

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

**ANÁLISE ENERGÉTICA DO PROCESSO EXPERIMENTAL DE PRODUÇÃO DE  
BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRANGO**

**RICARDO PACHECO BONOMETO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU – SP**

**Setembro - 2009**

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

**ANÁLISE ENERGÉTICA DO PROCESSO EXPERIMENTAL DE PRODUÇÃO DE  
BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRANGO**

**RICARDO PACHECO BONOMETO**

Engenheiro Agrícola

**Orientador: Prof.Dr. José Roberto Corrêa Saglietti**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU – SP**

**Setembro– 2009**

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

B719a Bonometo, Ricardo Pacheco, 1983-  
Análise energética do processo experimental de produção  
de biodiesel a partir de óleo de frango / Ricardo Pacheco  
Bonometo. - Botucatu : [s.n.], 2009.  
viii, 45 f. : il. color., fots. color., tabs.  
  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009  
Orientador: José Roberto Corrêa Saglietti  
Inclui bibliografia.  
  
1. Biodiesel. 2. Óleo de frango. 3. Análise energética.  
4. Poder calorífico. I. Saglietti, José Roberto Corrêa.  
II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"  
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.  
III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** "ANÁLISE ENERGÉTICA DO PROCESSO EXPERIMENTAL DE PRODUÇÃO  
DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRANGO"

**ALUNO:** RICARDO PACHECO BONOMETO

**ORIENTADOR:** PROF. DR. JOSÉ ROBERTO C. SAGLIETTI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOSÉ ROBERTO C. SAGLIETTI



PROF. DR. OSMAR DE CARVALHO BUENO



PROF. DR. REGINALDO F. DOS SANTOS

Data da Realização: 01 de setembro de 2009.

A minha mãe, *Antonia de Bonfim Pacheco*, obrigado! Meu maior exemplo de vida, de perseverança e incentivo...

Ao *Gabriel Pacheco*, meu irmão, tu és a alegria da nossa família...

...obrigado, me orgulho de vocês...

**...dedico.**

“Porque ainda que a figueira não floresça, nem haja fruto na vide, ainda que decepcione o produto da oliveira, e os campos não produzam mantimento, ainda que as ovelhas da malhada sejam arrebatadas, e nos currais não haja gado, todavia eu me alegrarei no Senhor, exultarei no Deus da minha salvação.” Habaque 3:17,18

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço ao meu orientador, *Professor Dr. José Roberto Corrêa Saglietti*, obrigado por acreditar neste trabalho. Agradeço pelo incentivo, pela orientação, pela dedicação e amizade...

**Muito Obrigado!**

## AGRADECIMENTO ESPECIAL

Em especial ao ***Professor Dr. Reginaldo Ferreira Santos***, minha dedicação à pesquisa é graças ao seu incentivo, obrigado.

Ao ***Professor Dr. Osmar Bueno***, um grande amigo, que me fez rever o sentido da pesquisa.

Um grande incentivador para que este trabalho tivesse resultados valiosos.

A minha família, meus pais ***Maria*** e ***Orotilde***, irmãos ***Celso*** e ***Orlêi*** vocês são meus grandes incentivadores, meu suporte... minha história.

Aos amigos ***Edson Marcelo Bruder*** e ***Alisson Teixeira***, obrigado pela grande ajuda que vocês me deram nos momentos da dissertação.

Aos Engenheiros Agrônomos ***Cornélio Primieri***, ***Helmuth Bleil Júnior*** e ***Diego Augusto Fiorese***, grato pela amizade, pelo apoio e pelo grande ensinamento.

Ao ***Pastor João Fratoni*** e Família pelos conselhos, amizade, carinho e confiança.

**Obrigado pelo melhor de vocês...**

## AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP**, Campus de Botucatu-SP por me proporcionar espaço no programa de pós-graduação, cujo mesmo, serviu para conhecimentos para meu crescimento pessoal e profissional.

À **Faculdade Assis Gurgacz**, pelo espaço para a realização da pesquisa e aos profissionais do CEDETEC/FAG por me auxiliarem em conhecimentos para o melhor desenvolvimento deste estudo.

Ao Departamento de Física e Biofísica, em especial ao **Edson Marcelo Bruder** e ao **Professor Dr. Marcos Antonio de Rezende**, por ceder espaço no laboratório e conhecimento para este trabalho.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**, pelo apoio financeiro durante a realização do Mestrado.

Aos amigos que me incentivaram para esta realização: **Ana Paula Barbosa, Danilo Simões, Edilene Segtowick, Erika de Oliveira, Heliomar Ribeiro Machado, Roberto Ari Guindani, Thaís Inácio e Vilson Luís Kunz**. Aos amigos do Curso de Engenharia Agrícola.

Aos colegas do programa de pós-graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, obrigado pelas trocas de experiências.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Física e Biofísica pelo incentivo, amizade e auxílio para a realização deste trabalho.

Aos Funcionários da Biblioteca e às Secretárias da Pós-Graduação pela atenção e auxílio.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, obrigado!



## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
1 RESUMO .....	1
2 SUMMARY .....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
4.1 Matriz energética brasileira .....	7
4.2 O Biodiesel na Matriz Energética Brasileira .....	8
4.3 Biodiesel: Definição e Características .....	10
4.3.1 Matérias-Primas para o Biodiesel .....	11
4.4 Óleo de frango .....	12
4.5 Processo de obtenção do biodiesel.....	13
4.6 Poder Calorífico .....	16
4.6.1 Poder Calorífico do Biodiesel .....	17
4.7 Balanço de Energia .....	18
4.7.1 Balanço Energético do Biodiesel .....	19
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
5.1 Planta Experimental de Biodiesel .....	21
5.2 Máquinas e Equipamentos Utilizados.....	22
5.2.1 Tanques para armazenagem de óleo e gordura vegetal e animal .....	22
5.2.2 Filtros prensa para matérias-primas .....	22
5.2.3 Bomba para metanol .....	22
5.2.4 Tanque para armazenagem de glicerina bruta.....	22
5.2.5 Reservatório para água .....	23
5.2.6 Condensador de metanol e de água.....	23
5.2.7 Bomba para glicerina bruta .....	23
5.2.8 Bomba para metanol recuperado.....	23
5.2.9 Bomba de vácuo .....	23
5.2.10 Bomba d'água .....	24

5.2.11 Gerador de vapor.....	24
5.3 Funcionamento.....	24
5.3.1 Determinação do Poder Calorífico.....	25
5.4 Balanço Energético .....	26
5.4.1 Dispendios Energéticos.....	26
5.4.2 Energia Elétrica.....	26
5.4.3 Lenha.....	27
5.4.4 Óleo de frango .....	27
5.4.5 Catalisador .....	27
5.4.6 Metanol .....	28
5.4.7 Glicerina.....	28
5.4.8 Biodiesel .....	28
5.5 Análise de Energia .....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
6.1 Dispendios Energéticos.....	30
6.1.1 Energia Elétrica.....	30
6.1.2 Lenha.....	30
6.1.3 Metanol e Óleo de Frango.....	31
6.1.4 Glicerina de Frango.....	32
6.1.5 Biodiesel de Óleo Frango.....	32
6.2 Análise de Energia .....	33
7 CONCLUSÕES .....	35
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
9 APÊNDICES .....	40

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Produção Nacional de Biodiesel Puro – B100 (m³).....	10
<b>Tabela 2.</b> Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel.....	12
<b>Tabela 3.</b> Quantitativo para o balanço de energia, entradas de energia.....	33
<b>Tabela 4.</b> Quantitativo para o balanço de energia, saídas de energia.....	34
<b>Tabela AP1:</b> Poder calorífico (PCS), da madeira , espécie Bracatinga.....	43
<b>Tabela AP2:</b> Poder calorífico (PCS), do metanol – (Álcool Metílico P.A. – Teor: 99,5%).....	43
<b>Tabela AP3:</b> Poder calorífico (PCS), do óleo de frango. ....	43
<b>Tabela AP4:</b> Poder calorífico (PCS), do biodiesel de óleo de frango.....	44
<b>Tabela AP5:</b> Poder calorífico (PCS), da glicerina de frango.....	44
<b>Tabela AP6:</b> Quantificação dos motores.....	45

