UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA – EEL

MATEUS AFONSO GOMES

OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE RESÍDUOS GORDUROSOS
OBTIDOS DE GORDURA ANIMAL – VÍSCERAS DE FRANGO

Lorena
2010

MATEUS AFONSO GOMES

**OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE RESÍDUOS GORDUROSOS
OBTIDOS DE GORDURA ANIMAL – VÍSCERAS DE FRANGO**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Conversão de Biomassa

Orientador: Prof. Dr. George Jackson de M. Rocha

**Lorena
2010**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na Publicação
Biblioteca “Cel. Luiz Sylvio Teixeira Leite”
Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo

Gomes, Mateus Afonso

Obtenção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos obtidos de gordura animal – vísceras de frango / Mateus Afonso Gomes ; orientador George Jackson de M. Rocha. – Lorena: 2010.

55 p. : il.

Dissertação (Mestre em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

1. Biodiesel 2. Óleo de animal (Combustível) 3. Etanol. I. Título

662.756.2 - CDU

Dedicatória

*À DEUS por manter viva minha perseverança
diante de todas as dificuldades e fraquezas,
Ele foi meu refúgio e meu abrigo.*

*À minha mãe: Cleusa, pelo exemplo de fibra e determinação.
Aos meus avós: Anna e Affonso, pelo carinho e afeto.*

*Aos meus alunos do COTEL pela alegria diária, frescor da minha
vida.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, maior manifestação de amor e fé que tornou possível meu sonho se realizar. Senhor: *Tudo posso naquele que me fortalece*. Obrigado por ser minha fortaleza viva.

Ao Prof. George Jackson de Moraes Rocha, meu orientador. Obrigado pela oportunidade, pelos conselhos, pelas broncas e acima de tudo pela paciência e compreensão.

À minha mãe, meus irmãos, meus avós, tias e primos por dividirem comigo essa conquista e torcerem por mim.

Ao Prof. Domingos Sávio Giordani chefe do Departamento de Química pela confiança e pela amizade diária.

Ao Prof. Pedro Carlos de Oliveira pelo bom humor, disposição e amizade.

À minha família COTEL por acreditarem em mim e me apoiarem em todos os momentos: José Mário, Evaldo, Tia Tê, Tia Léo, Tia Lú, Diovana, Jane Mary e aos meus amados alunos, que me fortalecem e me encorajam nos novos desafios.

Aos meus amigos queridos: Mariana, que nesse tempo assumiu responsabilidades além para me auxiliar no mestrado; José Henrique meu maior incentivador; Jú e Rafael pelo otimismo. Muito obrigado!

À minha querida amiga, Prof^a Mary Mitsue, pela amizade, incentivo, torcida, enfim, pela pessoa maravilhosa que ela representa na minha vida.

Às minhas amigas Lucinha, Fátima e Sandrinha pela doçura, incentivo e conselhos.

Aos meus alunos e amigos André Navarro e Lucas Philippini pela disponibilidade, carinho e auxílio na formatação dessa dissertação.

Aos que foram verdadeiramente mestres e me ensinaram o caminho do saber, professores: Hécio, Maria Lúcia, Carlão, Messias, Graça, Inês, Jayne e Aarão.

Aos amigos e companheiros das aulas de mestrado: Carlinha, Yvy, Ester, Eduardo, Patrícia e Vinícius. Obrigado por tudo, principalmente, pelo carinho e amizade.

À Prof^a Heizir Ferreira de Castro, que mesmo não sendo minha orientadora, foi àquela que me estendeu a mão, me orientou diante das dificuldades e se preocupou comigo esse tempo todo. Obrigado por tudo!

À todos aqueles que me apoiaram, incentivaram e até aqueles que não acreditaram em mim, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

GOMES, M. A. **Obtenção de Biodiesel a partir de resíduos gordurosos obtidos de gordura animal – vísceras de frango**. 2010. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena/SP, 2010.

O foco principal do projeto foi estudar e avaliar os parâmetros da obtenção de Biodiesel tendo como matéria prima o resíduo gorduroso (OGR) obtido de gordura animal, particularmente a de frango. Os objetivos do projeto vão ao encontro de questões intimamente ligadas a área ambiental e socioeconômica que cercam a produção do biodiesel. Para isso, tornou-se necessário seguir as etapas do trabalho proposto e assim, determinar a viabilidade do projeto. Foi necessário obter os resíduos gordurosos de frango para posterior caracterização e fazer também uma avaliação dos parâmetros convencionais de análise de biodiesel, traçando um estudo comparativo entre a obtenção do biodiesel com reatores convencionais e de ultrassom. Após obtenção da matéria prima, foi feito um tratamento térmico da gordura bruta e posterior separação do resíduo sólido por filtração. O resíduo sólido foi descartado e o filtrado desidratado por aquecimento e adição de cloreto de cálcio. Após obtenção do filtrado (óleo) colocou-se, em um balão de fundo chato de 1000 mL contendo três bocas, 200 mL do óleo obtido e adicionou-se 50 mL do acilante com Na^o(catalisador). Realizou-se a reação a 45° C em um reator de vidro (500 mL) acoplado ao balão contendo três bocas e munido de condensador, termômetro e agitador mecânico. A agitação foi constante por 30 minutos. Após a reação ter se completado, obteve-se uma emulsão onde se encontrava biodiesel, glicerina, catalisador e excesso de álcool. Para separar os mesmos do nosso principal produto, adicionou-se água destilada que solubilizou o catalisador, se misturou com o álcool juntando-se à glicerina, formando por sua vez uma solução heterogênea com duas fases que posteriormente foi separado por decantação por funil de bromo. Por fim têm-se o biodiesel propriamente dito. O biodiesel obtido foi caracterizado por cromatografia gasosa utilizando o cromatógrafo CG CP3800 – Varian, e o método D_CARBÔNICA, onde obteve-se o percentual de ácidos graxos. As demais e convencionais análises foram realizadas com base nas normas especificadas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP): determinação do índice de acidez pelo método de titulação potenciométrica (NBR 14448); determinação de Índice de Iodo (EN 14111); determinação de água, Método de Titulação Karl Fischer (EN ISO 12937); determinação do Ponto de Fulgor (NBR 14598); e determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica (NBR 10441).

Palavras-chave: Biodiesel. Gordura animal (Combustível). Etanol.

ABSTRACT

GOMES, M. A. **Obtaining biodiesel from waste fat derived from animal fat – viscera of chicken**. 2010. 55 p. Dissertation (Master of Science) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena / SP, 2010.

The main focus of the project was to study and evaluate the parameters of obtaining Biodiesel having as raw material the greasy residue (OGR) obtained from animal fat, especially chicken. The project objectives are going to meet with issues closely linked to the environmental and socio-economic surrounding the production of biodiesel. For this, it became necessary to follow the steps of the proposed work and thus determine the feasibility of the project. It was necessary to get the greasy chicken waste for further characterization and also make an assessment of conventional parameters for the analysis of biodiesel, making a comparative study between getting the biodiesel reactor and conventional ultrasound. After obtaining the raw material a heat treatment of crude and fat was made subsequent separation of the solid residue by filtration. The solid residue was discarded and the filtrate dried by heating and addition of calcium chloride. After obtaining the filtrate (oil) put himself in a flat bottom flask containing 1000 mL with three necked, 200 mL of the oil obtained and added to 50 mL of acylating with Na^o (catalyst). We carried out the reaction at 45 ° C in a glass reactor (500 mL) connected to the bag containing three mouths and fitted with condenser, thermometer and mechanical stirrer. The agitation was constant for 30 minutes. After the reaction have been completed, we obtained an emulsion in which it was biodiesel, glycerin, catalyst and excess alcohol. To separate them from our main product, was added distilled water that solubilized the catalyst, was mixed with alcohol adding to the glycerine, in turn forming a heterogeneous solution with two phases which subsequently was separated by decanting funnel bromine. Finally have the biodiesel itself. The biodiesel was characterized by gas chromatography using GC CP3800 - Varian, and the method D_CARBÔNICA where we obtained the percentage of fatty acids. The other, conventional tests were conducted under the rules specified in the National Petroleum Agency: determination of acid value by the method of potentiometric titration (NBR 14 448); determination of iodine value (EN 14 111); determination of water - Karl Fischer Titration Method (EN ISO 12 937); determination of Flash Point (NBR 14 598); determination of cinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (NBR 10441).

