

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

**GISELLE BACK**

**PRODUÇÃO DE BODIESEL ASSISTIDA POR ULTRASSOM**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2015**

**GISELLE BACK**

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL ASSISTIDA POR ULTRASSOM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Eyng  
Coorientador: Prof. Me. Fabio Orssatto

**MEDIANEIRA**

**2015**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em  
Gestão Ambiental



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### PRODUÇÃO DE BIODIESEL ASSISTIDA POR ULTRASSOM

Por

**GISELLE BACK**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:00 h do dia 11 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Eduardo Eyng  
UTFPR – *Campus* Medianeira  
(Orientador)

---

Prof. Me. Fabio Orssatto  
UTFPR – *Campus* Medianeira  
Profº. Co-orientador

---

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare  
UTFPR – *Campus* Medianeira  
(Convidado)

---

Prof. Me. Leandro Fleck  
UTFPR – *Campus* Medianeira  
(Convidado)

---

Prof. Dra Larissa De B. Chiamolera Sabbi  
UTFPR – *Campus* Medianeira  
(Responsável pelas atividades de TCC)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do curso -.

Dedico este trabalho à minha família, ao meu namorado e as minhas amigas, pelo apoio e incentivo concedidos.

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente que estas simples palavras não serão suficientes para expressar meu agradecimento a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela força e determinação concedidas.

Agradeço a minha família pela companhia diária, pelo apoio e pela dedicação, gostaria de agradecer especialmente aos meus pais que por muitas vezes deixam suas vontades e sonhos de lado para que eu e meus irmãos possamos realizar os nossos. Vocês são parte essencial desta conquista.

Agradeço o apoio de meu namorado e de minhas amigas. Aos colegas de turma pelos ótimos momentos vividos, pelas experiências compartilhadas e pelos conhecimentos a mim transmitidos.

Agradeço aos meus orientadores, professores Eduardo Eyng e Fabio Orssatto, pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

Agradeço também a Secretaria do curso, pela cooperação e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade e pelo ensino de qualidade.

Desde já peço desculpas àquelas pessoas que não estão presentes entre essas simples palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão. Enfim, agradeço a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

"As consequências dos nossos atos são sempre tão complexas, tão diversas, que prever o futuro é uma tarefa realmente difícil."

(Joanne Kathleen Rowling)

## RESUMO

BACK, Giselle. PRODUÇÃO DE BIODIESEL ASSISTIDA POR ULTRASSOM. 2015. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

O Biodiesel é um combustível biodegradável produzido a partir de fontes renováveis, apresentando uma baixa emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos. Porém, o custo de produção de biodiesel é bastante elevado, o que se torna um obstáculo para a produção em grande escala. Buscam-se atualmente métodos que acelerem a produção de biodiesel e reduzam os custos, como é o caso da irradiação ultrasônica. O efeito físico de ultrassons é responsável por acelerar a reação de transesterificação. Como uma forma de reduzir os custos da produção do biodiesel buscam-se também novas matérias-primas oleosas eficientes e de baixo custo. Uma alternativa viável encontrada é a utilização de gordura animal como matéria-prima. Foram testados óleo de soja e gordura suína como matéria-prima para produção do biodiesel, utilizando dois métodos de agitação, a convencional e ultra-sônica. O método utilizado para a transformação da matéria-prima foi a transesterificação básica. Os resultados indicam que ambas as matérias-primas são favoráveis para produção de biodiesel. A agitação com o auxílio do ultrassom apresentou resultados positivos, sendo obtida produção de biodiesel equivalente ou superior à agitação convencional, com a vantagem da redução do tempo de reação pela metade. Com base nos testes realizados a utilização da gordura e do ultrassom são viáveis para a produção do biodiesel e para a redução de custos desta produção em grande escala.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis. Transesterificação. Energia Renovável. Ultrassom.

## ABSTRACT

BACK, Giselle. BIODIESEL PRODUCTION ASSISTED BY ULTRASOUND. 2015. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Tecnologia em Gestão Ambiental - Federal Technology University - Parana. Medianeira, 2015.

Biodiesel is a biodegradable fuel produced from renewable sources, with a low emission of CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> and hydrocarbons. However, the cost of biodiesel is very high, which becomes an obstacle to large-scale production. Currently, methods are sought to accelerate the production of biodiesel and reduce its costs, as the case of ultrasonic irradiation. The physical effect of ultrasound is responsible for accelerating the transesterification reaction. As a way of reducing the cost of biodiesel production is also seeking new efficient low cost oily raw materials. A feasible alternative is to use animal fat as raw material. Swine soybean oil and fat have been tested as raw material for biodiesel production, using two methods of agitation, and the conventional ultrasonic. The method used for transformation of the raw material was the basic transesterification. The results indicate that both raw materials are favorable for production of biodiesel. Agitation with the aid of ultrasound showed positive results being obtained biodiesel production equivalent or superior to conventional agitation, with the advantage of reducing the reaction time by half. Based on tests carried out using the fat and ultrasound are feasible for the production of biodiesel and to reduce costs of large-scale production.

**Keywords:** Biofuel. Transesterification. Renewable Energy. Ultrasound.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO DE UM ÓLEO OU GORDURA PARA OBTENÇÃO DE BIODIESEL .....	18
FIGURA 2 – MODELO TÉCNICO DE UMA ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA .....	26
FIGURA 3 - ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA.....	27
FIGURA 4 - ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DE GORDURA SUÍNA .....	29

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUANTIDADE DE MATERIAIS UTILIZADOS NOS ENSAIOS COM ÓLEO DE SOJA.....	25
TABELA 2 - QUANTIDADE DE MATERIAIS UTILIZADOS NOS ENSAIOS COM GORDURA SUÍNA.....	26
TABELA 3 – TBELA COMPARATIVA DOS RESULTADOS.....	31

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
3.1 FONTES DE ENERGIA .....	15
3.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS .....	16
3.3 BIODIESEL.....	18
3.4 MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL .....	21
3.5 ULTRASSOM COMO MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL .....	22
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
4.1 MATERIAIS .....	24
4.2 MÉTODOS.....	25
4.2.1 PRODUÇÃO DE BIODIESEL EMPREGANDO AGITAÇÃO CONVENCIONAL 25	
4.2.2 PRODUÇÃO DE BIODIESEL ASSISTIDA POR ULTRASSOM.....	25
4.3 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL .....	27
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
5.1 RESULTADOS PARA O ÓLEO DE SOJA.....	29
5.2 RESULTADOS PARA A GORDURA SUÍNA .....	30
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS:</b> .....	<b>34</b>

## INTRODUÇÃO

A busca por soluções que tem como objetivo amenizar, reduzir a poluição e a degradação da natureza, promoveram nos últimos anos a intensificação da busca por energias sustentáveis, energias que causem menos impactos ao ambiente, devido ao esgotamento do petróleo e a grande quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberada por combustíveis fósseis. Os Biocombustíveis tem sido uma excelente alternativa para redução de poluentes, especificamente o Biodiesel, que é uma ótima opção para a substituição dos combustíveis fósseis atuais (PNPB, 2014).