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel.....	14
<b>Figura 2:</b> Planta experimental.....	21
<b>Figura 3:</b> Separador e neutralizador químico.....	41
<b>Figura 4:</b> Reator em fase química.....	41
<b>Figura 5:</b> Filtro Prensa.....	42
<b>Figura 6:</b> Caldeira.....	42
<b>Figura 7:</b> Condensador do Metanol e Água.....	42

**ANÁLISE ENERGÉTICA DO PROCESSO EXPERIMENTAL DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRANGO. Botucatu, 2009. 45p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.**

Autor: RICARDO PACHECO BONOMETO

Orientador: PROF. DR. JOSÉ ROBERTO CORRÊA SAGLIETTI

## **1 RESUMO**

Atualmente há uma grande preocupação mundial com o esgotamento e o alto custo de exploração das reservas de combustíveis fósseis e, portanto, mais do que nunca, é necessário o aprofundamento do estudo e aproveitamento de fontes alternativas que possam ser utilizadas com eficiência energética, preços adequados e com baixo impacto ambiental. De acordo com estas premissas, o biodiesel é um combustível com boas perspectivas de atender uma demanda crescente, pois além de substituir o óleo diesel, pode ser obtido a partir de várias fontes primárias de origem animal e vegetal. O Brasil se destaca na utilização das fontes alternativas de energia com o uso do etanol e, nos últimos anos vem incentivando a ampliação de sua matriz energética a partir das fontes alternativas, na qual o biodiesel passa a ter uma importância estratégica dentro da área de agronegócios. O biodiesel é um combustível que pode substituir o diesel, que é um derivado do petróleo; é um éster produzido na reação de transesterificação de óleos vegetais, gorduras animais que, na presença de um álcool, metanol ou etanol, e um catalisador, são convertidos em ácidos graxos e, resultam, em ésteres com glicerol como subproduto. Com o avanço da utilização destes biocombustíveis são necessárias pesquisas que visam melhorar a qualidade e viabilidade técnica dos mesmos, sendo que, o balanço energético é um dos parâmetros mais adequado para definir a viabilidade técnica, pois estabelece a relação entre o total de energia contida no combustível e aquela investida em todo o processo de produção. O objetivo deste trabalho foi analisar energeticamente o processo de produção de biodiesel a partir do óleo dos resíduos descartados na produção de frango. Para a estimativa deste balanço de energia quantificou-se o poder calorífico de alguns dispêndios energéticos

através do método da bomba calorimétrica. A pesquisa foi realizada no CEDETEC – Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias, junto ao departamento de Agronomia da Faculdade Assis Gurgacz (FAG), em Cascavel, na região Oeste do Paraná, no laboratório experimental de Biodiesel. A relação entre as entradas e saídas de energia ficou em torno de 0.97; significando, numa primeira avaliação, que os procedimentos adotados devem ser melhorados para que o processo torne-se energética e economicamente viável. Nem todos os insumos puderam ser avaliados corretamente, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Novas pesquisas devem ser realizadas, ficando subentendido que neste estudo teve-se a intenção de mensurar todo o processo de uma rota metilica, porém com limitações de ordem prática.

---

**Palavras-chave:** análise energética, biodiesel, óleo de frango, poder calorífico.

**ENERGY ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL PROCESS OF PRODUCTION OF BIODIESEL FROM OIL OF CHICKEN. Botucatu, 2009. 45p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.**

**Author:** RICARDO PACHECO BONOMETO

**Advisor:** PROF. DR. JOSÉ ROBERTO CORRÊA SAGLIETTI

## **2 SUMMARY**

Nowadays there is a great global concern with the depletion and the high cost of fossil fuel reserves exploitation, more than ever, it is necessary to make a profound study and take advantage of alternative sources that can be used with energy efficiency with an appropriate pricing and with low environmental impact. Under these assumptions, biodiesel is a fuel with good prospects of meeting a growing demand, as well as being a replacement of diesel oil, can be obtained from several primary sources of animal and plant origin. Brazil, which has highlighted in use of alternative energy sources with the use of ethanol and, in recent years, has been encouraging the expansion of its energy matrix in which the biodiesel will have a strategic importance within the agrobusiness area. Biodiesel is a fuel that can replace the diesel, that is a petroleum derivative. It is an ester, produced in the transesterification reaction of vegetable oils and animal greases, that in the presence of an alcohol like methanol or ethanol with an additional catalyst, are converted into fatty acids and result in esters with glycerol as subproducts. The advancement in use of biofuels, some researchs needed improve the quality and feasibility and that energetic balance is one of the most appropriate parameters to define the technical feasibility, since settle the same relationship between of total energy in the biofuel and the total energy invested in the whole production process. The objective of this study was to estimate the final energy balance for the process biodiesel production from oil chicken waste. The energy balance estimation was quantified in calorific value according the energy expenditure by calorimetric bomb method. The study was conducted in CEDETEC - Center for Development and Dissemination of Technology, Department of Agronomy at the University of Assis Gurgacz (FAG)- Cascavel in Paraná Western State, at Biodiesel experimental laboratory. The relationship between input and output of energy was around

0.97, meaning, a first evaluation, the procedures adopted should be improved enough so that the process becomes energetic and economically viable. Furthermore, you should warn that not all inputs have been properly evaluated, both in quantitative and qualitative terms. New research should be conducted, it being understood that this study is intended to measure the whole process of methylic route, but with several limitations in practice.

---

**Keywords:** energy analysis, biofuel, oil of chicken, calorific value.



### 3 INTRODUÇÃO

Devido à grande preocupação com o esgotamento das reservas de petróleo e a manutenção do equilíbrio ambiental, muito se tem investido nas pesquisas de combustíveis mais “limpos” como alternativa energética, procurando torná-los economicamente viável, sendo um deles, o biodiesel.

O biodiesel é um combustível que possui um processo de combustão com menos emissão de gases poluentes e que pode ser obtido a partir de fontes renováveis, tais como óleos vegetais e gorduras animais. É obtido através da transesterificação, processo que consiste na reação de um triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, e um catalisador. A reação gera o biodiesel e, como subproduto, a glicerina. Este combustível surge como uma alternativa à dependência do diesel de petróleo.

As principais fontes para a produção do biodiesel incluem uma grande variedade de oleaginosas, gorduras de origem animal e óleos residuais, entretanto, poucos são os estudos de avaliação energética do processo que envolve a produção de biodiesel.

Os trabalhos com o biodiesel no Brasil não tiveram muito avanço até ano de 2004 quando voltou a ter destaque no cenário dos combustíveis alternativos, com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), patrocinado pelo governo federal.

O ressurgimento do biodiesel como fonte de energia alternativa ocasionou a necessidade de pesquisas voltadas ao seu melhor desenvolvimento e aplicação sendo a análise energética, uma das mais importantes para torná-lo economicamente viável.

A análise energética quantifica a energia diretamente consumida e a energia indiretamente utilizada, podendo assim, contribuir na obtenção de indicadores de viabilidade técnico-econômica e ambiental, como também na comparação de diferentes processos e matérias-primas na obtenção do biodiesel. Uma das maneiras de se obter a análise energética é a partir do poder calorífico dos componentes e dispêndios energéticos que envolvem o sistema analisado.

Neste trabalho objetivou-se analisar o balanço de energia do processo de produção do biodiesel a partir de óleo de frango. Esta estimativa fez-se pela subtração das energias de saída pelas energias de entrada.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Matriz energética brasileira**

A dinâmica da matriz energética brasileira apresenta crescimento ano a ano na utilização de fontes renováveis e segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2008), a oferta interna de energia para o ano de 2007 foi de 54,1% para fontes não-renováveis e de 45,9% para as fontes renováveis. Dentre as fontes não-renováveis consideram-se, principalmente, o petróleo e derivados (37,4%), gás natural (9,3%), carvão mineral e derivados (6,0%), urânio (U308) e derivados (1,4%), como as mais importantes. Por outro lado, as fontes renováveis têm a seguinte representação: hidroeleticidade (14,9%), lenha e carvão vegetal (12,0%), derivados da cana-de-açúcar (15,9%), outras fontes renováveis (3,2%).