Keywords: Biodiesel. Animal fat (Fuel). Ethanol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Aplicação do uso do biodiesel nas regiões brasileiras.....	24
Figura 2.1. Distribuição das principais matérias-primas do biodiesel no Brasil.....	30
Figura 2.2. Representação esquemática da reação global de transesterificação....	34
Figura 2.3. Representação esquemática da primeira etapa envolvida na transesterificação.....	34
Figura 2.4. Representação esquemática da segunda e terceira etapas envolvidas na transesterificação.....	35
Figura 3.1. Óleo de frango bruto.....	38
Figura 3.2. Óleo de frango decantado.....	38
Figura 3.3. Biodiesel.....	38
Figura 4.1. Cromatografia do Padrão dos Ácidos Graxos.....	43
Figura 4.2. Cromatografia do Óleo de Frango.....	43
Figura 4.3. Óleo Transesterificado.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Comparação das vantagens e desvantagens do etanol e metanol como agente acilante.....	31
Tabela 2.2. Partes descartáveis no abate de aves.....	32
Tabela 4.1. Variáveis e Valores.....	42
Tabela 4.2. Resultados da Análise do Óleo Bruto.....	44
Tabela 4.3. Resultados da Análise do Óleo Transesterificado.....	45
Tabela 4.4. Rendimento da Reação.....	46
Tabela 4.5. Resultados do Laboratório de Combustíveis da UFPE.....	48
Tabela 4.6. Outros Índices Analíticos.....	49

LISTA DE SIGLAS

ABEF – Associação Brasileira de Exportadores de Frango

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AOCS – American Oil Chemist's Society

ASMT- American Society of Testing and Materials

CG – Cromatógrafo Gasoso

HCl – Ácido Clorídrico

IO – Índice de Iodo

KOH- Hidróxido de Potássio

LAC – Laboratório de Combustíveis

NaOH – Hidróxido de Sódio

NBR – Norma Brasileira

NO_x – Óxido de Nitrogênio

OCEPAR - Organização das Cooperativas do Estado do Paraná

OGR – Óleos e gorduras residuais

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1. Biodiesel.....	28
2.1.1. Matérias-primas para a produção de biodiesel	29
2.1.2. Gordura animal.....	31
2.2. Métodos de obtenção do biodiesel.....	33
2.2.1. Transesterificação.....	33
3. METODOLOGIA.....	36
3.1. Produção do Óleo de Frango.....	36
3.2. Análise do Óleo por Cromatografia.....	36
3.3. Determinação da Viscosidade do Óleo (antes da transesterificação).....	36
3.4. Produção do Biodiesel.....	37
3.4.1. Preparação do Catalisador.....	37
3.4.2. Obtenção do Biodiesel	37
3.5. Determinação da Viscosidade do Biodiesel (depois da transesterificação).....	38
3.6. Planejamento Fatorial Completo L18.....	38
3.7. Outros Índices Analíticos.....	39
3.7.1. Índice de Iodo.....	39
3.7.2. Índice de Saponificação.....	39
3.7.3. Índice de Peróxido.....	39
3.8. Uso do aparelho de ultrassom.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1. Em Relação à Produção do Óleo.....	41
4.2. Viscosidade do Óleo Bruto.....	41
4.3. Catalisador e Importância da Transesterificação.....	41
4.4. Proposta de Variáveis e Seus Valores para a Produção de Biodiesel.....	42

4.5. Cromatografia Gasosa.....	43
4.5.1. Cromatografia de Fase Gasosa de Biodiesel Obtido por Transesterificação Etílica da Gordura de frango.....	45
4.6. Determinação de Outros Índices Analíticos do Biodiesel.....	48
4.7. Resultados obtidos com uso do aparelho de ultrassom.....	49
5. CONCLUSÕES.....	50
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é a maior fonte de combustíveis fósseis do mundo, sendo uma fonte de energia não renovável suas reservas estão próximas de serem esgotadas. A sua queima gera uma grande quantidade de poluentes que influenciam diretamente e negativamente no mal estar da humanidade e do meio ambiente devido à destruição da camada de ozônio, causando o aquecimento global.

Entre 1983 e 1985 houve grande produção de petróleo gerando uma queda no preço no mercado mundial. Conseqüentemente vários países, entre eles o Brasil, tiveram vários projetos de produção e uso de energias alternativas suspensos. (PARENTE et al.; 2003).

Nos anos 2000 houve uma nova alta no preço do barril de petróleo no mercado internacional, com isso as fontes de energias renováveis devem assumir um papel crescente na matriz energética mundial com técnicas avançadas e preocupadas com a sustentabilidade ambiental. (OLIVEIRA, 2001).

O meio ambiente é o responsável pelo oferecimento das condições essenciais para sobrevivência e evolução do ser humano, o que se faz necessário preservá-lo, pois, do contrário, estar-se-ia caminhando para um esgotamento dos recursos vitais.

A civilização passou, portanto, a dar uma maior atenção à natureza, realizando conferências de caráter regional e mundial, criando instituições para cuidar do meio ambiente. Segundo Menani (2005), nos anos de 2003 e 2004, percebeu-se um acirramento do efeito estufa, em virtude dos altos níveis de gás carbônico emitidos na queima de combustíveis fósseis, fato esse que vem provocando mudanças climáticas que afetam toda a população mundial.

A preocupação em torno das referidas alterações climáticas é crescente e tem convergido para políticas globais de redução de poluição, onde se vê necessária a transição para uma nova matriz energética, que substitua o petróleo como matéria prima. Dentro deste contexto, surge o biodiesel, a alternativa mais provável ao petrodiesel. Este é um combustível derivado de fontes renováveis, como dendê, girassol, soja, mamona dentre outras, e que possui praticamente as mesmas propriedades do diesel fóssil, mas que comparado a este, segundo

Holanda (2004), pode reduzir em 78% as emissões líquidas de gás carbônico, em 90% as emissões de fumaça e, praticamente, eliminar as emissões de óxido de enxofre.

Produzir biodiesel no Brasil torna-se ainda mais vantajoso ambientalmente, pois, ao contrário dos países europeus que fazem uso do metanol para reagir com o óleo vegetal, o país utilizaria o etanol, que é um álcool menos tóxico e de fonte renovável. Isto é possível, pois o país já é produtor de etanol, tem a tecnologia necessária já desenvolvida e um mercado consolidado.

A figura 1.1 mostra como as regiões brasileiras utilizam o biodiesel e assim conseguem através de uma fonte alternativa de energia, melhorar sua situação socioeconômica.

Figura 1.1. Aplicação do uso do biodiesel nas regiões brasileiras.

Fonte: Petrobiobr, 2010.

O Brasil desenvolve pesquisas sobre biodiesel há quase meio século e foi um dos pioneiros ao registrar a primeira patente sobre o processo de produção de combustível, em 1980. Pode-se dizer que o País já dispõe de conhecimento tecnológico suficiente para iniciar e impulsionar a produção de biodiesel em escala comercial, embora deva continuar avançando nas pesquisas e testes

sobre esse combustível como, aliás, se deve avançar em todas as áreas tecnológicas, de forma a ampliar a competitividade do produto.

