura), a ausência da necessidade de vidrarias e de reagentes muito específicos (foi utilizada uma garrafa PET), o rendimento de reação de 100% (considerando-se que não ocorre a formação de subprodutos, pois glicerina e carboxilatos formam uma mistura homogênea que compõe o sabão) e a facilidade de execução da sua metodologia, sendo que a produção do sabão é realizada em diversas residências, pois não necessita de grandes conhecimentos técnicos.

Com relação aos preços de produção em bancada e comercial, o sabão foi o único produto sintetizado que apresentou lucro bruto. Portanto, ele corresponde ao produto de produção em bancada que apresenta o melhor valor agregado, viabilizando a reutilização do óleo residual de fritura para sua produção.

Tanto a produção em bancada do biodiesel, como a da resina alquídica, não se mostraram viáveis técnica e economicamente, sendo a resina o produto menos viável, devido à sua dificuldade tecnológica de produção e ao seu alto preço de produção em bancada. Entretanto, o preço médio comercial dos produtos indica que o seu processo de produção em escala industrial está otimizado, ou seja, é viável técnica e economicamente. Porém, o objetivo do estudo realizado foi comparar a viabilidade técnica e econômica da

síntese de biodiesel, sabão e resina alquídica utilizando como matéria-prima o óleo residual de fritura, em bancada, confirmando a viabilidade da produção do sabão.

### **Considerações finais**

As sínteses de biodiesel, resina alquídica e sabão a partir do óleo residual de fritura, em bancada, possibilitaram um estudo comparativo de sua viabilidade técnica e econômica.

Com relação à viabilidade técnica, observou-se que a produção do sabão em bancada é a mais viável, apresentando menor tempo de preparo, melhor rendimento e maior facilidade tecnológica e de execução.

Com relação à viabilidade econômica, também observou-se que a produção do sabão em bancada é a mais viável, apresentando o melhor valor agregado e viabilizando a reutilização do óleo residual de fritura para sua produção.

A produção de biodiesel e resina alquídica não se mostrou viável técnica e economicamente, em bancada. Contudo, é necessário destacar a otimização dos seus processos de produção em escala industrial (indicada pelo preço comercial dos dois produtos).

Nesse sentido, é necessário destacar que este estudo pode ser utilizado como base para novas pesquisas relacionadas à reutilização do óleo residual de fritura, especialmente em relação a sua produção industrial, uma vez que a presente pesquisa possui foco na produção em bancada.

O estudo da revalorização deste resíduo e dos produtos provenientes da sua reutilização é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável do meio ambiente.

### **Agradecimentos**

Ao professor Giovani Pakuszewski, pela orientação oferecida durante a realização do estudo. E a todos os servidores do curso Técnico em Química (Modalidade Integrado), do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul, em especial aos professores Juliano Maritan Amâncio e Elder Correa Leopoldino e à técnica de laboratório Jucielle Flores, que contribuíram para a realização desta pesquisa.

### **Referências**

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução normativa nº 1/78. Norma sobre detergentes e seus congêneres. 1978.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Estabelece a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes

econômicos autorizados em todo o território nacional. Resolução ANP, nº 14, de 11 de maio de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 maio 2012, Seção 1.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **47º leilão de biodiesel da ANP negocia 639,6 milhões de litros**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=79399&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1456794039581>>. Acesso em: 27 fev. 2016.

BELO, E. J. V.; AMAZONAS, D. R.; SANTOS, A. P. O.; SILVA, A. R. C.; CORREA, D. G.; COSTA, I. S.; BARBOSA, R. F. **Reutilização de óleo vegetal para a fabricação de sabão sólido e líquido, na Escola Estadual Professora Maria Belém no município de Barreirinha, Amazonas**. Programa Ciência na Escola. Vol. 2. 2014.

BIOLEO. **Descarte inadequado do óleo**. Disponível em: <<http://bioleo.org.br/programa-bioleo/descarte-inadequado/>>. Acesso em: 18 maio 2015.