Embora o Brasil tenha um grande potencial hídrico, o país busca, como em outras nações, o desenvolvimento de melhores usinas hidrelétricas e de novas fontes energéticas limpas e renováveis como a solar, a eólica e a proveniente de biomassa.

Esta preocupação também tem a ver com os problemas causados ao meio-ambiente, assunto tratado à exaustão em diferentes fóruns mundiais sobre desenvolvimento de novas pesquisas para a utilização da biomassa como fonte de energia, pois é certo que as pressões por novas tecnologias “limpas” serão cada vez mais fortes por parte das instituições ambientalistas.

Segundo Fischer (2001), estudos já apontam que a

utilização da biomassa vem tendo uma participação crescente na matriz energética mundial, sendo que, a estimativa para o ano de 2050 será o dobro da quantidade atualmente aproveitada. Entretanto, combustíveis obtidos de matérias-primas advindas da agricultura como o etanol e o biodiesel são os que despontam como melhores opções para suprir a demanda mundial nas próximas décadas. Para Rocha (2007), a utilização de combustíveis derivados da biomassa, como o biodiesel, vem sendo apresentada como uma alternativa energética ambientalmente correta ou, no mínimo, menos impactante que seu concorrente de origem fóssil, o diesel.

O Brasil tem todas as condições para se tornar um grande produtor de biodiesel, pois o país tem um potencial incomparável para gerar biomassa com fim energético (LIMA, 2004), sem que isso prejudique a produção de alimentos, dada a grande área agricultável disponível no país.

#### **4.2 O Biodiesel na Matriz Energética Brasileira**

O biodiesel é um combustível que pode ser obtido de matérias-primas tais como os óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais, por meio de diversos processos.

No Brasil, as pesquisas com o biodiesel remontam o ano de 1980, com os trabalhos do professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, que é autor da Patente PI – 8007957. Essa foi a primeira patente, em termos mundiais, de biodiesel e de querosene vegetal de aviação (LIMA, 2004).

De acordo com a Portaria MCT nº 702, de 30 de outubro de 2002, o Ministério da Ciência e Tecnologia, institui o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (PROBIODIESEL), com o intuito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico de biodiesel, a partir de ésteres etílicos de óleos vegetais puros e, ou residuais (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2002).

O decreto de 23 de dezembro de 2003 instituiu a Comissão Executiva Interministerial (CEI), encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia. A Comissão Executiva Interministerial subordinada à Casa Civil da Presidência da República é integrada por 13

ministérios, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Agência Nacional de Petróleo (ANP), a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Este Grupo Gestor tem como objetivo a implantação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, (MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2003).

No decreto de 6 de dezembro de 2004, o Presidente da República dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e comercialização de biodiesel (CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2004).

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel busca a implantação de forma sustentável, técnica e economicamente, a produção e uso do biodiesel, visando à inclusão social e o desenvolvimento regional a partir da geração de emprego e renda.

Em 13 de janeiro de 2005, foi publicada pelo Ministério de Minas e Energia, a Lei nº 11.097 que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira sendo fixado em 5%, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. O prazo para aplicação é de 8 anos após a publicação desta Lei, sendo de 3 anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual mínimo obrigatório intermediário de 2%, em volume (MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2005).

A Resolução nº 2, de 13 de março de 2008, estabeleceu em três por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2008); e a partir de 28 de julho de 2009, o biodiesel passou a ser adicionado ao óleo diesel na proporção de 4% em volume, conforme Portaria ANP nº 24 (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2009).

O crescimento da produção do biodiesel no Brasil é demonstrado na Tabela 1 e, a produção no primeiro semestre de 2009 ficou em 808.625 m³.

**Tabela 1.** Produção Nacional de Biodiesel – B100 (m<sup>3</sup>)

<b>Dados</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Janeiro	-	1.075	17.109	76.784	90.209
Fevereiro	-	1.043	16.933	77.085	80.326
Março	8	1.725	22.637	63.680	134.783
Abril	13	1.786	18.773	64.350	105.410
Maio	26	2.578	26.005	75.999	103.646
Junho	23	6.490	27.158	102.767	141.605
Julho	7	3.331	26.718	107.786	152.646
Agosto	57	5.102	43.959	109.534	-
Setembro	2	6.735	46.013	132.258	-
Outubro	34	8.581	53.609	126.817	-
Novembro	281	16.025	56.401	118.014	-
Dezembro	285	14.531	49.016	112.053	-
<b>Total do Ano</b>	<b>736</b>	<b>69.002</b>	<b>404.329</b>	<b>1.167.128</b>	<b>808.625</b>

Fonte: ANP/SRP (ANP, 2009)

### 4.3 Biodiesel: Definição e Características

O biodiesel é um combustível renovável que pode ser produzido a partir de um processamento químico denominado transesterificação no qual um óleo vegetal ou animal é catalisado com etanol ou metanol, gerando além do próprio biodiesel, também glicerina. Este tipo de combustível pode ser usado como substituto ou como aditivo ao diesel de petróleo.

As principais matérias-primas para produção do óleo que dá origem ao biodiesel são sementes ou frutos de plantas oleaginosas, gordura de origem animal, como também, a reutilização de óleos vegetais (como os de fritura), que vem sendo uma opção bastante considerada pelo seu caráter ecológico.

Conforme Parente (2003), define-se biodiesel como um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação

de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente.

Para Costa (2006), o biodiesel é um éster produzido na reação de transesterificação de óleos vegetais e ou gorduras animais em conjunto com um álcool (metanol ou etanol) e na presença de um catalisador, convertidos em ácidos graxos e, finalmente, a ésteres, com o glicerol (glicerina) como subproduto.

Segundo Lopes (2006) o uso do biodiesel nos automóveis a diesel reduz a emissão de fumaça, monóxido de carbono, óxidos de enxofre e hidrocarbonetos aromáticos. É um combustível renovável, não tóxico e composto de ésteres metílicos ou etílicos derivados de triglicerídeos (óleos vegetais ou gordura animal).

Atualmente, o método mais usado para a produção de biodiesel é a transesterificação de óleos e gorduras vegetais ou animais, utilizando um álcool de cadeia curta, geralmente, o metanol, na presença de um catalisador alcalino. Comercialmente, a rota prioritária de produção do biodiesel tem sido a catálise alcalina homogênea, sendo os catalisadores mais utilizados o hidróxido de sódio (NaOH) e o de potássio (KOH), (ROCHA, 2007).

#### **4.3.1 Matérias-Primas para o Biodiesel**

O biodiesel é um combustível que pode ser produzido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. As matérias-primas vegetais são derivadas de oleaginosas, tais como, a soja, mamona, canola, palma, girassol, amendoim e pinhão-mansão, entre outras. As de origem animal, de modo geral, obtidas do sebo bovino, suínos e aves.

Todos os óleos vegetais, enquadrados na categoria de óleos fixos ou triglicerídicos, podem ser transformados em biodiesel. Dessa forma, podem ser considerados para a produção de biodiesel, os óleos das seguintes espécies vegetais: 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, baga de mamona, semente de colza (PARENTE, 2003).

O pinhão-manso (*Jatropha curcas*) é outra oleaginosa com grande potencial, porém ainda sem domínio tecnológico, que apresenta 38% de teor de óleo (PERES et al, 2006).

A Tabela 2 apresenta as características de algumas espécies de matérias-primas de origem vegetal. A espécie babaçu é a que apresenta maior percentual de teor de óleo e a soja a que apresenta menor percentual de teor de óleo.

**Tabela 2.** Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel

<b>Espécie</b>	<b>Origem do Óleo</b>	<b>Conteúdo do óleo (%)</b>	<b>Meses de Colheita</b>	<b>Rendimento de Óleo (t/ha)</b>
Dendê	Amêndoa	26	12	3,0 - 6,0
Babaçu	Amêndoa	66	12	0,4 - 0,8
Girassol	Grão	38 – 48	3	0,5 - 1,5
Colza	Grão	40 – 48	3	0,5 - 0,9
Mamona	Grão	43 – 45	3	0,5 - 1,0
Amendoim	Grão	40 – 50	3	0,6 - 0,8
Soja	Grão	17	3	0,2 - 0,6

Fonte: Adaptado Cadernos NAE (NAE, 2005)

Além dos óleos e gorduras virgens, constituem também matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos e gorduras residuais, resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais (PARENTE, 2003).