Hoje, 10% do diesel consumido no Brasil são importados. Este combustível, utilizado principalmente no transporte de passageiros e de cargas, é o mais utilizado no país, com comercialização anual da ordem de 38,2 bilhões de litros, o que corresponde a 57,7% do consumo nacional de combustíveis veiculares.

O biodiesel permite a economia de divisas com a importação de petróleo e óleo diesel, trata-se de uma vantagem estratégica ao reduzir a dependência das importações de petróleo. Esse combustível renovável terá impacto na balança comercial brasileira por permitir a redução da importação de óleo diesel. De acordo com Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, Governo Federal, o uso comercial do B2 (mistura de 2% do biodiesel ao diesel), até 2008, cria um mercado potencial para a comercialização de 800 milhões de litros de biodiesel/ano, o que representa uma economia anual da ordem de US\$ 160 milhões na importação de diesel.

O Brasil apresenta reais condições para se tornar um dos maiores produtores de biodiesel do mundo por dispor de solo e clima adequados ao cultivo de oleaginosas. Segundo Holanda (2004), o *National Biodiesel Board*, responsável pela implantação do combustível nos Estados Unidos da América, divulgou estudos que reforçam esta teoria, mencionando ainda que o Brasil seria o responsável pela substituição de 60% do combustível fóssil consumido no planeta. Assim, além de assegurar o suprimento interno, o biodiesel produzido no Brasil tem grande potencial de exportação.

Segundo Parente (2003) as fontes alternativas de energia trazem impactos sociais e ambientais muito menores que as fontes convencionais, e são melhores geradores de emprego.

A área plantada necessária para atender ao percentual de mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é estimada em 1,5 milhões de hectares, o que equivale a 1% dos 150 milhões de hectares plantados e disponíveis para agricultura no Brasil. Este número não inclui as regiões ocupadas por pastagens e florestas. As regras permitem a produção a partir de diferentes oleaginosas e

rotas tecnológicas, possibilitando a participação do agronegócio e da agricultura familiar.

O cultivo de matérias-primas e a produção industrial de biodiesel, ou seja, a cadeia produtiva do biodiesel tem grande potencial de geração de empregos, promovendo, dessa forma, a inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar. (SOUZA et. AL.; 2006)

Além dos óleos vegetais *in natura*, a gordura animal obtida em matadouros e óleo vegetal que já tenha sido usado em frituras, também podem ser utilizados para obtenção de biodiesel (MOITHE, 2005).

Aproveitando o fato de o Brasil ser o maior exportador e o terceiro maior produtor de carne de frango do mundo, aqui está sendo desenvolvido uma nova tecnologia para a produção do biodiesel, usando os resíduos gordurosos do frango (gordura abdominal e pele), pois há um grande impasse para o destino a ser dado a este material pelo abatedouro, já que utilização de subprodutos de origem animal está sendo altamente retirada das dietas animais, tornando um produto com potencial de poluente. A utilização deste material como fonte de produção de energia, tal como biodiesel, aparece como uma excelente alternativa tanto econômica quanto ambiental. (RODRIGUES, 2006)

O teor de gordura em uma carcaça de frango de corte pode ser influenciado por diversos fatores, tais como, origem genética (LITTLEFIELD, 1972); idade da ave (MERKLEY, 1973); sexo, as fêmeas tendo mais gorduras que os machos. No Brasil, principalmente, na região sul, são criadas as raças Ross, Cobb, Hubbard, Arbor Acres e Isa Vedete, as quais não apresentam grandes diferenças em relação a ganho de peso, consumo de ração ou conversão alimentar, se avaliados para uma mesma idade, indiferente de sexo, e mesmas condições climáticas (FLEMMING et al. ; 1999). O fator que mais influência é a idade do frango, pois existe um limite para a conversão alimentar, sendo estes abatidos entre 25 e 45 dias de idade, conforme mercado ou produto a ser produzido. Sendo observada nesta região uma preferência pela linhagem Cobb. (SOUZA, 2006).

Além disso, o teor de gordura ainda tem uma correlação positiva com o peso vivo da ave. (CHAMBERS, 1983). As linhagens modernas vêm sendo trabalhadas para um rápido ganho de peso e deposição protéica, sendo que

quando há qualquer desbalanço no fornecimento dos nutrientes a deposição de gordura abdominal é aumentada. Esta gordura é gerada através da hipertrofia e hiperplasia das células adiposas.

Segundo os dados referentes em Estatística ... (2007), o Brasil ocupa a terceira colocação na produção de carne de aves desde 2003 ficando atrás apenas dos EUA e da China, em 2006 a produção brasileira foi de 9.336 milhões de toneladas, e somos o maior exportador de carne de frango do mundo desde 2004, tendo exportado em 2.713 de milhões de toneladas no ano de 2006.

As gorduras animais são geralmente classificadas como sebos, gorduras que apresentam estado sólido em temperatura ambiente, devido a sua composição percentual ser elevada em ácidos graxos saturados, principalmente o esteárico. Uma exceção são as gorduras de frangos, classificada como óleo de frango, devido também a sua composição percentual, neste caso com valores baixos de ácido esteárico, ficando próximas a óleos como o de soja, apresentando-se em estado líquido a temperatura ambiente, facilitando a reação de transesterificação. (FORREST et.al., 1979)

Segundo Parente (2003), o que tem sido denominado de biodiesel, é um combustível obtido de fonte renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente.

De acordo com as considerações acima, o presente trabalho teve como objetivo verificar e analisar os parâmetros das amostras de biodiesel, obtidas pelo tratamento dos resíduos gordurosos de frango em substituição as plantas oleaginosas, como fonte alternativa de combustível.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Biodiesel

Historicamente, o uso direto de óleos vegetais como combustível foi rapidamente superado pelo uso de óleo diesel derivado de petróleo por fatores tanto econômicos quanto técnicos. Àquela época, os aspectos ambientais, que hoje privilegiam os combustíveis renováveis como o óleo vegetal, não foram considerados importantes. Dessa forma os motores dieseis foram projetados e são fabricados, de acordo com rígidas especificações, para uso do óleo diesel de petróleo. Esses motores são sensíveis às gomas que se formam durante a combustão do óleo vegetal e que se depositam nas paredes do motor. Para superar esse problema, processos de transesterificação são utilizados para obtenção de ésteres de óleos vegetais (COSTA NETO et al., 2000).

O produto resultante (biodiesel) é definido como ésteres alquílicos de ácidos graxos, obtidos na reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleos e gorduras vegetais ou animais) com álcool de cadeia curta (PINTO et al., 2005). Apresenta propriedades físicas similares ao óleo diesel de petróleo, além de maior lubricidade (COSTA NETO et al., 2000).

Além de ser totalmente compatível com o diesel de petróleo em praticamente todas as suas propriedades, o biodiesel ainda apresenta várias vantagens adicionais em comparação ao combustível fóssil: é derivado de matérias-primas renováveis de ocorrência natural, reduzindo assim, atual dependência sobre os derivados do petróleo e preservando as suas últimas reservas; é biodegradável; gera redução nas principais emissões presentes nos gases de exaustão (com exceção dos óxidos de nitrogênio, NO_x); possui um alto ponto de fulgor, o que lhe confere manuseio e armazenamento mais seguros; apresenta excelente lubricidade (KNOTHE et al., 2006). Destaca-se ainda, o fato do biodiesel ser consumido de uma maneira similar à empregada na combustão dos combustíveis à base de petróleo. Desta forma, os motores que foram projetados para combustíveis a diesel podem ser operados sem modificação nenhuma utilizando Biodiesel (MARTÍN; OTERO, 2008).