O Biodiesel é um combustível biodegradável que é produzido a partir de fontes renováveis, como por exemplo, os óleos vegetais ou gorduras animais e que é até então a melhor aposta para reduzir a liberação de gases poluentes à atmosfera, substituindo total ou parcialmente o uso de combustíveis fósseis, à base de petróleo, e reduzindo a poluição atmosférica. Um dos processos pelo qual a matéria-prima é transformada em biodiesel é conhecido como transesterificação (PNPB, 2014).

A transesterificação ocorre por meio da adição de um álcool na matéria-prima e a adição de um catalisador, uma base ou um ácido, para estimular a reação. O principal obstáculo para a comercialização em grande escala da produção do biodiesel é o seu elevado custo. Portanto, pesquisas recentes visam o desenvolvimento de métodos para reduzir o custo de produção do biodiesel (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIC, 2012, p. 1194).

Ultrassom é um som de uma frequência mais alta do que o ouvido humano pode responder. O uso do ultrassom de baixa frequência (LFU), que é em torno de 20-100 kilohertz (kHz), na produção de biodiesel tem várias vantagens sobre a síntese clássica. O LFU melhora a transferência de massa entre os reagentes imiscíveis via cavitação ultrassônica, esse método reduz o tempo e os custos de produção, diminui a quantidade de catalisador utilizado no processo e requer apenas de um terço até metade da energia que é consumida por agitação mecânica (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIC, 2012, p.1194).

O alto custo de produção de biodiesel deve-se também ao custo da matéria-prima, o preço da matéria-prima consiste em 70-95% do custo total do biodiesel, sendo então necessário o uso de novas matérias-primas oleosas, e de baixo custo para sua produção.

O biodiesel pode ser produzido por meio de matérias-primas nobres como, por exemplo, é o caso das sementes oleaginosas, e de matérias-primas menos nobres, que são gorduras animais. Com base nas informações apresentadas, o presente estudo busca desenvolver a produção de biodiesel utilizando, como auxílio, o método de irradiação ultrassônica e como matérias-primas óleo de soja e gordura suína.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o processo de produção de biodiesel por meio de irradiação ultrassônica com a produção de biodiesel por meio de agitação convencional, utilizando como matéria-prima gordura animal e óleo vegetal.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir biodiesel a partir de óleo vegetal e gordura animal por agitação convencional;
- Produzir biodiesel a partir de óleo vegetal e gordura animal com o auxílio do ultrassom;
- Comparar a produção de biodiesel com os dois métodos de agitação em termos de produção e tempo de reação;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 FONTES DE ENERGIA

Segundo Rocha, Rosa e Cardoso, (2009, p. 141) um material que acumula alta quantidade de energia é considerado fonte desta desde que possa ser transformado em uma forma de energia mais conveniente, as fontes de energia dividem-se em energia renováveis e não-renováveis.

A fonte renovável é o material que pode ser utilizado continuamente, pois a energia presente no material pode ser naturalmente renovada dentro de um curto espaço de tempo de, no máximo, alguns anos. As fontes de energia não renováveis são aquelas cujos materiais necessitam de milhares de anos para se recompor de forma conveniente para utilização (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009, p. 141).

Para Braga et al., (2005, p. 55), existem diversos exemplos de fontes renováveis e não-renováveis. Fontes renováveis tais como: energia solar direta, energia das marés, energia geotérmica, energia eólica, biogás, biocombustíveis líquidos que é o material obtido pela fermentação e decomposição anaeróbia de vários tipos de biomassa, podendo também ser obtidos através da transformação de rejeitos que possuem alto teor de gordura como restos de suínos, aves, bovino utilizando compostos químicos; gás hidrogênio, energias hidrelétricas, entre outras.

Para Braga et al., (2005, p. 55), as fontes não-renováveis são: carvão mineral, combustíveis fósseis e seus derivados (produtos obtidos através de processos químicos, como óleo cru, petróleo, gasolina, óleo diesel, querosene, etc.), gás natural, combustíveis nucleares, entre outras.

Com a utilização da energia o ser humano pode melhorar e aprimorar os processos, um grande exemplo disto é a revolução industrial. Foi a partir daí que houve uma grande intensificação do consumo de energia. Houve necessidade de aumentar a utilização de carvão, petróleo e gás.

Segundo Rocha, Rosa e Cardoso, (2009, p. 137), a afirmação de que as fontes de produção de energia estão se esgotando é contraditória a lei da termodinâmica que diz que “a energia é conservada”, porém o que ocorre é apenas uma transformação de energia, e de fato a energia é conservada podendo ser

convertida de uma forma para outra e transferida de uma parte do universo para outra, o que acontece é que a capacidade de transformação de energia está ficando limitada diante das necessidades de energia do mundo moderno, onde a prosperidade de uma nação está diretamente associada à riqueza das pessoas e ao poder de compra de bens de consumo o que aumenta constantemente a necessidade de realizar trabalho (energia) para funcionar equipamentos eletrônicos e automóveis.

### 3.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Com o passar dos anos e as evoluções tecnológicas a demanda de energia aumentou consideravelmente. Mas, segundo Braga et al., (2005, p. 55), foi a perfuração do primeiro poço de petróleo que levou a humanidade a uma drástica mudança em termos de consumo de energia primário. O aumento do consumo de energia foi muito sensível nos países desenvolvidos, e acabou acentuando o desequilíbrio entre os países desenvolvidos e subdesenvolvidos.

Segundo Rocha, Rosa e Cardoso, (2009, p. 145), o petróleo é um líquido escuro de composição variável, proveniente de matéria orgânica de origem animal, constitui uma mistura grande de diferentes compostos, sendo a maior parte deles hidrocarbonetos. A gasolina é o principal combustível advindo do petróleo e é composta por uma mistura de diversos hidrocarbonetos.

Para Braga et al., (2005, p. 55), o consumo médio diário de energia dos humanos primitivos era de 2.000 quilocalorias (kcal) por dia, e em 2005 o consumo per capita mundial de energia já ultrapassava 125.000 kcal dia<sup>-1</sup>.