Algumas possíveis fontes dos óleos e gorduras residuais são: lanchonetes e cozinhas industriais, os esgotos municipais onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, águas residuais de processos de indústrias alimentícias (HOLANDA, 2004).

Entre as gorduras animais destaca-se o sebo bovino, a banha de porco e gordura de frango (KHALIL, 2006).

#### **4.4 Óleo de frango**

O óleo de frango, tido como matéria residual nos frigoríficos, é opção para a produção de biodiesel, considerando a alta produção e baixo custo desta matéria-prima.



A região oeste do Paraná apresenta grandes avanços na produção avícola, gerando assim, uma grande produção de descartes de partes constituintes do frango que podem ser submetidas à extração de óleo.

Esta grande quantidade de óleo disponível nem sempre é aproveitada pelas indústrias, podendo ser utilizada na produção de biodiesel. Para Bellaver & Zanotto (2005), no Brasil, os volumes estimados de sebo bovino, banha suína e gordura de frangos gerados no abate são de 1.560.000, 355.000, e 218.000 ton/ano, respectivamente.

O uso de óleo, proveniente das aves, na produção de biodiesel apresenta também uma importante função na questão ambiental, pois, a utilização destas matérias-primas na produção do combustível minimiza os impactos negativos ao meio ambiente.

#### **4.5 Processo de obtenção do biodiesel**

O processo de obtenção do biodiesel compreende algumas etapas que resultam no biodiesel e na glicerina. As tecnologias que podem ser aplicadas para a obtenção de biodiesel são a transesterificação e o craqueamento.

A rota tecnológica alternativa à transesterificação é a de craqueamento do óleo vegetal ou animal. No Brasil, o processo está sendo desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com a Universidade de Brasília (UnB). O craqueamento consiste na quebra das moléculas em altas temperaturas, na presença ou não de catalisadores. Os produtos formados nesta reação são hidrocarbonetos muito semelhantes aos do petróleo, além de compostos oxigenados tais como ésteres, ácidos carboxílicos, aldeídos (SUAREZ, 2007).

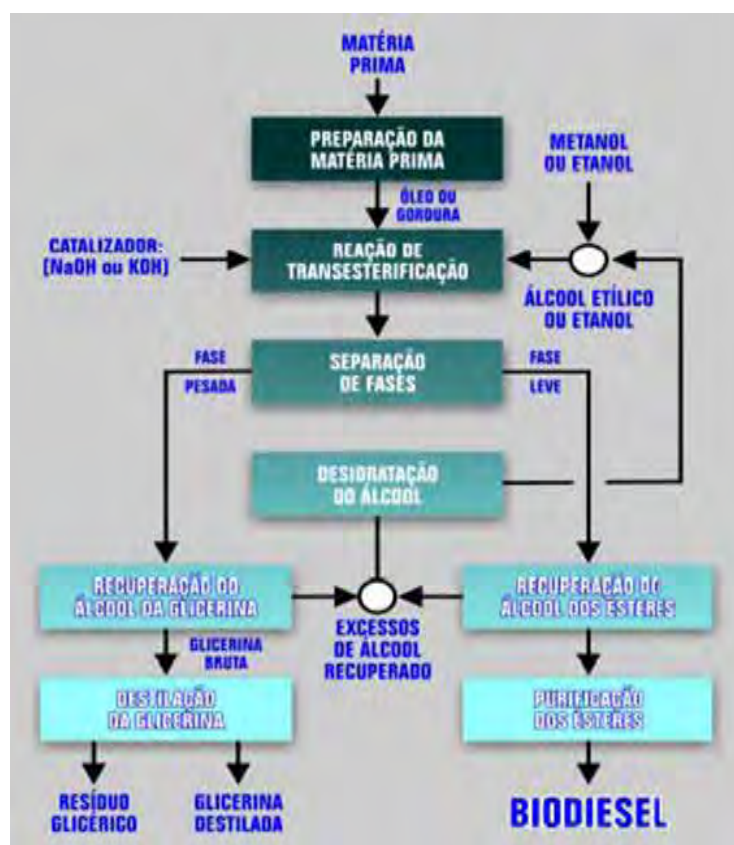
A tecnologia para a produção de biodiesel predominante no mundo é a rota tecnológica de transesterificação metílica, nas quais óleos vegetais ou gordura animal são misturados com metanol que, associado a um catalizador, resulta na obtenção do biodiesel (CHING, 2007).

A rota de transesterificação é a realidade em curso das usinas em funcionamento em todo o país, mesmo apresentando algumas questões técnicas a superar em

especial a rota etílica que é mais vantajosa para o Brasil devido ao baixo custo na produção de etanol (CHING, 2007).

Segundo Sheehan et al (1998), no caso da produção do biodiesel a partir de óleos vegetais, em geral, as principais etapas são: a) produção da oleaginosa; b) transporte da oleaginosa para uma esmagadora de grãos; c) recuperação do óleo vegetal do processo de esmagamento; d) transporte do óleo vegetal para uma fábrica de biodiesel; e) conversão do óleo vegetal em biodiesel.

Para Parente (2003), o processo de produção de biodiesel, partindo de uma matéria-prima, envolve as etapas operacionais de preparação da matéria prima, reação de transesterificação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, destilação da glicerina e purificação do biodiesel. A Figura 1 apresenta um fluxograma do processo de produção de biodiesel.



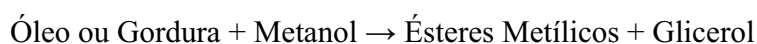
**Figura 1.** Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel. (PARENTE, 2003).

Caso necessário, a matéria-prima deve ser submetida a um processo de neutralização e de secagem, a acidez é reduzida por uma lavagem com solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio e a umidade da matéria-prima deve ser muito baixa (LIMA, 2004).

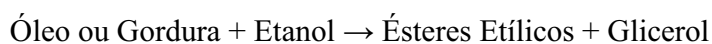
Os procedimentos concernentes à preparação da matéria-prima para a sua conversão em biodiesel visam criar as melhores condições para a efetivação da reação de transesterificação, com a máxima taxa de conversão (PARENTE, 2003).

A reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura, em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que constitui o biodiesel (PARENTE, 2003).

A reação de transesterificação pode ser representadas da seguinte maneira:



ou



A primeira é a reação de conversão, quando se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se como produtos os ésteres metílicos e o glicerol (glicerina).

A segunda reação caracteriza o uso do etanol (álcool etílico) como agente de transesterificação, resultando como produto os ésteres etílicos e a glicerina.

As duas reações acontecem na presença de um catalisador, podendo ser o hidróxido de sódio (NaOH) ou o hidróxido de potássio (KOH), usado em pequenas proporções. No Brasil, o hidróxido de sódio é muito mais barato (PARENTE, 2003).

A transesterificação com um álcool consiste em número de reações consecutivas e reversíveis. No primeiro passo, há a conversão de triglicerídeos em diglicerídeos; em seguida, ocorre a conversão dos diglicerídeos em monoglicerídeos que, por

sua vez, são convertidos em glicerol, liberando uma molécula de éster metílico (se o álcool utilizado for o metanol) para cada etapa anterior (CAMARGOS, 2005).

Após a reação de transesterificação a massa reacional final é constituída de duas fases, separáveis por decantação ou centrifugação.

A fase mais pesada é composta de glicerina bruta, impregnada dos excessos utilizados de álcool, de água, e de impurezas inerentes à matéria-prima. A fase menos densa é constituída de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, conforme a natureza do álcool originalmente adotado, também impregnado de excessos reacionais de álcool e de impurezas (PARENTE, 2003).

Segundo Parente (2003) a fase pesada, contém água e álcool, é submetida a um processo de evaporação, eliminando-se da glicerina bruta esses constituintes voláteis, cujos vapores são liquefeitos num condensador apropriado.

O álcool residual é recuperado da fase mais leve, liberando para as etapas seguintes, os ésteres metílicos ou etílicos (PARENTE, 2003).