2.1.1. Matérias-primas para a produção de biodiesel

O biodiesel tem sido produzido a partir de uma variedade de fontes, incluindo óleos vegetais crus e refinados, gorduras animais, óleos e gorduras residuais (RAMOS et al., 2003). Na categoria de óleos vegetais, podem ser transformados em biodiesel, óleos extraídos da: semente de soja, grão de amendoim, polpa do dendê, amêndoa do coco de dendê, amêndoa do coco da praia, caroço de algodão, amêndoa do coco de babaçu, semente de girassol, bagaço de mamona, semente de colza, semente de maracujá, polpa de abacate, caroço de oiticica, semente de linhaça, semente de tomate, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas (RAMOS et al., 2003). Óleos vegetais são constituídos de triacilgliceróis, sendo estes compostos por cadeias curtas ou longas de ácidos graxos, cujo grau de saturação, ou insaturação, é função do tipo da semente que originou o óleo. Óleos que possuem maior número de ácidos graxos saturados, como por exemplo, o óleo de babaçu (rico em ácidos láurico), apresenta-se em estado sólido à temperatura de 20–25 °C; aqueles cujo teor de poliinsaturados é mais elevado, por exemplo, soja, algodão, amendoim (ricos em ácidos linoleico/ oleico) apresentam-se em estado líquido à temperatura ambiente ou abaixo desta (DA ROS, 2009 apud ABOISSA ÓLEOS VEGETAIS, 2008).

Embora o óleo de soja seja o mais produzido no Brasil (figura 2.1), algumas desvantagens são pertinentes a esse óleo como a formação de depósitos de carbono por combustão incompleta, devido à redução da eficiência de lubrificação do óleo, decorrente da polimerização de ácidos graxos poliinsaturados, como exemplo, os ácidos linoleico e linolênico, presentes em grande concentração nesse óleo e também pela presença de gomas e fosfolipídios que auxiliam no entupimento dos sistemas de injeção (RAMOS et al., 2003). Outros óleos alternativos têm sido empregados para a produção de biodiesel, como os óleos de babaçu e palma. Esses óleos são produzidos nacionalmente e com reduzida concentração de ácidos poliinsaturados, gomas e fosfolipídios e não necessitam da implantação de uma unidade de refino, o que torna atrativo a sua aplicação em reações de síntese de biodiesel.

DA ROS, P.C.M. Etanolise de óleos vegetais por catálise enzimática acelerada por irradiação de micro-ondas. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Escola de Engenharia de Lorena – USP, Lorena, 2009.

Atlas do Biodiesel - Potencialidade brasileira para produção e consumo de combustíveis vegetais
 Biodiesel Atlas - Brazil's potential for production and consumption of vegetable fuel

Figura 2.1. Distribuição das principais matérias-primas do biodiesel no Brasil.

Fonte: Biodieselbr, 2010.

Com relação ao álcool, somente álcoois simples, tais como metanol, etanol, propanol, butanol e pentanol, têm sido usados na produção do biodiesel. O metanol é o álcool mais frequentemente utilizado por razões de natureza física e química (cadeia curta e polaridade) (COSTA NETO et al., 2000) e também por apresentar um custo mais acessível que os demais álcoois. Ressalta-se, no entanto, que o metanol tem uma toxicidade muito elevada à saúde humana, podendo causar, inclusive, cegueira e câncer. Por outro lado, o etanol apresenta a vantagem de não ser tóxico, ser biodegradável e ser produzido a partir de fontes renováveis. A Tabela 2.1 permite uma melhor avaliação das vantagens e desvantagens da utilização do etanol ou metanol como agente acilante na obtenção de biodiesel.

Tabela 2.1. Comparação das vantagens e desvantagens do etanol e metanol como agente acilante.

Etanol	Metanol
Origem renovável	Derivado do petróleo
Produto nacional	O país é importador do produto
Não tóxico	Tóxico
Processo de separação da glicerina mais complexo	Separação imediata da glicerina
Maior investimento na unidade	Menor custo

A opção de utilização de etanol no Brasil é bastante atrativa devido à grande capacidade agrícola e a já consolidada indústria do etanol no país. É natural a idéia de substituição do álcool metílico pelo etílico na produção de biodiesel. Mesmo considerando algumas desvantagens técnicas existentes na produção do biodiesel pela rota etílica (mais lenta, consome mais álcool, maior dificuldade de separação), o biodiesel etílico possui uma viscosidade maior que o biodiesel metílico promovendo uma maior lubrificidade em relação ao biodiesel metílico. Destaca-se ainda que biodiesel etílico gera significativamente menos opacidade na fumaça que o biodiesel metílico, sua temperatura de combustão é menor, significando, entre outras coisas, uma redução nas emissões de NO_x . Deste modo, é válido e estratégico qualquer esforço para se aperfeiçoar a rota etílica de produção de biodiesel.

2.1.2. Gordura animal

O potencial para a produção de biodiesel com base na utilização de gordura animal e residual de peixes vem sendo amplamente divulgado em países como a Noruega. Nesse país a utilização do biodiesel é baseada em um estudo da quantidade de gordura residual que é possível recuperar a partir de caixas de gordura em Bergen. Os dados adicionais a partir de Trondheim e Oslo facilitam para estimar o potencial nacional para a utilização deste fluxo de resíduos para a produção de biodiesel. Este é complementado com dados sobre os resíduos de matadouros e de aves, bem como a indústria da pesca. Os resultados indicam que a Noruega tem o potencial para produzir grandes quantidades de biodiesel a partir destas fontes de resíduos (OTTO, ANDERSEN et al., 2010).

No campo da produção de energia da biomassa, matéria de origem orgânica animal ou vegetal, o Brasil é um país privilegiado. Por dispor da incidência da energia solar durante todo o ano, em quase toda a sua extensão territorial, pode se propor a implantar um amplo programa de geração de energia de variadas fontes alternativas como: biodiesel, álcool e restos de produção (VASCONCELLOS, 2002). As fontes alternativas de energia trazem impactos ambientais e sociais muito menores que as fontes convencionais, e são melhores geradores de emprego (PARENTE, 2003).

Uma das alternativas energéticas para o Brasil é a produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras, vegetais ou animais. Esse produto já existe em vários países da Europa, com oferta na forma pura, denominada de B100, ou em misturas denominadas BX, onde o X indica o percentual deste incorporado ao óleo diesel.

No Brasil, o desenvolvimento das cooperativas no Paraná fez parte de uma estratégia que reconhecia a sua importância para acelerar a modernização da agricultura e a penetração de capital no campo. Desse modo as cooperativas tornaram-se um canal eficiente da produção e elemento de transformações estimuladas pela política agrícola (PERIN et al., 2001). Com o processo de diversificação, iniciado na década de 80, ficou evidente a necessidade das cooperativas tradicionais integrarem as novas atividades, entre elas a industrialização de proteína animal. Nesta região, segundo dados da OCEPAR, existem cinco abatedouros de aves pertencentes a cooperativas que geram resíduos descartáveis de frango, conforme tabela 2.2.

Tabela 2.2. Partes descartáveis no abate de aves

Fonte: Elaboração própria

Parte	%
Sangue	2,368
Penas	6,335
Vísceras não comestíveis	7,290
Quebra (ossos, resíduos e rejeitos)	14,007

Sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais de carne de frango, o estado do Paraná o maior responsável por esta produção no país e a crescente produção pelas cooperativas da região, surgiu então à idéia de se aproveitar

gorduras provenientes desta cadeia produtiva, óleo não comestível de vísceras de frangos para uso como combustível. O objetivo principal deste trabalho foi a determinação do potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango produzido nas cooperativas da região oeste do estado do Paraná.