Segundo Goldemberg e Lucon (2007, p.7), no ano de 2003 o consumo médio total de energia mundial era 1,69 tonelada equivalente de petróleo per capita. Tendo em vista que uma tonelada de petróleo equivale a 10 milhões de kcal, e o consumo diário médio de energia é de 46.300 kcal. Leva-se em conta que desse total 2.000 kcal é a energia que se obtém por meio dos alimentos, e o restante em transporte, gastos residenciais e industriais e perdas nos processos de transformação energética.

Os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis, e, nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo. (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p. 7)

Segundo Rocha, Rosa e Cardoso, (2009, p. 147), durante muito tempo foi adicionado como aditivo à gasolina um composto chamado de chumbo tetraetila, o resultado da combustão dessa gasolina era disperso no ambiente o que resultava em grandes quantidades de chumbo na atmosfera das cidades e depositado em diversas superfícies.

Rocha, Rosa e Cardoso, (2009, p. 148-149), afirmam que o petróleo pode causar diversos danos ao meio ambiente, durante seu transporte pode ocorrer possíveis derramamentos vindo a poluir oceanos, o solo e mananciais próximos; nas refinarias ocorre emissão de grandes quantidades de monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e material particulado, lembrando que a combustão de qualquer derivado de petróleo emite CO<sub>2</sub>. O uso do petróleo como fonte de energia em larga escala o torna um dos responsáveis pelo aumento do efeito estufa.

Para Fontana e Vedana (2011, p. 62-63), devido ao progressivo esgotamento das reservas de petróleo e seus derivados, várias alternativas tem sido exploradas para mitigar a limitação com a exploração do petróleo, as alternativas convencionais energéticas exploradas são, carvão mineral e vegetal; gás natural (enriquecido em metano); gás de síntese (mistura de monóxido de carbono e hidrogênio passível de conversão em metanol); energia solar na forma de painéis voltaicos; turbinas eólicas; movimento das marés; hidroeletricidade; energia nuclear a base de combustíveis como Urânio enriquecido; biocombustíveis dentro dos quais se inclui o biodiesel; e também o hidrogênio.

### 3.3 BIODIESEL

Os óleos vegetais foram testados como combustíveis há mais de cem anos por Rudolf Diesel, e nas décadas de 1930 e 1940 eram utilizados como combustível de emergência (ANTOLÍN; et al., 2002, p. 111; MA<sup>a</sup>; HANNA, 1999, p. 01).

A partir de 1980, houve muita discussão a respeito do uso de óleo vegetal como combustível. Segundo MA<sup>a</sup> e Hanna (1999, p. 03) a primeira Conferência Internacional sobre plantas e óleos vegetais como combustíveis foi realizada em Fargo, North Dakota, em agosto de 1982, as principais preocupações discutidas foram o custo do combustível, os efeitos de combustíveis de óleo vegetal sobre o desempenho e durabilidade do motor, preparação do combustível, especificações e aditivos.

O biodiesel reduz a emissão de toxinas cancerígenas para o ar, em relação ao diesel, auxilia na diminuição de chuva ácida e no efeito estufa provocados pela combustão de combustíveis fósseis, apresenta uma reduzida emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos, é biodegradável e pode ser usado em motor de ignição à diesel sem grandes modificações (ANTOLÍN; et al., 2002, p.111; VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIĆ, 2012, p. 1194).

Fontana e Vedana (2011, p. 77-78), apresentam algumas vantagens do biodiesel sobre o diesel de petróleo: é mais seguro, pois seu ponto de fulgor, em forma pura, é de ~150°C contra ~45°C do diesel comum; apresenta uma combustão mais completa e não requer armazenamento especial; pode ser usado sozinho (B100) ou misturado em qualquer proporção com diesel de petróleo (Ex.: B1 quando possuir 1% de biodiesel e 99% de diesel, B10 quando possuir 10% de biodiesel e 90% de diesel, e assim por diante), aumenta a vida útil dos motores por ser mais lubrificante.

Biodiesel é definido como os ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa, que cumpre determinadas normas, que é obtido por transesterificação ou alcoólise de triacilgliceróis naturais (TAG), como óleos vegetais, gorduras animais, gorduras residuais e graxas, óleos de cozinha residual (OMA) ou produtos lado a transmissão de produção de óleo comestível refinado com álcoois de cadeia curta, normalmente metanol ou etanol (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIĆ, 2012, p. 1194).

De acordo com MA<sup>a</sup> e Hanna (1999, p. 02) os óleos vegetais naturais e gorduras de origem animal geralmente contêm ácidos graxos livres, esteróis,

fosfolípidos, água, aromatizantes e outras impurezas. Mesmo óleos refinados e gorduras contêm pequenas quantidades de ácidos graxos livres e água. Os teores de ácidos graxos e de água livre tem efeitos significativos sobre a transesterificação de glicerídeos com álcoois utilizando catalisadores alcalinos ou ácidos. Eles também podem interferir com a separação de ésteres de ácidos gordos e glicerol.

Para Karmakar, Karmakar e Mukherjee (2010, p. 7701), as características físicas e químicas dos óleos virgens ou demais óleos usados, o que afeta o potencial de produção de biodiesel, são: teor de ácidos graxos (FFA), teor de umidade e outras impurezas, título e conteúdo calórico.

O método mais utilizado na produção de biodiesel é a transesterificação. Segundo Veljkovic, Avramovic e Stamenkovic (2012, p. 1194), a transesterificação é uma sequencia de três reações consecutivas e reversíveis, e para que esta reação ocorra é necessária a presença de um catalisador ácido, básico ou uma enzima que ocorra a uma taxa aceitável.

A transesterificação nada mais é do que um processo químico no qual um triglicerídeo presente em óleos vegetais e/ou gordura animal reage com álcool na presença de catalisador ácido forte ou básico para produzir uma mistura de ésteres de ácidos graxos e glicerol (PÊGO; REGINATO, 2011, p. 21).

Em geral, dependendo da presença do catalisador do processo, existem dois métodos de transesterificação de triacilgliceróis (TAG) em biodiesel: catalisada e não catalisada. De acordo com o tipo de catalisador utilizado as reações podem ser classificadas em três grupos: homogênea, heterogênea e enzimaticamente catalisada. Diferentes grupos de catalisadores heterogêneos, tais como: metálico, bases sólidas, ácidos sólidos e catalisadores naturais também podem ser aplicados de forma eficiente para a conversão de óleo/gordura para éster (BANKOVIC-LLIC et al, 2014. SALVI; PANWAR, 2012, p. 242).

A transesterificação não altera a composição de ácidos graxos das matérias-primas. Conseqüentemente, o biodiesel reflete a composição do óleo vegetal em estudo, especificamente o perfil do ácido graxo. Os principais fatores que afetam o tempo de reação de transesterificação e de conversão e a pureza dos produtos são os ésteres, a razão molar de álcool para triglicerídeos, tipo de álcool, tipo e concentração do catalisador, as condições de reação e grau de refinamento do óleo vegetal. Há também um efeito da natureza do glicerídeo (MEHER; SAGAR; NAIK, 2006, p. 248).