Os excessos residuais de álcool, após os processos de recuperação, contêm quantidades significativas de água, necessitando de uma separação. A desidratação do álcool é feita normalmente por destilação (PARENTE, 2003).

Os ésteres deverão ser lavados e desumidificados posteriormente, resultando finalmente o biodiesel, o qual deverá ter suas características enquadradas nas especificações das normas técnicas estabelecidas para o biodiesel como combustível para uso em motores do ciclo diesel (PARENTE, 2003).

#### **4.6 Poder Calorífico**

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa de um determinado combustível (JARA, 1989).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior (PCS), é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985). O poder calorífico inferior (PCI) é a energia

efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em Joules por grama ou quilojoules por quilograma, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma, segundo Briane & Doat (1985).

Normalmente, a determinação do poder calorífico das amostras é feita através do método da Bomba Calorimétrica e o resultado obtido é o PCS.

Neste método, certa quantidade de combustível é queimada em um sistema fechado, não havendo perda de calor na mudança de fase, pois mesmo se houver água no combustível esta é evaporada e, novamente condensada no sistema (ARONI, 2005).

O poder calorífico superior (PCS) é determinado pela seguinte relação:

$$\text{PCS} = (k + M / M_S) * \Delta T \quad (1)$$

PCS = Poder Calorífico Superior ( $\text{cal.g}^{-1}$ )

k = Constante de calorímetro utilizado (g)

M = Massa de água utilizada no calorímetro (g)

$M_S$  = Massa seca do combustível (g)

$\Delta T$  = Variação da temperatura antes e após a combustão ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### **4.6.1 Poder Calorífico do Biodiesel**

Conforme Parente (2003), o poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado. No caso de combustível de motores, a queima significa a combustão no funcionamento do motor. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel é pequena, situando-se na ordem de 5%.

Segundo o Centro Brasileiro de Referências em Biocombustíveis (CERBIO, 2004), o biodiesel tem propriedades similares às aquelas apresentadas pelo diesel derivado de petróleo, apresentando poder calorífico superior entre 39,4 e 41,8 MJ.kg<sup>-1</sup>, enquanto que, o diesel apresenta poder calorífico superior em torno de 45 MJ.kg<sup>-1</sup>.

Para o biodiesel de mamona e babaçu encontrou-se poder calorífico de 37,87 MJ.kg<sup>-1</sup> e 39,52 MJ.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (COSTA NETO et al., 2000).

O biodiesel de dendê apresenta poder calorífico de 39,9 MJ.kg<sup>-1</sup>, já o biodiesel de algodão 39,86 MJ.kg<sup>-1</sup> (COSTA NETO et al., 2000).

#### **4.7 Balanço de Energia**

Segundo Hesles (1981), o balanço de energia quantifica de forma estimada a energia diretamente consumida e ou indiretamente utilizada, sendo que, esta se integra como parte do fluxo global, em pontos previamente estabelecidos de um determinado sistema produtivo, estabelecendo deste modo, limites de estudo.

O balanço energético pode fornecer informações importantes para avaliar as consequências energéticas do emprego de novas fontes de energia e de políticas energéticas, além de identificar áreas onde as aplicações de técnicas de conservação de energia são mais úteis (LOPES, 2006).

Comitre (1993) relatou a importância da análise e do balanço energético para indicar parâmetros com a finalidade de mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas.

O balanço de energia possui a principal função de traduzir em unidades ou equivalentes energéticos, fatores de produção e consumos intermediários, possibilitando a intervenção no sistema produtivo visando melhorar a eficiência deste (Bueno et al., 2000).

Para Risoud (1999), a unidade utilizada em estudos de eficiência energética deve ser a mesma do Sistema Internacional, sendo no caso o Joule (J) e seus múltiplos, particularmente Megajoules (MJ).

Dois fatores principais determinam a viabilidade de qualquer combustível: o custo econômico e o balanço energético (BATCHELOR et al., 1995).

O balanço energético pode fornecer informações importantes para avaliar as consequências energéticas do emprego de novas fontes de energia e de políticas energéticas, além de identificar áreas onde as aplicações de técnicas de conservação de energia são mais úteis (LOPES, 2006).

#### **4.7.1 Balanço Energético do Biodiesel**

O balanço de energia pode ficar restrito apenas a etapa industrial de fabricação do biodiesel onde os insumos básicos são: óleo, álcool, catalisador, energia elétrica e calor (Nogueira, 1987).

Assim, para se chegar ao resultado da relação entradas/saídas é necessário fazer a análise sistemática dos fluxos de energia através dos processos produtivos envolvidos a fim de obter a quantidade de insumos energéticos requeridos para a produção do combustível (Nogueira, 1987).

O balanço de energia para o sebo bovino, obtido por meio da relação entradas e saídas, no processo de produção do biodiesel, variou de 4,1 a 8,08 unidades de energia renovável produzidas para cada unidade de energia fóssil consumida, Lopes (2006).

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho buscou analisar energeticamente o processo de obtenção do biodiesel em escala industrial e, optou-se por uma planta experimental.

Foram coletadas amostras, denominadas “inputs” e “outputs”, ou seja, “entradas” e “saídas”, através das quais determinou-se o poder calorífico de alguns elementos para a confecção do balanço energético do biodiesel.

As amostras coletadas foram distintas durante o processo de produção por batelada, onde ocorre o processo de transesterificação. Todo o processo de batelada se dá em torno de 9 horas.

A matéria-prima em estudo foi o óleo de frango, de grande quantidade na região oeste do Paraná, onde está instalada a planta experimental.



### 5.1 Planta Experimental de Biodiesel

Este trabalho foi realizado no Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias (CEDETEC), junto ao departamento de Agronomia da Faculdade Assis Gurgacz (FAG), no laboratório experimental de Biodiesel, localizado na cidade de Cascavel na região Oeste do Paraná.

A planta possui capacidade instalada de 900 litros/dia, e constitui-se de, da esquerda para a direita, condensador e recuperador de álcool, reator para a glicerina, reator de transesterificação e armazenamento do biodiesel e um misturador de catalisador-álcool conforme a Figura 2.



**Figura 2:** Planta experimental

**Fonte:** Arquivo pessoal, (2008)

## **5.2 Máquinas e Equipamentos Utilizados**

### **5.2.1 Tanques para armazenagem de óleo e gordura vegetal e animal**

Os tanques para armazenagem de matérias-primas, óleo e gordura vegetal e animal, são fabricados em chapas de aço carbono, dois com capacidade de  $5,0 \text{ m}^3$  e outro fabricado em polietileno com capacidade para  $5,0 \text{ m}^3$ . São providos de sistema de aquecimento com vapor indireto, serpentinas, à exceção do tanque em polietileno. Para evitar eventuais vazamentos de matéria-prima durante o processo de mudança de estado físico os tanques estão em ambientes com muretas de contenção.

### **5.2.2 Filtros prensa para matérias-primas**

Os filtros prensa são dotados de sistema para retirada de impurezas das matérias-primas e bomba de engrenagens para transferência dos óleos e gorduras para os reatores, ou para o tanque de armazenamento do produto final, conforme índice de acidez destas matérias-primas, sendo um com vazão nominal de  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e motor elétrico de 3,0 cv e outro com vazão nominal de  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e motor elétrico de 2,0 cv ( Figura 5).

### **5.2.3 Bomba para metanol**

Bomba centrífuga com rotor em inox e selo de viton para transferência do metanol do tanque de armazenagem para o preparador do catalisador e transferência deste para o reator, vazão nominal de  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , e motor de 3/4 cv à prova de explosão, evitando assim riscos de acidentes.

### **5.2.4 Tanque para armazenagem de glicerina bruta**

O tanque para armazenagem de glicerina bruta é fabricado em aço carbono com capacidade de  $2,5 \text{ m}^3$ . É provido de sistema de aquecimento com serpentina, para mudança de estado físico da glicerina bruta, se necessário.

### **5.2.5 Reservatório para água**

Reservatório para armazenagem de água para o processo, em PVC com reforço em metal, para armazenar água para lavagem e para uso na caldeira. A capacidade é de 4,0 m<sup>3</sup>.