2.2. Métodos de obtenção do biodiesel

Quatro métodos têm sido investigados para solucionar os seguintes problemas relacionados ao uso direto de óleos vegetais como combustível: viscosidade muito alta, baixa volatilidade e caráter poliinsaturado, e, assim, permitir o seu uso em motores diesel sem problemas operacionais, como a formação de incrustações e depósitos. Dentre os métodos destacam-se: *diluição de óleos vegetais com petrodiesel, micro-emulsificação, pirólise e transesterificação* (KNOTHE et al., 2006).

No entanto, a transesterificação tem sido o método mais utilizado, melhorando as propriedades físicas dos combustíveis para o motor diesel. Os óleos vegetais, quando submetidos ao processo de transesterificação, sofrem quedas bruscas nos valores do ponto de névoa e viscosidade, podendo assim o combustível obtido (biodiesel) ser queimado diretamente em motores diesel sem necessidade de adaptação (FUKUDA; KONDO; NODA, 2001).

2.2.2. Transesterificação

Os óleos vegetais e gorduras animais, na suas formas-primas de alta viscosidade são inadequados como combustíveis para motores diesel. Transesterificação é um dos processos mais conhecidos no qual as gorduras e óleos são convertidos em biodiesel, conforme Figura 2,2. A reação muitas vezes faz uso de catalisador ácido / base. Se o catalisador possui livre alta quantidade de ácido-graxo então o catalisador ácido dá melhores resultados. Estudos recentes mostram que o óleo de Mahua possui 14% de ácidos graxos livres que foram transesterificados para obter biodiesel usando catalisadores ácidos com diferentes alcoóis (SARAVANAN, SUKUMAR, et al, 2010).

A reação de transesterificação na presença de um catalisador (homogêneo ou heterogêneo), representada pelas Figuras 2.3 e 2.4, é utilizada para produção de biodiesel, gerando glicerol como subproduto (MEHER; SAGAR; NAIK, 2006). A equação geral da reação de transesterificação é representada na Figura 2.2.

Figura 2.2. Representação esquemática da reação global de transesterificação.

Para que a reação ocorra de forma adequada é importante que as três etapas consecutivas sejam monitoradas, bem como a reversibilidade da reação, conforme mostrado nas figuras 2.3, 2.4 e 2.5 (FUKUDA; KONDO; NODA, 2001). Na primeira etapa, os triglicerídeos são convertidos para diglicerídeos, os quais serão convertidos a monoglicerídeos na etapa posterior. Por último, monoglicerídeos são convertidos a glicerol. Em cada etapa da reação, ocorre a liberação de uma molécula do éster de interesse (FREEDMAN; BUTTERFIELD; PRYDE, 1986; NOUREDDINI; ZHU, 1997). O biodiesel formado deve ser purificado antes de sua utilização em motores e a glicerina pode ser recuperada, aumentando o lucro inerente ao processo, já que possui alto valor agregado (KNOTHE et al., 2006).

Figura 2.3. Representação esquemática da primeira etapa envolvida na transesterificação.

Figura 2.4. Representação esquemática da segunda e terceira etapas envolvidas na transesterificação.

Os catalisadores usados na reação de transesterificação podem ser homogêneos ou heterogêneos. Os catalisadores homogêneos mais usados são: hidróxidos de sódio (NaOH) ou potássio (KOH), seguidos dos alquilatos metálicos (metóxido ou etóxido de sódio), sódio metálico e liga sódio-potássio (FUKUDA; KONDO; NODA, 2001; GIOIELLI, 1998; ROZENAAL, 1992).

3. METODOLOGIA

3.1. Produção do Óleo de Frango

Pesou-se aproximadamente 6 Kg de gordura de frango e moeu-se em moedor elétrico de açougue. Colocou-se em uma panela com 15 L de água e ferveu-se por 30 minutos para extrair todo o óleo da gordura. Resfriou-se por 30 minutos e filtrou-se em peneira com vazão rápida (peneira média). Decantou-se por 20 minutos para separar a água da parte sólida da gordura e após separada a água, filtrou-se novamente em uma peneira mais fina e levou-se ao fogo por mais 30 minutos para a retirada de qualquer resíduo de água.

Após a etapa de decantação, verificou-se a formação de duas fases e adicionou-se cerca de 5% de massa de cloreto de cálcio por volume de óleo para absorver o máximo de água e agitou-se por 30 minutos. Tampou-se o frasco, esperou-se decantar totalmente o cloreto de cálcio, filtrou-se e armazenou-se o óleo em refrigerador.

3.2. Análise do Óleo por Cromatografia

O óleo obtido foi caracterizado por cromatografia gasosa utilizando o cromatógrafo CG CP3800 - Varion, e método D_CARBONICA, onde foram analisados o percentual dos ácidos graxos. Paralelamente foram feitas as análises dos padrões de ácidos graxos.

3.3. Determinação da Viscosidade do Óleo (antes da transesterificação)

A viscosidade do óleo antes da transesterificação foi determinada utilizando um viscosímetro Brookfield Modelo LVDII.

3.4. Produção do Biodiesel

3.4.1. Preparação do Catalisador

Calculou-se por estequiometria a quantidade necessária de sódio metálico para a preparação do catalisador, partindo-se da relação de que para cada 32 g de sódio, seriam necessários 1 L de etanol absoluto anidro. Pesou-se a massa necessária do sódio e dissolveu-se cuidadosamente em etanol anidro. Rotulou-se e armazenou-se em frasco apropriado para uso posterior.

3.4.2. Obtenção do Biodiesel

A partir do óleo de frango obtido, foram feitos testes preliminares de obtenção do biodiesel através do processo de transesterificação. Para isso, aplicou-se um planejamento fatorial com 3 níveis (Nível 1, Nível 2 e Nível 3) e as seguintes variáveis: Tempo (min), Temperatura (°C), NaOH e KOH (% em massa do álcool), excesso de etanol (% em massa) e agitação (rpm). Após a análise do planejamento fatorial realizou-se a reação de transesterificação a 45°C em um reator de vidro com volume de 500 mL contendo três bocas e munido de condensador, termômetro e agitador mecânico. No balão foram adicionados 300 mL de óleo de frango e 150 mL de etóxido de sódio, sob agitação vigorosa (para evitar a reação de saponificação). Após 3 minutos de reação foi desligado o agitador. O produto formado foi transferido para um erlenmeyer de 500 mL juntamente com 60 g de glicerina e submetido a agitação magnética por 1 minuto. O conteúdo do erlenmeyer foi transferido para um funil de separação e deixado em repouso por 2 horas para que toda glicerina fosse decantada.

Separada as duas fases, a glicerina foi retirada e o biodiesel foi lavado em um erlenmeyer com 100 mL de água destilada a 90°C e 0,5% de ácido clorídrico concentrado por 30 segundos visando à neutralização do produto. Novamente esta mistura foi colocada dentro do funil de separação e deixada em repouso por 12 horas. O produto formado foi transferido a um béquer de 500 mL e adicionado cloreto de cálcio para retirar traços de água presentes. Essa mistura foi submetida a agitação magnética por 2 minutos, e posto em repouso por 1 dia. Por fim, foi

filtrada a vácuo por duas vezes, na primeira filtragem foi utilizado filtro de pano de camada dupla e na segunda, filtro de papel para retirar todo resíduo do cloreto de cálcio ainda presente. As etapas de produção do biodiesel podem ser observadas nas figuras a seguir.