Segundo Rocha, Rosa e Cardoso, (2009, p. 153), os produtos da reação de transesterificação são: R-COO-CH<sub>3</sub> (éster) a partir do metanol reagente (CH<sub>3</sub>OH) ou R-COO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub> a partir do etanol reagente (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH) e glicerol (OH-35CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-CHOH). O éster é o biodiesel e deve ser separado do glicerol, o qual é imiscível no biodiesel.

Após a reação de transesterificação, obtêm-se um produto constituído de duas fases. Na fase mais densa fica a glicerina e na fase menos densa fica o éster. Ambas as fases são contaminadas com álcool que não reagiu, água e impurezas. Inicialmente as fases são separadas por decantação ou por centrifugação (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009, p. 153).

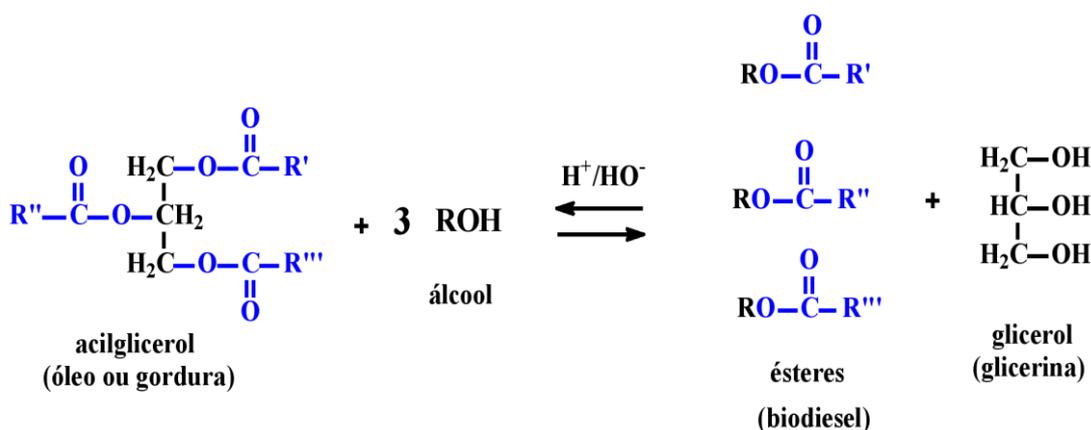


Figura 1 – Reação de transesterificação de um óleo ou gordura para obtenção de biodiesel.

Fonte: OLIVEIRA; BRITO; NOGUEIRA, 2014.

Em 2004 foi implantado no Brasil o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Para Feres (2010, p. 88-89), o PNPB assenta-se sobre o potencial do país tornar-se um fornecedor mundial desse combustível.

A Estrutura do Plano Nacional de Produção e Uso de Biodiesel busca equilibrar os aspectos econômico, social e ambiental da produção de biodiesel. A meta é introduzir na matriz energética brasileira um combustível cuja produção seja economicamente auto-sustentável, proporcione ganhos ambientais e crie oportunidades de trabalho no meio rural, especialmente em estabelecimentos de agricultura familiar (FERES, 2010, p. 91).

O maior obstáculo para a produção em grande escala do biodiesel é o elevado custo de sua produção, alguns métodos para reduzir o custo de produção do biodiesel já foram e estão sendo pesquisados, por exemplo, o desenvolvimento de novos tipos de reatores que maximizam a área de superfície interfacial entre os dois reagentes imiscíveis para melhorar o desempenho. Novos avanços tecnológicos

permitem o uso de irradiação ultrasônica como uma nova e eficiente ferramenta de mistura para a produção de biodiesel (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIĆ, 2012, p. 1194).

### 3.4 MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O biodiesel pode ser produzido a partir de várias matérias-primas diferentes, como óleos vegetais, gorduras animais ou produtos residuais, óleo utilizado para fritura, por exemplo.

Segundo Fontana e Vedana (2011, p. 133) pelo ponto de vista formal, qualquer vegetal produtor de óleo pode ser empregado para a produção do biodiesel, lembrando que os ácidos graxos componentes dos triacilgliceróis naturais transferem parte das suas propriedades para o biodiesel produzido. Porém alguns óleos vegetais possuem nichos de mercado e hábitos culturais tão importantes que seria um absurdo utilizá-los para produção de biodiesel, é o caso dos óleos de oliva, e de milho.

Alguns exemplos de fontes oleaginosas vegetais, segundo Fontana e Vedana (2011, p. 134-140), são: Soja (*Glycine Max*); Canola (*Brassica napus*); Palma ou dendê (*Elaies guineensis*); Mamona; Pinhão-manso ou *Jatropha curcas*; Crambe (*Crambe abyssinica*); Moringa oleifera; Palmáceas macaúba (*Acrocomia aculeata*); Inajá (*Maximiliana maripa*); Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*); e Babaçu (*Orbygnia speciosa* e *O. phalerata*).

As fontes de gordura animal são o sebo bovino, o toucinho suíno, a gordura culinária ou de processamento de frangos e as fontes marinhas (sardinhas, atum, entre outras). Porém, apresentam uma dificuldade a mais no processo de produção do biodiesel, devido ao elevado teor de ácidos graxos livres (FONTANA; VEDANA, 2011, p. 140).

### 3.5 ULTRASSOM COMO MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Segundo Veljkovic, Avramovic e Stamenkovic (2012, p. 1194), a maioria dos métodos de produção de biodiesel atuais empregam a tecnologia do reator de lote que tem uma capacidade limitada para um certo número de razões. Devido à imiscibilidade dos reagentes, a síntese de biodiesel tem lugar na área de superfície interfacial. Reatores descontínuos utilizam agitação intensa para criar e manter uma emulsão estável para minimizar as limitações de transferência de massa e permitir que a reação atinja o equilíbrio cinético. A fim de melhorar o processo de produção do biodiesel tem sido testados novos métodos de intensificação para diminuir ou eliminar a limitação de transferência de massa, tais como: ultrassom e irradiação de microondas, cavitação hidrodinâmica, adição de co-solventes ou catalisadores de transferência de massa e a aplicação de condições de síntese supercríticos.

O uso de irradiação ultra-sônica é um método recente desenvolvido como uma ferramenta mais eficiente para a mistura do biodiesel. Ultrassom é um som de uma frequência mais alta do que o ouvido humano pode responder. De acordo com a sua frequência, o ultrassom é classificado em alta frequência (2-10 MHz) e baixa frequência (20-100 kHz) de ultrassom (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIC, 2012, p. 1194).