### **5.2.6 Condensador de metanol e de água**

Condensador tipo casco e tubo construído em aço inox utilizado para condensar os vapores de metanol proveniente dos tanques para recuperação do álcool da glicerina, usando água como fluido refrigerante e, tanques construídos em aço inox com capacidades para 0,3 m<sup>3</sup>, que funciona como armadilha.

### **5.2.7 Bomba para glicerina bruta**

Bomba de engrenagens para transferência da glicerina bruta dos tanques de recuperação do álcool para o tanque de glicerina bruta, vazão nominal de 5,0m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, e motor de 1 cv (Figura 7).

### **5.2.8 Bomba para metanol recuperado**

Bomba centrífuga para transferência do metanol recuperado de volta ao tanque de armazenamento de metanol vazão nominal de 10 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, e motor elétrico de 1 cv.

### **5.2.9 Bomba de vácuo**

Bomba de palhetas com selo a água destinada a gerar vácuo no sistema com propósito de auxiliar a recuperação do metanol, secagem do biodiesel e condicionamento das matérias-primas, diminuindo as temperaturas de ebulição de cada espécie, e possui motor elétrico de 1 cv.

### **5.2.10 Bomba d'água**

Bomba d'água utilizada para lavagem e resfriamento do biodiesel produzido na planta, com vazão nominal de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e motor elétrico de 1 cv.

### **5.2.11 Gerador de vapor**

Caldeira fogotubular com capacidade para produção de  $300 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  de vapor saturado com pressão de operação de 400 kPc. Composta por sistema de alimentação manual de combustível, lenha; chaminé de 12 m de altura para tiragem dos gases de combustão e dispersão destes na atmosfera; sistema de controle automático do nível de água e bomba centrífuga de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  acionada por motor elétrico de 1 cv. Acompanha o equipamento prontuário com anotações das intervenções realizadas no equipamento e inspeções realizadas pelo inspetor da caldeira (Figura 6).

## **5.3 Funcionamento**

Para a obtenção do biodiesel, as seguintes etapas devem ser consideradas: fase de pré-reação, fase da reação química e a fase de pós-reação.

A fase de pré-reação inicia-se com os tratamentos prévios da matéria-prima que consiste em uma filtragem contínua, usualmente em filtros denominados de filtro-prensa, o qual mantém um fluxo contínuo com escoamento positivo, aonde, uma bomba de engrenagens conduz o fluido a placas filtrantes de papel, tecido ou feltro que impedem a passagem de impurezas e detritos indesejáveis. Ainda na fase de pré-reação o processo se sucede com a retirada de umidade da matéria-prima, onde, pode ser feita no próprio reator. Como o processo é por batelada, a secagem é realizada no próprio reator. A matéria-prima é agitada através de um agitador mecânico sob pressão abaixo da ambiente provocada por uma bomba de vácuo. A agitação é para facilitar o aquecimento homogêneo do óleo, induzindo a saída de água na forma de vapores que são sugados superiormente pelo vácuo e direcionado a condensadores.

Após a secagem inicia-se a fase preliminar a reação na qual é dependente do álcool a ser utilizado para a reação química do óleo. Trata-se do resfriamento do óleo e, deve ser levada em consideração a temperatura de ebulição do álcool a ser utilizado. No caso do metanol 64,5 °C e para o etanol 78,5 °C. É importante ressaltar que algumas matérias-primas que ficam muito tempo armazenadas, sem serem utilizadas, e alguns resíduos como o óleo de fritura, na maioria das vezes necessitam de um tratamento antes da transesterificação, que consiste em reduzir a acidez, permitindo assim uma reação efetiva e adequada. Com o óleo em condições para o processo de maior acuidade, inicia-se a fase reativa imposta pela adição do álcool e o catalisador.

A fase de reação química necessita de extrema atenção dos operadores, pois, inúmeros aspectos devem ser cuidados, tais como temperatura do óleo, válvulas de alívio abertas, quantidade de catalisador e álcool devidamente mensurados e homogeneizados. A pré-reação é concluída com o auxílio de equipamentos de apoio, onde são feitas à dissolução do catalisador no álcool, podendo ser feito em um tanque com agitador mecânico e bomba de transferência interligada ao reator. Com a solução pronta (metóxido ou etóxido de sódio ou potássio) e o óleo em ponto de reação, é feita a agitação do óleo no reator, simultaneamente a adição da solução reagente.

Após a fase de reação foi feito o repouso do óleo condicionado a separação de fases, onde a glicerina desprendida do óleo sedimenta e o éster alquílico fica na fase superior. Desta etapa em diante inicia-se a pós-reação.

A pós-reação é a etapa onde se realiza a recuperação do excedente de álcool e a purificação dos ésteres.

### **5.3.1 Determinação do Poder Calorífico**

O poder calorífico superior foi determinado pelo método da bomba calorimétrica, e suas determinações foram realizadas no laboratório de Física Aplicada do Departamento de Física e Biofísica, do Instituto de Biociências, Campus da UNESP de Botucatu – SP.

O poder calorífico superior foi determinado segundo a norma ABNT 8693, e pelo manual de operações do calorímetro PARR 1201.

Para a determinação do poder calorífico superior (PCS), a amostra de determinada substância foi pesada e acomodada num cadinho e ambos foram colocados no reator do calorímetro, que é a bomba calorimétrica. O sistema foi pressurizado com oxigênio, esperando-se a estabilização da temperatura da água; na sequência, efetuou-se a queima.

A massa de água ( $M_a$ ) utilizada no Calorímetro foi de 2.500g e o valor da constante do Calorímetro ( $K$ ) foi previamente determinado na calibração do Calorímetro, sendo de 480g, seguindo a equação 1.

## **5.4 Balanço Energético**

### **5.4.1 Dispendios Energéticos**

Para a elaboração deste estudo, verificaram-se as “entradas” e “saídas” de energia no processo de produção do biodiesel, a partir do óleo de frango usado como matéria-prima.

As entradas energéticas foram determinadas sendo: energia elétrica, lenha, óleo de frango, metanol e o catalisador hidróxido de sódio. As saídas: glicerina a partir de óleo de frango, biodiesel de óleo de frango.

Neste trabalho utilizou-se a unidade de megajoules (MJ) para as medidas de energia.

### **5.4.2 Energia Elétrica**

A energia foi quantificada a partir da análise dos gastos durante uma batelada. A planta experimental apresenta 12 motores que operam em momentos distintos durante o processo de batelada. A quantificação dos motores deu-se multiplicando sua potência nominal pelo tempo de operação de cada motor (Tabela AP6).

O coeficiente energético para eletricidade foi considerado a mesma como de origem hídrica igual a  $3,6 \text{ MJ.kWh}^{-1}$  (NOGUEIRA, 1987).

### 5.4.3 Lenha

Foram adquiridas amostras da lenha utilizada na caldeira durante o processo de produção do biodiesel. A espécie analisada foi a *Mimosa scabrella*, Bracatinga, e no processo de produção utiliza-se cerca de 250kg de lenha com umidade média de 20%. Onde, para os cálculos finais retiraram-se os 20% de umidade resultando 200 kg de lenha seca.

A determinação desta entrada energética foi através do poder calorífico em laboratório a partir do calorímetro disponível no Laboratório de Física Aplicada do Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu – SP.

Para a determinação do seu poder calorífico foi feito uma pastilha de um 1,0g. Esta pastilha foi seca em estufa num período de 24 horas, a 105 °C até a estabilidade de sua massa a 0% de umidade e depois deste processo fez-se a queima na bomba calorimétrica.

### 5.4.4 Óleo de frango

A matéria-prima em análise foi o óleo de frango. Para a produção do biodiesel utilizou-se 490 litros de óleo. A densidade do óleo de frango considerada foi de 0,91 g.cm<sup>-3</sup> Bellaver (2004).

Para a determinação do poder calorífico, inicialmente tentou-se a queima do óleo em seu estado natural, mas não houve a combustão completa. Fez-se então, uma mistura do óleo de frango com metanol (álcool metílico P.A. – teor: 99,5%) de modo que a massa da mistura ficasse em torno de 1,0g e assim pode-se determinar o PCS da amostra. O processo de queima no calorímetro realizou-se em 12 repetições para ambas as amostras.