Figura 3.1. Óleo de frango bruto

Figura 3.2. Óleo de frango decantado

Figura 3.3. Biodiesel

3.5. Determinação da Viscosidade do Biodiesel (depois da transesterificação)

A viscosidade do óleo antes da transesterificação foi determinada utilizando um viscosímetro Brookfield Modelo LVDII.

3.6. Planejamento Fatorial Completo L18

Realizou-se um planejamento *Taguchi orthogonal array design L18* e analisou-se os melhores rendimentos de reação. Separou-se as amostras de

biodiesel que apresentaram os melhores resultados e solicitou-se análises de viscosidade cinemática, massa específica, índice de acidez e teor de água (Karl Fischer) para o Laboratório de Combustíveis da Universidade Federal de Pernambuco (LAC – UFPE).

3.7 Outros Índices Analíticos

3.7.1. Índice de Iodo

Para a determinação do índice de iodo (IO) foi utilizada a metodologia oficial recomendada pela AOCS (American Oil Chemist's Society).

3.7.2. Índice de Saponificação

Índice de saponificação (I. S.) é o número de miligramas de KOH necessários para neutralizar os ácidos graxos livres e saponificar um grama de gordura. Quanto maior o índice de saponificação, mais base será consumida.

Em um erlenmeyer de vidro com capacidade de 250 mL foram colocados 1 g da amostra e 20 mL de solução alcoólica 0,5 mol/L de KOH. A mistura ficou sob agitação magnética por 30 minutos e depois foi titulada com HCl 0,5 mol/L usando a fenolftaleína como indicador.

3.7.3. Índice de Peróxido

Em um erlenmeyer de vidro com capacidade de 250 mL foram colocados 5 g de óleo de frango e adicionou-se 30 mL de clorofórmio/ácido acético 3:2 e 0,5 mL de iodeto de potássio saturado. Após um minuto de repouso adicionou-se 30 mL de água. Titulou-se a amostra com uma solução padronizada de tiosulfato de sódio 0,02 mol/L, até a cor amarelo claro. Logo após, foi adicionado 1 mL de goma de amido 1% (indicador) e titulou-se até o desaparecimento da cor azulada.

Efetuuou-se a prova em branco, repetindo-se os procedimentos anteriores, porém sem a adição do óleo de frango, subtraindo-se o resultado do volume total gasto na titulação da amostra.

3.8. Uso do aparelho de Ultrassom

A partir do óleo de frango obtido, foram feitos testes preliminares de obtenção do biodiesel através do processo de transesterificação em ultrassom convecional. Para isso, aplicou-se um planejamento fatorial com 3 níveis (Nível 1, Nível 2 e Nível 3) e as seguintes variáveis: Tempo (min), Temperatura (°C), NaOH e KOH (% em massa do álcool), excesso de etanol (% em massa) e agitação (rpm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Obtenção do Óleo

Devido ao grande número de testes a serem realizados, houve a necessidade de se obter uma quantidade elevada de matéria prima, neste caso, o frango. As dificuldades encontradas se deram pela moagem da amostra bruta por meio um moedor elétrico de açougue, o que demandava tempo para o deslocamento até o local específico para a realização de tal procedimento.

As condições iniciais foram realizadas com grande dificuldade devido a todo o aparato necessário para a inicialização da produção do óleo. Finalizada esta etapa, partiu-se para a obtenção efetiva do óleo e posterior biodiesel.

4.2. Viscosidade do Óleo Bruto

A viscosidade mede a resistência da vazão de um líquido em atrito interno de uma parte do fluido que escoar sobre a outra e tem relação direta com a atomização do combustível no momento de sua injeção na câmara de combustão, podendo causar a formação de depósitos (incrustações) no motor. Quanto maior a viscosidade, maiores serão os problemas no combustível.

Mediu-se a viscosidade do óleo bruto, ou seja, antes da transesterificação e encontrou-se o valor de 42,19 cps ou 46,87 mm²/s. Esta medida foi feita no viscosímetro Brookfield. Após transesterificação obteve um óleo com 5,2 cps, semelhante ao biodiesel de milho.

4.3. Catalisador e Importância da Transesterificação

A transesterificação é o método mais comum para a formação de produtos chamados de biodiesel, ou melhor, esteres-alquílicos de óleos e gorduras. No Brasil introduziu-se o álcool etílico na rota da produção do biodiesel, devido ao baixo custo e facilidade de obtenção desse reagente.

No caso da transesterificação realizada, utilizou-se um catalisador alcalino preparado com a reação direta do metal com o álcool. Isso foi feito por que o

metal apresenta vantagens em relação aos hidróxidos no caso da formação de água. Para que o processo de transesterificação seja satisfatório é necessário que o sistema permaneça o mais livre de água possível, sendo assim, ao utilizar o alcoolato teremos menos água e uma fração glicerínica de maior pureza ao final da reação.

A princípio, a transesterificação é uma reação reversível, embora durante a produção de biodiesel a reação reversa não ocorra, por que o glicerol formado no sistema é imiscível no produto final, gerando um sistema bifásico.

O glicerol pode ser removido rapidamente por meio de uma centrífuga ou até mesmo um decantador. Após a separação do glicerol, os ésteres etílicos foram neutralizados antes da lavagem aquosa, neste caso o ácido é adicionado para neutralizar o catalisador residual e evitar ou quebrar possíveis quantidades de sabão que tenham se formado durante a reação. O sabão reage com o ácido para formar sais solúveis em água e ácidos graxos livres, conforme a reação abaixo:

A lavagem aquosa do produto final é importante para a remoção dos sais formados e conservação dos ácidos graxos livres. A etapa de lavagem remove qualquer quantidade residual de catalisador, sabões, sais, etanol ou glicerina livre do produto final e é feita após a neutralização para reduzir a quantidade de água utilizada, minimizando a formação de emulsões e facilitando a retirada da água por evaporação a vácuo.

4.4. Proposta de Variáveis e Seus Valores para a Produção de Biodiesel

Tabela 4.1. Variáveis e Valores

<i>Variáveis</i>	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Tempo (min)	10	20	30
Temperatura (°C)	40	45	50
Agitação (rpm)	baixa	média	Alta

Em relação à tabela 4.1 acima, verificou-se que as melhores condições de trabalho foram obtidas mediante à temperatura no nível 2 (45 °C), tempo no nível 3 (30 min) e agitação no nível 3 (alta). A partir desses resultados iniciou-se os demais testes.

4.5. Cromatografia Gasosa

Foi utilizada a cromatografia gasosa, pois até o momento este tem sido o método cromatográfico mais utilizado e de maior precisão para a quantificação de compostos minoritários.

O material foi analisado por cromatografia gasosa a fim de se determinar a sua distribuição graxa (figura 4.2) e para caracterizar os picos obtidos, foi feita uma comparação com uma amostra padrão de ácidos graxos (figura 4.1).

Figura 4.1. Cromatografia do Padrão dos Ácidos Graxos

Figura 4.2. Cromatografia do Óleo de Frango**Tabela 4.2.** Resultados da Análise do Óleo Bruto

Ácidos Graxos - Óleo de Frango	(%)
Hexanóico-C6	0,013
Cáprico-C10	0,009
Láurico-C12	0,028
Mirístico-C14	0,594
Palmítico-C16	21,528
Esteárico-C18	5,132
Oléico-C18 (C=C)	41,591
Linoleico-C18 (2 C=C)	15,720
Linolênico-C18(3 C=C)	0,787
Icosanoico-C20	0,073

De acordo com a tabela 4.2, podemos verificar que as maiores concentrações encontradas foram as dos ácidos oléico, palmítico, linoleico e esteárico. Os demais ácidos graxos observados não apresentam valores significativos.