O método de ultrassom foi desenvolvido e é utilizado na produção de biodiesel como uma ferramenta de mistura, pois acredita-se que o efeito físico de ultrassons sobre a formação da emulsão fina entre fluidos imiscíveis é responsável por acelerar a reação de transesterificação. Na síntese orgânica o ultrassom pode reduzir o número de etapas da síntese, o tempo e a temperatura de reação, e geralmente pode ter um efeito físico e químico em sistemas heterogêneos de reação por meio de bolhas de cavitação (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIC, 2012, p.1194).

O uso de reatores de ultra-som melhora o desempenho da transesterificação obtendo rendimentos mais elevados de biodiesel em um tempo mais curto de reação, e seu desempenho pode reduzir o custo de produção, aumentando as chances de comercialização em larga escala de biodiesel (VELJKOVIC; AVRAMOVIĆ; STAMENKOVIC, 2012).

A utilização do método de ultrassom, além de reduzir os custos e o tempo de produção do biodiesel, diminui a quantidade de catalisador utilizado no processo e requer apenas de um terço até metade da energia que é consumida por agitação mecânica (VELJKOVIC; AVRAMOVIC; STAMENKOVIC, 2012, p.1194).

Existem três fenômenos atribuídos ao efeito da irradiação ultra-sônica. Em primeiro lugar, uma rápida circulação de fluidos causada por uma variação de pressão sônica solvente provoca compressão e rarefação. A segunda, e mais importante, é a cavitação. Terceiro, existe microstreaming em que uma grande quantidade de energia vibracional é confinado em pequenos volumes com pouco aquecimento. (KUMAR, D.; KUMAR, G.; SINGH, 2010, p. 840)

A cavitação ultrasônica, é a formação, crescimento e colapso de bolhas implosivas em um líquido irradiado com ultrassom. Segundo Santos, Rodrigues; Fernandes (2009, p.312), o colapso de bolhas de cavitação interrompe a divisão de fases e impinging (colisão) dos líquidos, e cria micro-jatos que conduz a uma mistura intensiva do sistema próximo do limite de fase. A cavitação pode também levar a um aumento localizado da temperatura no limite de fase aumentando a reação de transesterificação. Quando a emulsão é formada, a área de superfície disponível para a reação entre as duas fases aumenta significativamente, acelerando assim a reação.

Quando o ultrassom atravessa o líquido com pressão negativa e positiva, essas bolhas, sob condições apropriadas de cavitação ultrasônica levam a um implosivo colapso de bolhas de cavitação, produzindo intenso aquecimento local, altas pressões e tempos de vida muito curtos. O colapso das bolhas de cavitação dá origem a microstreaming acústico que aumenta a transferência de calor e massa, e causa gradientes de velocidade, que resultam em tensões de corte (VELJKOVIC; AVRAMOVIC; STAMENKOVIC, 2012, p.1194).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na realização deste trabalho foram:

- Agitador magnético com aquecimento;
- Álcool metílico 99,9%;
- Anel para funil;
- Balança analítica de precisão;
- Banho de Ultrassom (marca: Elma, modelo: Elmasonic P);
- Barra magnética;
- Béquer;
- Capela;
- Erlenmeyer;
- Espátula;
- Funil de separação;
- Gordura suína;
- Hidróxido de Potássio (PA);
- Óleo de soja;
- Pipetador de três vias;
- Pinça;
- Pipeta graduada;
- Suporte universal;
- Termômetro;

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 PRODUÇÃO DE BIODIESEL EMPREGANDO AGITAÇÃO CONVENCIONAL

Para realização do presente estudo utilizou-se como método de produção de biodiesel a transesterificação, empregando-se como matéria-prima óleo de soja refinado comercial e gordura suína comercial. Para ambas as matérias-primas foram utilizados os mesmos procedimentos.

Primeiramente, foi feita a pesagem dos materiais em uma balança analítica, e em seguida a diluição de 0,25 g de catalisador (KOH) no metanol em um erlenmeyer sob a agitação de um agitador magnético. Separadamente em um béquer foi aquecida 25 g da matéria-prima utilizando-se um agitador magnético com aquecimento, até alcançar a temperatura de 50 °C, que foi medida com a ajuda de um termômetro. Após o catalisador ser totalmente diluído e a matéria-prima alcançar 50 °C ambos foram misturados e mantidos sob a agitação convencional e temperatura de 50 °C durante 60 minutos.

Em seguida a amostra foi colocada em um funil de separação que foi preso por um anel à um suporte universal, esta mistura ficou estabilizando por, aproximadamente, 24 horas, até a divisão de fases ficar visível. Foi então feita a separação, por diferença de densidade das fases leve (biodiesel) e pesada (glicerina). Após a separação o biodiesel seguia para a análise termogravimétrica.

### 4.2.2 PRODUÇÃO DE BIODIESEL ASSISTIDA POR ULTRASSOM

O procedimento inicial, de preparo da mistura reacional para a produção de biodiesel seguiu o mesmo procedimento descrito no item 4.2.1. Após o catalisador ser totalmente diluído e a matéria-prima alcançar 50 °C ambos foram misturados e mantidos sob a agitação em banho de ultrassom e temperatura de 50 °C durante 30 minutos, sob uma frequência de 37 Hz e potência de 100 watts.

A separação entre as fases foi procedida da mesma maneira que o sistema com agitação convencional, conforme descrito no item 4.2.1.

Para os testes com as duas matérias-primas e para ambas agitações foram utilizadas as mesmas quantidades de materiais. Foi utilizado uma concentração de catalisador de 1% (em massa) em relação à matéria-prima empregada. Ou seja, como foram utilizadas 25 g de matéria-prima (óleo ou gordura suína), utilizou-se 0,25 g de catalisador (KOH). Quanto à quantidade de metanol empregada, utilizou-se uma razão molar de 1:12, ou seja, para cada mol de matéria-prima, adicionou-se 12 mols de metanol. Para converter a massa de óleo ou gordura suína em mols, para então calcular a quantidade de mols de metanol requerida, é necessário saber a massa molar de cada matéria-prima. Assim, com base em FORREST, et al. (1979), foram utilizados os valores de massa molar de 874,8 g/mol e 278,77 g/mol para o óleo e gordura suína, respectivamente. Dividindo 25 g de matéria-prima pela respectiva massa molar, se obtém o número de mols de matéria-prima, e multiplicando-se este número por 12 (razão molar 1:12) se obtém o número de mols de metanol. Considerando a massa molar do metanol e sua densidade (0,79 g/mL), os volumes de metanol utilizados nos ensaios foram, 13,9 e 43,6 mL, para a soja e gordura suína, respectivamente. As amostras foram mantidas sob temperatura de 50 °C por 30 minutos sob agitação do ultrassom e 60 minutos sob agitação convencional.