### 5.4.5 Catalisador

Para a produção de biodiesel utilizam-se catalisadores para acelerar o processo de transesterificação. Os catalisadores utilizados podem ser o hidróxido de sódio (NaOH) ou o hidróxido de potássio (KOH). Para a batelada foi utilizado o hidróxido de sódio.

Na produção do biodiesel de óleo de frango utilizou-se 2,45g de hidróxido de sódio (NaOH). Seu coeficiente energético corresponde a  $44.45 \text{ kJ.mol}^{-1}$  (LIDE, 1991).

#### **5.4.6 Metanol**

O metanol é o álcool usado predominantemente em todo o mundo na produção de biodiesel. Foram usados 98 litros de metanol cuja função é fazer a transesterificação do óleo de frango. A densidade do metanol considerada foi de  $0,79 \text{ g.mL}^{-1}$  segundo Geris (2007).

#### **5.4.7 Glicerina**

A glicerina é um subproduto do biodiesel e é uma matéria-prima de alto valor agregado que pode ser empregada em uma ampla variedade de produtos, tais como, químicos, cosméticos, alimentícios e farmacêuticos.

A glicerina resultante do processo de transesterificação é considerada glicerina bruta. A densidade da glicerina, segundo Santos (2007) é de  $1,26 \text{ g.mL}^{-1}$ .

Para determinar o poder calorífico tomou-se aproximadamente 1,0g de cada amostra. O processo de queima da amostra no calorímetro foi realizado em 12 repetições para cada tipo de glicerina. Em algumas amostras foi necessário descontar o peso do cadinho, 8,29g, isto quando a queima não era total, ou seja, após a queima no calorímetro sobravam resíduos da amostra no cadinho.

#### **5.4.8 Biodiesel**

O biodiesel é, junto com a glicerina, a principal saída energética. A metodologia para identificação do seu coeficiente energético foi através da determinação do poder calorífico.

Para a determinação do poder calorífico fez-se a queima no calorímetro de aproximadamente 0,5g de cada amostra. Foram realizadas 12 repetições para cada amostra.



A determinação da massa é feita em função da densidade do óleo de frango que é de  $0,87\text{g.mL}^{-1}$  (SECCO et.al, 2008).

### **5.5 Análise de Energia**

Para a realização da estimativa do balanço de energia fez-se a relação produção/consumo entre as saídas e as entradas energéticas identificando-se os valores dos dispêndios energéticos utilizados na produção do biodiesel.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O balanço de energia pode ser caracterizado pela quantidade de energia que entra no processo subtraído da energia que sai.

Os resultados são apresentados e discutidos para os dispêndios energéticos e para a relação produção/consumo entre as entradas e saídas de energias.

Para se obter a produção energética final multiplicou-se a massa de cada insumo por seu índice energético e assim, conseguiu-se determinar a relação produção/consumo.

Os resultados são apresentados em Megajoules (MJ).

### **6.1 Dispêndios Energéticos**

#### **6.1.1 Energia Elétrica**

A quantidade de energia gasta no processo foi de 18,83 kWh. Estes valores se deram em função do tempo de utilização de cada motor no processo.

Neste item, não há muito que se fazer, a não ser a escolha e dimensionamento correto dos motores usados em cada etapa. Evidentemente numa planta comercial, estes ajustes são mais refinados e levam a um gasto mínimo de energia elétrica, existindo também a opção de se usar outros tipos de motores que sirvam para mais de uma etapa do processo. No caso em estudo, não foi um insumo importante no conjunto.

#### **6.1.2 Lenha**

A caldeira utilizada no processo para obtenção do biodiesel é alimentada à lenha, sendo de grande importância ao processo.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1937), indica poder calorífico superior para a espécie Bracatinga de  $19,40 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

O poder calorífico superior médio encontrado foi de  $19,88 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (Tabela AP1), para a utilizada no processo.

A lenha é um importante insumo no processo, embora sua participação na formação de vapor não seja diretamente empregada na rota química da obtenção do biodiesel. Os valores energéticos da contribuição da queima da lenha podem ter influenciado nos resultados pela quantidade, umidade, tipo de madeira e eficiência na combustão. É um ponto que deve ser muito bem avaliado numa planta comercial, pois nestas instalações as caldeiras são alimentadas com outro tipo de combustível – óleo derivado do petróleo – BPF.

Para a determinação da produção energética retirou-se 20% de umidade e, sendo assim, para efeito de cálculos utilizou-se 200 kg. Este dado mostra que a umidade também é um complicador e significa um gasto extra desse insumo, pois grande parte da energia é usada para evaporar a água contida no material. Outro ponto a ser considerado, é que a lenha, principalmente obtida a partir de madeira proveniente de árvores nativas, é um combustível não ecológico; seu uso deve ser criteriosamente analisado e comparado com outras fontes e, em último caso, a opção a madeira para queima deve ser oriunda de florestas renováveis, como o eucalipto.

### **6.1.3 Metanol e Óleo de Frango**

O valor usado neste estudo foi obtido pela queima conjunta de amostras de metanol e óleo de frango. Como no processo metílico o óleo de frango é homogeneizado com o metanol, parece razoável que a obtenção de um PCS que avalie os dois componentes seja usada, desde que as massas sejam somadas, o que foi feito neste caso.

O metanol ou álcool metílico é imprescindível no processo de transesterificação do óleo para a produção do biodiesel. Junto com a matéria prima é um dos principais insumos e, em plantas comerciais pode ser parcialmente recuperado, o que não aconteceu no processo estudado. Seu poder calorífico é de  $19,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , mas como citado

anteriormente, neste caso optou-se por usar o valor obtido conjuntamente com o óleo de frango, por não ter sido possível somente a queima do óleo no calorímetro. Informações obtidas junto ao Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu consideram ser este um procedimento aceitável, embora não citado em nenhuma literatura consultada. Bombas calorimétricas mais modernas talvez sejam mais aptas à determinação do PCS de óleos, mas infelizmente não foi possível o acesso a nenhum equipamento deste tipo. Para o a estimativa energética utilizou-se 77,58 kg de metanol.

Foi feita uma batelada com 490 litros de óleo de frango, o que corresponde a uma massa efetiva de 445,9kg.

O poder calorífico do óleo de frango é um valor fundamental no processo e, valores para óleos de origem vegetal situam-se ao redor de  $39,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (CAMARGOS ,2005; COSTA NETO et al., 2000).

Utilizou-se para mistura metanol mais óleo de frango e o valor do PCS encontrado foi de  $30,07 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , maior que o do metanol e menor do que os óleos vegetais, o que parece ser um valor coerente com os indicadores separados.

#### **6.1.4 Glicerina de Frango**

A quantidade de glicerina usada foi e 46,8 litros e a massa para estimativa foi 58,96 g.

A glicerina de frango é um dos dispêndios energéticos que caracteriza as saídas energéticas. O poder calorífico superior médio foi de  $32,81 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (Tabela Ap5), apresentando um alto índice energético, caracterizado pela presença de metanol na glicerina.

#### **6.1.5 Biodiesel de Óleo Frango**

Em estudo visando a transesterificação de óleo de soja usado em frituras encontrou-se valor energético para o biodiesel de óleo de fritura de  $37,50 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (COSTA NETO et al., 2000). No mesmo estudo o poder calorífico para o biodiesel mamona, babaçu, dendê, algodão e piqui de  $37,87 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ;  $39,52 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ;  $39,90 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ;  $39,86 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ; e  $40,15 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , respectivamente.

Peres et al., (2009), determinou para o biodiesel de soja poder calorífico superior de  $39,11 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , para o biodiesel de mamona  $39,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , pinhão-manso  $39,08 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , biodiesel de óleo de frango  $40,1 \text{ MJ.kg}^{-1}$  e sebo bovino sendo  $39,33 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

Para o biodiesel de óleo de frango, sendo este uma das saídas energéticas, determinou-se poder calorífico médio de  $42,53 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (Tabela AP4).

A massa encontrada para os cálculos de estimativa de balanço de energia foi 407,2 kg. Sendo que, dos 490 litros iniciais de óleo de frango obtivemos 468 litros de biodiesel.