Após a obtenção do óleo transesterificado, analisou-se por meio de cromatografia gasosa o mesmo. Os resultados são demonstrados no cromatograma abaixo:

Figura 4.3. Óleo Transesterificado

Nesse método de produção de biodiesel foram obtidos 270 mL do produto havendo um rendimento mássico de 84,69% e os valores de ácidos graxos obtidos foram:

Tabela 4.3. Resultados da Análise do Óleo Transesterificado

Ácidos Graxos – Óleo Transesterificado	(%)
Hexanóico-C6	0.013
Cáprico-C10	0.009
Láurico-C12	0.028
Mirístico-C14	0.594
Palmítico-C16	21.949
Esteárico-C18	5.175
Oléico-C18 (C=C)	44.259
Linoleico-C18 (2 C=C)	15.265
Linolênico-C18(3 C=C)	0.827
Icosanoico-C20	1.010

Os resultados obtidos da análise cromatográfica do óleo transesterificado mostrou, de acordo com a tabela 4.3, que o valor médio de esterificação ultrapassou 75% evidenciando que houve uma mudança significativa na estrutura dos ácidos graxos contidos no óleo de frango. Esses resultados corroboram com a diminuição significativa da viscosidade do produto obtido.

4.5.1. Cromatografia de Fase Gasosa de Biodiesel Obtido por Transesterificação Etílica da Gordura de Frango

Para otimizar o processo de obtenção do biodiesel, realizou-se um planejamento fatorial completo do tipo L18 (método ortogonal de Taguchi) e analisou-se as amostras via cromatografia gasosa no laboratório de Biocatálise da EEL/USP.

Tabela 4.4. Rendimento da Reação

Experimento	Conversão Mássica (% m/m)
1	20,74
2	21,75
3	36,98
4	14,47
5	50,5
6	38,48
7	50
8	31,43
9	22,21
10	91,14
11	60,84
12	42,1
13	43,58
14	100
15	92,85
16	56,3
17	39,2
18	59,42

Os valores dispostos na tabela 4.4 foram calculados com base na massa de óleo e na massa total de reagentes (óleo + etanol) e foram normalizados. Para os testes foram utilizadas as 4 melhores amostras, ou seja, as que tiveram maior rendimento de reação, são elas: 10, 11, 14 e 15. Esta série de amostras foi enviada ao Laboratório de Combustíveis da Universidade Federal de Pernambuco

para análise de viscosidade cinemática, índice de acidez, teor de água e massa específica, conforme resultados descritos na tabela 4.5:

Tabela 4.5. Resultados do Laboratório de Combustíveis da UFPE

Amostra	Análise	Unidade	Resultado	Método
Experimento 11	Viscosidade Cinemática	cSt	19,71	NBR 10441 ASTM D 445
	Massa Específica (densímetro digital)	Kg/m ³	908,4	NBR 14065 ASTM D 4052
	Índice de Acidez (Titulador Automático)	mg KOH/g	6,07	NBR 14448 ASTM D 664
	Teor de Água Karl Fischer	mg/Kg	0,4	NBR 11348 ASTM D 1744
Experimento 14	Viscosidade Cinemática	cSt	10,49	NBR 10441 ASTM D 445
	Massa Específica (densímetro digital)	Kg/m ³	896	NBR 14065 ASTM D 4052
	Índice de Acidez (Titulador Automático)	mg KOH/g	7,9	NBR 14448 ASTM D 664
	Teor de Água Karl Fischer	mg/Kg	0,46	NBR 11348 ASTM D 1744
Experimento 15	Viscosidade Cinemática	cSt	8,2	NBR 10441 ASTM D 445
	Massa Específica (densímetro digital)	Kg/m ³	809,3	NBR 14065 ASTM D 4052
	Índice de Acidez (Titulador Automático)	mg KOH/g	9,4	NBR 14448 ASTM D 664
	Teor de Água Karl Fischer	mg/Kg	0,4	NBR 11348 ASTM D 1744
Experimento 10	Viscosidade Cinemática	cSt	11,55	NBR 10441 ASTM D 445
	Massa Específica (densímetro digital)	Kg/m ³	898,3	NBR 14065 ASTM D 4052
	Índice de Acidez (Titulador Automático)	mg KOH/g	7,72	NBR 14448 ASTM D 664
	Teor de Água Karl Fischer	mg/Kg	0,46	NBR 11348 ASTM D 1744

Os resultados obtidos em relação à Agência Nacional de Petróleo (ANP) estão um pouco fora das especificações devido ao tempo elevado para a

realização das análises, assim sendo, as amostras sofreram oxidação, o que pode ter afetado os resultados.

4.6. Determinação de Outros Índices Analíticos do Biodiesel

Tabela 4.6. Outros Índices Analíticos

Amostra	Análise	Unidade	Resultado
Experimento 11	Índice de Iodo	gI / 100 g	87,7
	Índice de Saponificação	mg KOH/g	195,85
	Índice de Peróxido	mg KOH/g	0,08
Experimento 14	Índice de Iodo	gI / 100 g	80
	Índice de Saponificação	mg KOH/g	175
	Índice de Peróxido	mg KOH/g	0,1
Experimento 15	Índice de Iodo	gI / 100 g	88
	Índice de Saponificação	mg KOH/g	200
	Índice de Peróxido	mg KOH/g	0,5
Experimento 10	Índice de Iodo	gI / 100 g	85
	Índice de Saponificação	mg KOH/g	185,2
	Índice de Peróxido	mg KOH/g	0,08

O valor do índice de iodo (tabela 4.6) informa as quantidades de ligações insaturadas contida no biodiesel, e de acordo com o resultado apresentado, não ocorreu nenhum processo de oxidação significativa, pois essas análises foram realizadas na Escola de Engenharia de Lorena bem antes das análises feitas em Pernambuco.

Por sua vez, valores para o índice de iodo acima de 135 levam a produção de um biodiesel inaceitável para fins carburantes devido à tendência a formar depósitos de carbono. A remoção das insaturações, por exemplo, através da hidrogenação, leva a uma sensível piora na viscosidade do óleo o que prejudica o seu escoamento em dias frios.

Já, os índices de acidez e ácidos graxos livres influenciam na hidrólise do biodiesel e oxidação quando em valores altos. Além disso, a acidez elevada pode catalisar reações intermoleculares dos triacilgliceróis, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão. Também no caso do emprego carburante do óleo, a elevada acidez livre tem ação corrosiva sobre os componentes metálicos do motor.

O índice de saponificação dos triacilgliceróis varia com a natureza dos ácidos graxos constituintes do óleo. Quanto menor for o peso molecular do ácido graxo, tanto maior será o índice de saponificação.

4.7 Resultados obtidos com uso do aparelho de ultrassom

Não foi possível a análise desses resultados, pois observou-se a formação de uma “massa” gordurosa de aspecto branco que ficou aderida ao balão, sendo impossível sua transferência para outra vidraria e então, continuidade e avaliação dos resultados.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo a transesterificação das vísceras de frango, citado como resíduo gorduroso, para sua utilização como combustível alternativo ao diesel convencional, utilizando uma base forte como catalisador.

Os resultados encontrados foram promissores e apontam uma nova expectativa em relação ao uso de matérias primas obtidas de subprodutos de origem animal, diferentemente do uso contínuo das oleaginosas que demanda grande uso de recursos energéticos, o que gera um maior impacto ambiental. A ordem do novo milênio é o desenvolvimento sustentável com racionamento dos recursos naturais.

Sendo assim, com base nos experimentos realizados pode-se concluir que a produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos animais, especificamente a gordura de frango, mostrou-se viável, pois apresentou resultados significativos ao longo do trabalho.

É necessário destacar o uso do biodiesel proveniente da gordura de frango, pois sendo o Brasil um grande exportador de carne de frango, a matéria prima é facilmente obtida.