Tabela 1 – Quantidade de materiais utilizados nos ensaios com óleo de soja.

Massa molar do óleo de soja (g/mol)	874,8
<b>Massa de óleo de soja (g)</b>	<b>25</b>
Mols de óleo em 25g	0,03
Mols de metanol 1:12	0,34
Massa de metanol 1:12	11,00
Densidade metanol (g/mL)	0,79
<b>Volume metanol 1:12 (mL)</b>	<b>13,9</b>
Cálculo da massa de catalisador	
Massa de óleo de soja (g)	25
Percentual em massa do catalisador (%)	1
<b>Massa do catalisador (g)</b>	<b>0,25</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>50</b>
<b>Tempo ultrassom (min)</b>	<b>30</b>
<b>Tempo de agitação convencional (min)</b>	<b>60</b>

Tabela 2 – Quantidade de materiais utilizados nos ensaios com gordura suína.

Massa molar da gordura (g/mol)	278,77
<b>Massa de gordura (g)</b>	<b>25</b>
Mols de gordura em 25g	0,09
Mols de metanol 1:12	1,08
Massa de metanol 1:12	34,4
Densidade metanol (g/mL)	0,79
<b>Volume metanol 1:12 (mL)</b>	<b>43,6</b>
Cálculo da massa de catalisador	
Massa de gordura (g)	25
Percentual em massa do catalisador (%)	1
<b>Massa do catalisador (g)</b>	<b>0,25</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>50</b>
<b>Tempo ultrassom (min)</b>	<b>30</b>
<b>Tempo de agitação convencional (min)</b>	<b>60</b>

Fonte: Adaptado de FORREST, et al. 1979.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Para avaliar o percentual de biodiesel produzido em cada amostra foi realizada uma análise termogravimétrica (TGA), na qual o decaimento da massa da amostra é avaliada em função da temperatura.

As análises termogravimétricas foram realizadas em um TGA/DSC, modelo STA 6000 da Perkin Elmer, sob atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 20 ML min<sup>-1</sup>, empregando-se porta amostra de alumina e temperatura variando de 50 °C a 600 °C com uma taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>.

Os resultados desta análise são apresentados em um gráfico. Para explanação dos resultados, na figura 2 apresenta-se um modelo técnico de uma análise termogravimétrica.

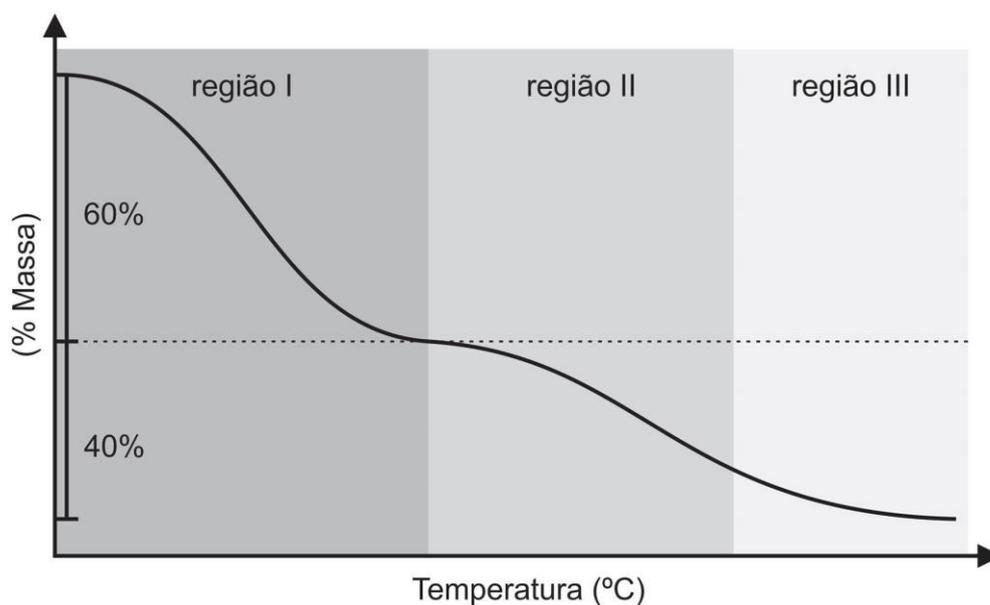


Figura 2 – Modelo técnico de uma análise termogravimétrica.

Para fazer a análise do gráfico deve-se levar em consideração a relação massa (%) e temperatura (°C). O biodiesel se degrada à uma temperatura menor que a gordura e o óleo de soja, sendo assim ao analisar o gráfico apresentado na Figura 2 pode-se observar que na região I, onde a temperatura é menor ocorre a degradação do biodiesel. Após a primeira curvatura da linha (região II) a temperatura segue com aumento constante, ou seja, a região I, onde a temperatura é menor, é o biodiesel. E o restante, regiões II e III, seria a gordura/óleo que não reagiu durante o processo de produção do biodiesel.

Considerando a massa como 100% e analisando o local em que ocorreu a primeira curvatura da linha é possível concluir que a amostra teve como resultado 60% de biodiesel e 40% de gordura/óleo que não reagiu ao processo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 RESULTADOS PARA O ÓLEO DE SOJA

Os ensaios realizados com óleo de soja tiveram resultados positivos. Na Figura 3 estão apresentados os resultados das análises das amostras de biodiesel feitas utilizando óleo de soja como matéria-prima, sob agitação convencional e com o auxílio do ultrassom.