BOTELHO, C. A. V. A. **Viabilidade técnica e aspectos ambientais do biodiesel etílico de óleos residuais de fritura**. 2012, 123 f.. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRASIL (2015a). Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB. **Biodiesel**. O novo combustível do Brasil. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/galerias/arquivos/biodiesel/cartilha\\_biodiesel\\_portugues.pdf](http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/galerias/arquivos/biodiesel/cartilha_biodiesel_portugues.pdf)>. Acesso em: 5 mar. 2015.

BRASIL (2015b). Ministério de Educação. **Biodiesel**. Cartilha biodiesel, desenvolvida pela Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cartilha\\_biodiesel.pdf](http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cartilha_biodiesel.pdf)>. Acesso em: 5 mar. 2015.

BRASIL. Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998, Seção 3.

CHRISTOFF, P. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense**. 2006. 83 f.. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Curitiba.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Programa de Uso Racional da Água**. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/>>. Acesso em: 18 maio 2015.

FERNANDES, Paulo C. A., **Produção de sabão líquido a partir de óleo alimentar usado**, FEUP, Departamento de Engenharia Química, 2009.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardala. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, nº28, 1, p. 19-23, 2005.

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

LEHNINGER, A. L., **Princípios de Bioquímica**. São Paulo. Sarvier Editora de Livros Médicos Ltda. 4º ed, Setembro de 2006. Cap. 10. p. 342.

MANO, E. B.; DIAS, M. L.; OLIVEIRA, C. M. F. **Química experimental de polímeros**. 2004. 328 f. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

MERCADANTE, Ricardo; ASSUMPÇÃO, Lucilaine de. **Massa base para sabonetes: fabricando sabonetes sólidos**. Projeto Gerart VII, 2010. Programa Universidade Sem Fronteiras – Extensão Tecnológica Empresarial da SETI.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Benefícios ambientais da produção e do uso do biodiesel**. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/relatorio\\_biodiesel.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/relatorio_biodiesel.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2015.

NETO, Odone Gino Zago; DEL PINO, José Claudio. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de química. 1997.

OLIVEIRA, Teles M. S. de. **Investigando as condições de produção de sabão a partir de óleo usado em uma associação de mulheres da expansão do setor “o” da Ceilândia**. Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

PARENTE, E. J. S. 2003. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68 p.

PAULA, V. C. de; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONDE, L. L. Y. **Síntese e caracterização de resinas alquílicas a base de óleo de soja e PET pós-consumo**. Sociedade Brasileira de Química. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.

PAVIA, Donald L. **Química orgânica experimental: técnicas de escala pequena**. Alencastro, Ricardo Bicca de. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009. 877 p.

PERUZZO, Francisco Miragaia; CANTO, Eduardo Leite do. **Química na abordagem do cotidiano**. Editora Moderna, 2003.

PETROBRAS. **Produção de biocombustíveis**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/producao-de-biocombustiveis/>>. Acesso em: 28 mar. 2015.

RAMOS, Luiz P. et al. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, Curitiba, nº3, 5, p.385-405, out., 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. **Material complementar de aulas práticas**. Disponível em: <[https://www.passeidireto.com/arquivo/1810108/material-complementar-de-aulas-praticas\\_farmacognosia-i](https://www.passeidireto.com/arquivo/1810108/material-complementar-de-aulas-praticas_farmacognosia-i)>. Acesso em: 27 fev. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Produção de Biodiesel**. Roteiro de aula prática. 2015. 1 p.

VITORI, Tássia R. S., FRADE, Rodrigo. **Análise de ingredientes e processos de produção de sabão a partir de óleo de cozinha usado**. Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix - UMIH, 2015.

VOLOCHTCHUK, Oksana Maria; FADEL, Andrea Paula Curcio; ALMEIDA, Tatiane de; FUJITA, Erika Megumi; AUADA, Mariam Patrícia; MARINONI, Leide Parolin. **Variações do pH dos sabonetes e indicações para sua utilização na pele normal e pele doente**. Investigação clínica e terapêutica. Rio de Janeiro, 2000.