Além de promover o desenvolvimento econômico do país e geração de novos empregos, o aprimoramento de novas técnicas se faz necessário para uma rota alternativa de produção de biocombustíveis que refletem socioeconomicamente no desenvolvimento da nação.

Em relação aos resultados obtidos, é perceptível que o produto final obtido tem toda a potencialidade para se tornar um bom biocombustível. Nota-se que a viscosidade cinemática diminuiu drasticamente após a transesterificação, os outros índices analíticos estão, basicamente, dentro dos padrões da Agência Nacional de Petróleo (ANP), ressaltando que alguns valores obtidos não estão totalmente dentro das especificações devido à demora em executar as análises, gerando assim uma pequena variação proveniente da oxi-redução das amostras. Nota-se também que são poucos os estudos voltados para resíduos gordurosos como matéria prima, pois ainda temos a grande utilização de plantas oleaginosas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para futuras pesquisas nesta área, destaca-se o reaproveitamento da glicerina formada como subproduto, bem como os sais gerados durante o processo de transesterificação e ainda a utilização de outros resíduos gordurosos, como por exemplo, a utilização de vísceras de rã e de peixes, pois estudos relatados na própria dissertação apontam esses caminhos.

Ressalta-se também a utilização da síntese de transesterificação utilizando aparelho de ultrassom em substituição da agitação mecânica, visando diminuir a quantidade de catalisador, bem como etanol na produção de biodiesel.

Como complemento a essa dissertação, sugere-se ainda, realizar as análises estatísticas do resultado obtido com o planejamento experimental.

REFERÊNCIAS

ESTATÍSTICA. ABEF. Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frangos. Disponível em:

<<http://www.abef.com.br/Estatisticas/MercadoMundial/MercadoMundial.asp>>.

Acesso em 02 jul. 2007.

ABOISSA ÓLEOS VEGETAIS. Disponível em: <www.aboissa.com.br>. Acesso em 30 de jan. 2008.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS**. . 5th Ed. Local: AOCS Press, 2004

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, dados estatísticos. Acesso em 16 jun. 2010. Disponível em <www.anp.gov.br/biocombustiveis>

BRASIL. Governo Federal. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. Acesso em 02 jul. 2010. Disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br/>>.

CHAMBERS, J.R.; FORTIN, A. Live body and carcass measurements as predictors of chemical composition of carcass of male broiler chickens. **Poultry Science, Champaign**, v.63, n.11, p.2187-2196, Nov. 1983.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustíveis alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n.4, p. 531-537, 2000.

COTTA, J.T.B.; Delpech, P. Efeitos do sexo e de diferentes níveis de proteína e lisina sobre a formação de gordura abdominal em frangos. **A Hora Veterinária**, v.10, n.54, p.24-26, set-out. 1990.

EDWARDS, H.M.; Denman, F.; Abov-Ashour, A.; Nugara, D. Carcass composition studies. I. Influence of age, sex and type of dietary fat supplementation on total carcass and fatty acid composition of chickens. **Poultry Science**, v.52, n.3, p.934-948, May 1973.

FLEMMING, J. S.; JANZEN, S. A.; ENDO, M .A. Teste com linhagens comerciais de frango de corte – Avaliação dos parâmetros zootécnicos. **Revista Veterinária Scientia**, UFPR, Curitiba. 1999. p 57-59.

FORREST, J. C.; ABERLE, E. D.; HEDRICK, H. B.; JUDGE, M. D.; MERKEL, R. A. **Fundamentos de ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1979. 373 p.

FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean oil. **Journal of American Oil Chemists' Society**, v.63, n. 10, p.1375-1380, 1986.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 92, n.5 pg 405-416, 2001.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**: relatório apresentado ao conselho de altos estudos e avaliação tecnológica. Brasília: Centro de Documentos e Informação Coordenação de Publicação, 2004, Caderno de Altos Estudos 1.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P. **Manual do Biodiesel** 1.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

LITTLEFIELD, L.H. Strain differences in quantity of abdominal fat in broilers. **Poultry Science**, Ontário, v.51, n.5, p.1829, Sept. 1972.

MARTÍN, E. H.; OTERO, C. Different enzyme requirements for the synthesis of biodiesel: Novozym 435 and Lipozyme TL IM. **Bioresource Technology**, v.99, p.277-286, 2008.

MEHER, L.C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification- A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.10, p. 248- 268, 2006.

MENANI, R. No passado e no presente, sempre uma alternativa. **Revista Biodiesel e Agronegócios**, v.1, n.1, 2005.

MERKLEY, J.W.; Littlefield, D.H.; Chaloupka, G.W. Abdominal fat, skin and subcutaneous fat from six broiler strain raised on the floor and in coops. **Poultry Science**, v.52, n.5, p.2064, Sept. 1973.

MOITHE, C. G., CORREIA, D. Z., CASTRO, B. D S., CAITANO, M., ARANHA, D. A. G., Biodiesel obtido a partir de rejeito de gordura animal, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- Universidade Federal de Lavras - MG, 27 - 29 de Julho de 2005, p. 744, 2005.

SARANAVAN, N., SUCUMAR, P. et al. An experimental comparison of transesterification process with different alcohols using acid catalysts. **Biomass and Bioenergy**, v.34, n.7, p.999-1005, 2010.

OCEPAR. Organizações das cooperativas do estado do Paraná. Acesso em 18 jul. 2010. Disponível em <www.ocepar.org.br>.

OLIVEIRA, L. B. **Biodiesel: Uma experiência de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ, 2001. Cap. 3, páginas 77 - 110.

OTTO, A., WEINBACK, J. E. Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway. **Biomass and Bioenergy**, v.34, n.8, p.1183-1188, 2010.

PARENTE, E. J. de S.; SANTOS JUNIOR, J. N.; PEREIRA, J. A. B.; Parente Junior, E. J. de S. In: TECBIO, 2003. Fortaleza, 68 p.

PERIN, E.; VIEIRA, J. A. N.; LOVATO, L. F.; MACHADO, M. L. S.; ANDRADE, M. A. A.; RADOMSKI, M. I.; PARIZOTTO, M. L. V. **Agricultura familiar na região oeste do Paraná: passado, presente e futuro. Mesorregião Oeste**, Londrina: Midiograf, 2001.

PINTO, A. C; GUARIEIRO, L. L. N.; REZENDE, M. J. C.; RIBEIRO, N. M.; TORRES, E. A.; LOPES, W. A.; PEREIRA, P. A. de P.; De ANDRADE, J. B. Biodiesel: An overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6, p. 1313-1330, 2005.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A K.; WILHELM, H. M. Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 31, p. 28-37, 2003.

RODRIGUES, K. F., FRAGA, A. C, MACIEL, J. A. S. M., LOPES, O. C., **Potencialidade da gordura de frango para a produção de biodiesel**, In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 31 de agosto e 1 de setembro de 2006, Brasília, p.129, 2006.

SOLOMONS, G. & FRYHLE, C. **Química orgânica** Vol. 2. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2002. 474p.

SOUZA, S. N.M., NEITZKE, G., GOMES, L. F. S. , BARICCATTI, R A. **Potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango nas cooperativas do oeste do paraná**, In: AGRENER, jun. 2006, Campinas – SP

SUMMERS, J.D.; Slinger, J.S.; Ashton, G.C. The effect of dietary energy and protein on carcass composition with a note on a method to estimating carcass composition. **Poultry Science**, v.44, n.2, p.501-509, 1965.

VASCONCELLOS, G. F. **Biomassa: A eterna energia do futuro**. São Paulo: Senac, São Paulo, 2002. 142 p. 2002.