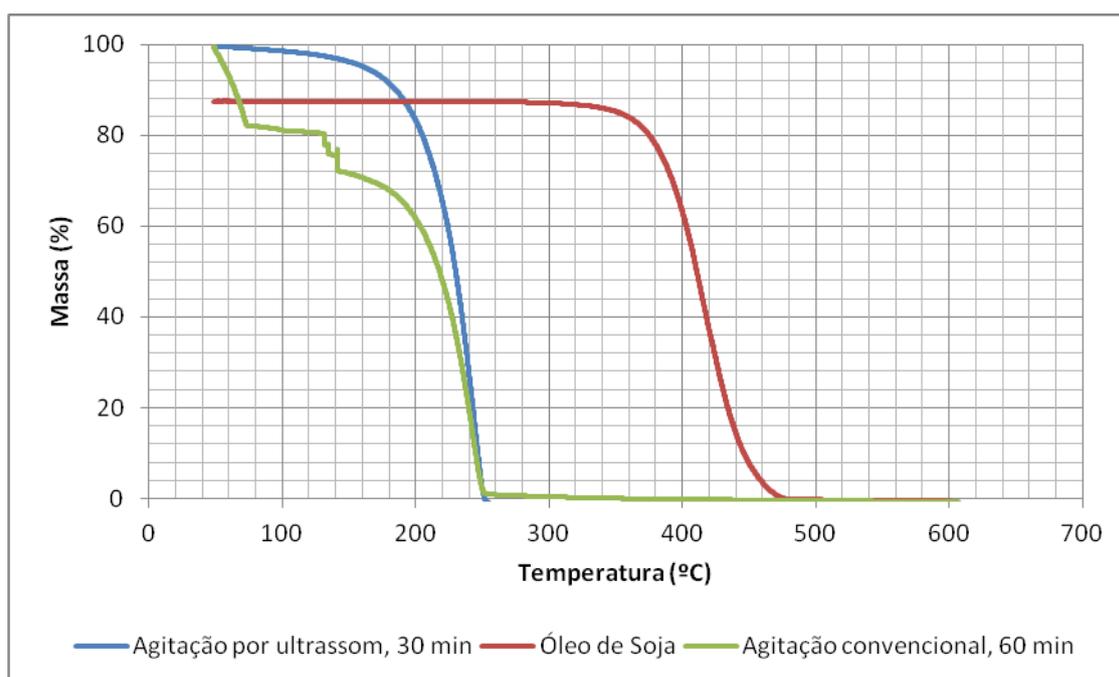


Figura 3 – Análise termogravimétrica de biodiesel produzido a partir de óleo de soja.

Pode-se observar que a curva verde da Figura 3, a qual representa a amostra de biodiesel a partir de óleo de soja com 1% de KOH (catalisador) realizada sob 60 minutos de agitação convencional, apresentou um decaimento inicial da massa de 100% para 80% que se deve a algum componente mais volátil que o próprio biodiesel, provavelmente alguma quantidade de metanol remanescente. Sendo assim, a agitação convencional apresentou um percentual de massa de

biodiesel de aproximadamente 80%, a degradação do biodiesel iniciou-se à uma temperatura de aproximadamente 150 °C. No entanto, a curva azul, que representa a amostra de biodiesel a partir de óleo de soja com 1% de KOH realizada com agitação do ultrassom durante 30 minutos, apresentou uma degradação inicial referente ao metanol de cerca de 5%, apresentando então resultados de percentual de massa de biodiesel de aproximadamente 95%, e a degradação do biodiesel iniciou-se à uma temperatura próxima à 150 °C.

Se comparado na figura o biodiesel (curvas azul e verde) com o óleo de soja puro (curva vermelha) percebe-se que o ponto de degradação do óleo se inicia à uma temperatura próxima à 355 °C, significativamente maior do que a temperatura do biodiesel.

Analisando os resultados apresentados, pode-se concluir que utilizando o óleo de soja como matéria-prima para a produção de biodiesel obteve-se bons percentuais de massa de biodiesel, sendo que na produção com o uso de ultrassom a amostra apresentou um percentual de massa de biodiesel de 95%, enquanto que na produção sob agitação convencional o percentual de massa de biodiesel obtido foi de 80%. Ressaltando que na produção com a agitação do ultrassom foi empregado a metade do tempo de reação que é empregado na agitação convencional, ou seja, o uso do ultrassom resultou em um maior percentual de massa de biodiesel utilizando apenas a metade do tempo de reação.

## 5.2 RESULTADOS PARA A GORDURA SUÍNA

Na Figura 4 pode-se observar os resultados das análises das amostras de biodiesel obtidas utilizando gordura suína como matéria-prima, sob agitação convencional e com o auxílio do ultrassom.

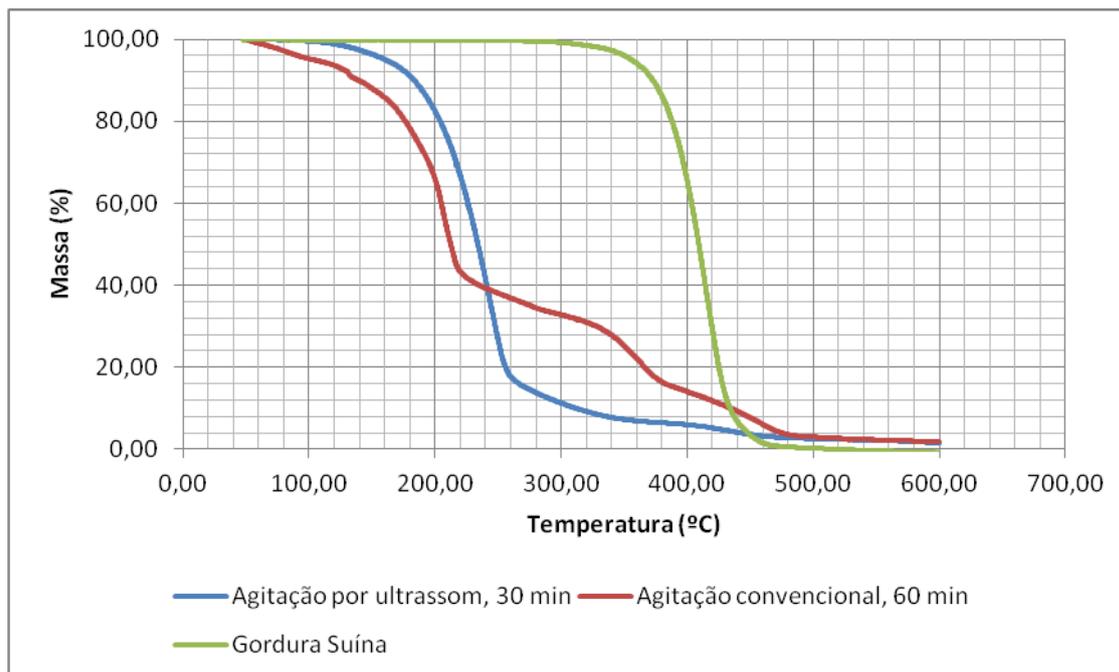


Figura 4 – Análise termogravimétrica de biodiesel produzido a partir de gordura suína.

Na Figura 4 pode-se observar que a curva vermelha, a qual representa a amostra de biodiesel a partir de gordura suína com 1% de KOH (catalisador), realizada sob 60 minutos de agitação convencional, apresenta uma degradação inicial referente ao metanol de cerca de 10%, porém a degradação do biodiesel se inicia à uma temperatura em torno de 150 °C e termina próximo à 350 °C, decaindo a massa do biodiesel de 90% para 30%, apresentando então um percentual de massa de biodiesel de aproximadamente 60%, sendo os outros 30% a gordura suína remanescente. Já a curva azul, que representa a amostra de biodiesel a partir de gordura suína com 1% de KOH realizada com agitação do ultrassom durante 30 minutos, o decaimento inicial da massa do biodiesel se inicia à uma temperatura em torno de 150 °C e termina próximo à 350 °C, decaindo a massa do biodiesel de 100% para 10%, apresentando então um percentual de massa de biodiesel de aproximadamente 90%, sendo os outros 10% referentes a gordura suína remanescente.

Na Figura 4, a curva verde, que representa a gordura suína pura, tem sua degradação iniciada à uma temperatura próxima à 350°C, que é significativamente maior que a temperatura inicial de degradação do biodiesel.

Analisando a Figura 4 e os resultados acima apresentados, os resultados das amostras produzidas, utilizando como matéria-prima a gordura suína, teve resultados muito promissores, principalmente em relação à utilização do ultrassom. O percentual de massa de biodiesel na amostra produzida com o auxílio do ultrassom é de 90%, enquanto o percentual de massa de biodiesel da amostra produzida com agitação convencional é de 60%, lembrando que no ultrassom foi empregado metade do tempo de reação.

Tabela 3 – Tabela comparativa dos resultados.

	Óleo de soja	Gordura suína
Percentual de biodiesel produzido por Agit. Conv. (60 min)	80%	60%
Percentual de biodiesel produzido por Agit. Ultrassom (30 min)	95%	90%
Massa de Catalisador	0,25 g	0,25 g
Volume de Metanol	13,9 mL	43,6 mL

## 6 CONCLUSÃO

Apesar dos óleos vegetais possuírem um teor de ácidos graxos livres e umidade menores que a gordura (o que os favorece), os testes com as duas matérias-primas trouxeram resultados muito próximos, mostrando que a gordura suína é uma boa matéria-prima para a produção de biodiesel e com um custo mais baixo.

Os resultados também se mostraram favoráveis quanto à utilização do ultrassom como método de agitação, pois acelera a produção, diminuindo o tempo de produção do biodiesel, que para a produção em grande escala trará muitos benefícios, e melhora os resultados, pois conforme foi apresentado, as amostras produzidas com o auxílio do ultrassom obtiveram um percentual de massa maior do que aquelas produzidas com agitação convencional.

Tendo em vista os benefícios e eficácia da utilização do ultrassom, sugere-se que mais estudos devam ser feitos agregando conhecimento às pesquisas já realizadas e testando diferentes e menores tempos de agitação, o que tornaria a utilização do ultrassom ainda mais benéfica, inclusive para a diminuição dos custos da produção em grande escala de biodiesel.

## REFERÊNCIAS:

ANTOLÍN, G.; et al. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. **Bioresource Technology**, vol. 83, p. 111-114, 2002. Disponível em Acesso em 23 jun. 2014.

BANKOVIC-LLIC, Ivana B.; STOJKOVIĆ, Ivan J.; STAMENKOVIĆ, Olivera S.; VELJKOVIĆ, Vlada B.; HUNG, Yung-Tse. Waste Animal fats as feedstocks for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 32, p. 238-254, 2014. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000495>. Acesso em 23 mai. 2014.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. Lotufo; MIERZWA, José Carlos; BARROS, Mario Thadeu L., SPENCER, Milton; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

FERES, Paulo F. D. **Os Biocombustíveis na matriz energética alemã: possibilidades de cooperação com o Brasil**. 1ª ed. Brasília: Funag, 2010.

FONTANA, José Domingos; VEDANA, Univaldo. **Biodiesel: Para leitores de 9 a 90 anos**. 1ª ed. Curitiba: UFPR, 2011.

FORREST, J.C; ABERLE, E.D., HEDRICK, H.B., JUDGE, M.D., MERKEL, R.A.. **Fundamentos de ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia. 363p, 1979.

GOLDEMBERG; LUCON. Energia e Meio ambiente no Brasil. **Revista Estudos Avançados**. São Paulo, v.21, n.59, p. 7-20, Jan./Abril 2007. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142007000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142007000100003&script=sci_arttext). Acesso em 29 jun. 2014 .

KARMAKAR, Aninidita; KARMAKAR, Subrata; MUKHERJEE, Souti. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. **Bioresource Technology**, vol. 101, p. 7201-7210, 2010. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410007650#>. Acesso em 11 out. 2014.

KUMAR, Dharmendra; KUMAR, Gajendra; SINGH, Poonam, C.P. Ultrasonic-assisted transesterification of *Jatropha curcus* oil using solid catalyst, Na/SiO<sub>2</sub>. **Ultrasonics Sonochemistry**, vol. 17, p. 839-844, 2010. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710000441>. Acesso em 05 jul. 2014.

MA<sup>a</sup>, Fangrui; HANNA, Milford A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, vol 70, p. 01-15, 1999. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852499000255%20Viitattu%2017.8.2012>. Acesso em 25 jun. 2014

MEHER, L.C.; SAGAR, D. Vidya; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 10. p. 248-268, 2006. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032104001236>. Acesso em 06 jun. 2014.

OLIVEIRA, Pablo F.S.; BRITO, Givanilton; NOGUEIRA, Paulo C.L. **Reciclagem de óleo e gordura residual para a produção de Biodiesel**. p. 1-7, 2014. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYtEAH/reciclagem-oleo-gordura-residual-a-producao-biodiesel#>. Acesso em 29 Jul. 2014.

PÊGO, Francieli; REGINATO, Thiago. **Síntese de biodiesel a partir de gordura suína: Definição da rota de obtenção e parâmetros do processo**. 2011. 43 f. Trabalho de Conclusão - Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

**PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**, 2014. Disponível em [http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/o\\_biodiesel.html](http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/o_biodiesel.html). Acesso em 23/05/2014 às 19:20h.

ROCHA; ROSA; CARDOSO. **Introdução à química ambiental**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Bookman, 2009.

SALVI, B.L.; PANWAR, N.L. Biodiesel resources and production technologies – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 16, p. 3680-3689, 2012. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200233X>. Acesso em 26 mai. 2014.

SANTOS, Francisco F.P; FERNANDES, Sueli; RODRIGUES, Fabiano A.N. Optimization of the production of biodiesel from soybean oil by ultrasound assisted methanolysis. **Fuel Processing Technology**, vol. 90, p.312-316, 2009. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382008002506>. Acesso em 06 jul. 2014.

VELJKOVIC, Vlada; AVRAMOVIC, Jelena; STAMENKOVIC, Olivera. Biodiesel production by ultrasound-assisted transesterification: State of the art and the perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 16, p. 1193-1209, 2012. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111005582>. Acesso em 16 mai. 2014.