## 6.2 Análise de Energia

O balanço de energia indica um parâmetro de viabilidade técnica do processo para a produção de biodiesel de óleo de frango e neste estudo ele apontou valor negativo, sendo que, isto pode ser revisto para melhorar o processo industrial.

Por este motivo, embora o intuito inicial desta pesquisa fosse o de realizar um balanço completo, sugere-se que este estudo seja visto como uma análise de energia num processo experimental no qual parâmetros comumente usados para um balanço formal, foram avaliados dentro de certas limitações tanto no processo produtivo como na parte laboratorial.

As Tabela 3 e Tabela 4 indica, o quantitativo de insumo utilizado na produção de biodiesel, potencial energético e a produção energética para as entradas e saídas de energia.

**Tabela 3.** Quantitativo para o balanço de energia, entradas de energia.

<b>Entradas de Energia</b>				
	<b>Unidades</b>	<b>Insumo</b>	<b>Potencial Energético</b>	<b>Produção Energética (MJ)</b>
Eletricidade	kWh	18,83	3,6	67,8
Lenha (massa seca)	kg	200	19,88	3.976
Catalisador (NaOH)	kg	2,45	44,45	2,72
Óleo de frango + Metanol	kg	523,48	30,07	15.741,04
<b>Total</b>				<b>19.787,56</b>

**Tabela 4.** Quantitativo para o balanço de energia, saídas de energia.

<b>Saídas de Energia</b>			
	<b>Insumo (kg)</b>	<b>Potencial Energético (MJ.kg-1)</b>	<b>Produção Energética (MJ)</b>
Biodiesel óleo de frango	407,2	42,53	17.316,51
Glicerina óleo de frango + Metanol	58,96	32,81	1.934,74
<b>Total</b>			<b>19.251,25</b>

O biodiesel apresentou produção energética de 17.316,51 MJ, para uma massa de 407,2 kg, valor não desprezível, principalmente por estar dentro do esperado e isto aponta que o caminho a ser percorrido é correto, embora necessite de alterações inerentes nos novos processos.

O resultado final aponta para um processo com deficiência energética no qual se coloca mais energia do que aquela a ser obtida, na razão de 0.97, o que em princípio indica uma alternativa inviável.

## 7 CONCLUSÕES

Os biocombustíveis, combustível de origem biológica, são uma tendência mundial e o Brasil apresenta-se como grande incentivador no fortalecimento da utilização dos mesmos.

O Brasil possui condições de ampliar e tornar-se um dos grandes líderes mundiais na produção e uso de energias de fontes renováveis, dadas as suas vantagens em relação à extensão de terras e diversidade de clima e solo na produção agrícola para as fontes de energia.

A inserção do biodiesel na matriz energética brasileira auxilia na sustentabilidade econômica, social, ambiental e tecnológica, atrelado ao seu grande potencial de matérias-primas para sua produção.

O uso de óleos obtidos a partir de resíduos de produção animal, principalmente os de frango, podem ser vistos como uma solução ambiental ainda que o produto obtido seja energeticamente deficitário.

Como em toda pesquisa de caráter experimental, as condições de trabalho apresentam certas dificuldades, todavia, novos estudos devem ser realizados para aperfeiçoamento e melhoria dos resultados.

Como conclusão final, o valor da análise energética, 0,97, aponta para um processo com grande potencial e que não deve ser descartado.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional de Petróleo. **Produção de Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 07/09/2009.

ARONI, A. S. **Avaliação da biomassa e qualidade da madeira do híbrido *Pinus tecunumanni* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* pela técnica de atenuação da radiação gama do <sup>241</sup>Am**. Botucatu, 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

BATCHELOR, S. E.; BOOTH, E. J.; WALKER, K. R. **Energy analysis of rape methyl ester (RME) production from winter oilseed rape**. Industrial Crops and Products, 1995.

BELLAVER, C., ZANOTTO, D. L. **Parâmetros de Qualidade em Gorduras e Subprodutos Protéicos de origem animal**. Conferência APINCO 2004. Santos-SP, 2004.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP**. Botucatu, 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BUENO, O. C.; CAMPOS, A. T. Balanço de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo. In: AVANCES EM INGENIERÍA AGRÍCOLA, 2000, Buenos Aires. **Anais...**Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000, p. 477- 482.

CAMARGOS, R. B. S. **Avaliação da viabilidade de se produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de grãos de café defeituosos**. Belo Horizonte, 2005. 105 f.



Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CASA CIVIL. Casa Civil da Presidência da República. **Legislação: Decretos**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/\\_quadro.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/_quadro.htm)>. Acesso em: 20 set. 2008.

CERBIO. Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis. **Boletim técnico 3**. Disponível em: <<http://www.tecpar.br/cerbio/>>. Acesso em: 10 out. 2008.

CHING, H. W. **Biodiesel**. SEBRAE, 2007. 63 p.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

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

COSTA, R. E.; LORA, E. E. S.; YÁÑEZ, E. TORRES, E. A. **Balanco energético preliminar da produção do biodiesel de óleo de palma para condições do Brasil e da Colômbia**. Agrener, 2006.

FISCHER, G; SCHRATTENHOLZER, L. Global bioenergy potentials through 2050. **Biomass & Bioenergy**, Pergamon, v.20, n.3, p. 151-159, 2001.

GERIS, R. SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**. 2007, vol.30, n.5, pp. 1369-1373.

LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 71. Boston: CRC Press, 1991.

HESLES, J. B. S. **Objetivos e princípios da análise energética, análise de processos industriais: métodos e convenções**. Rio de Janeiro: Preprint AIECOPPE/UFRJ, 1981, 137 p.

HOLANDA, A. **Biodiesel e Inclusão Social, Caderno do Conselho de Altos Estudos da Câmara dos Deputados**. Brasília, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS do Estado de São Paulo. **A madeira como combustível**; publicação 65, Boletim nº17, 1937.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)

KHALIL, N. C. As tecnologias de produção de biodiesel. In: O Futuro da Indústria: Biodiesel. Brasília, 2006. p. 83-90.

LIMA, P. C. R. **O biodiesel e a inclusão social**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2004. 34p.

LOPES, E. M. **Análise energética e da viabilidade técnica da produção de biodiesel a partir de sebo bovino**. 2006. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia da Energia) Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2006.

MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. Lei Federal nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, “dispõem sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira...” Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 07/08/2008.

MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Programa Brasileiro de Biocombustíveis. PROBIODIESEL, 2003**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 07/08/2008.

MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. PNPB, 2008**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 07/08/2008.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2008**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432&pageId=17726](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=17726)>. Acesso em: 28 set. 2008.

NOGUEIRA, L. A. H. **Análise da utilização de energia na produção de álcool de cana de açúcar**. 1987. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987.

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

PERES, J. R. R.; BELTRÃO, N. E. M. Oleaginosas para o biodiesel: situação atual e potencial. In: O Futuro da Indústria: Biodiesel. Brasília, 2006. p. 67-82.

PERES, S.; SHULER, A.; ALMEIDA, C.H.; SOARES, M.B.; CAMPOS, R.; LUCENA, A. **Caracterização e Determinação do Poder Calorífico e do Número de Cetano de Vários Tipos de Biodiesel Através da Cromatografia**. Disponível em: [www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/caracterizacao/11.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/caracterizacao/11.pdf) -. Acessado em 10 de maio de 2009.

RISOUD, B. **Développement durable ey analyse énergétique d'exploitations agricoles. Économie Rurale**, n. 252, p. 16-27, juillet-août, 1999.

ROCHA, T. B.; ALMEIDA NETO, J. A. **Análise energética na produção do biodiesel de mamona: estudo comparativo entre as rotas catalíticas homogênea e heterogênea**. Cilca, 2007.

SATO, M. **Análise energética da implantação da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) destinada à produção de sementes: estudo de caso.** 2007. 118f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007.

SANTOS, V.A.; SARUBBO, L. A.; VASCONCELOS, E. C.; FINKLER, C. L. L.; LINZMAIER, T. C. M.; ANDRADE, E. P. **Decantação contínua da mistura biodiesel-glicerina1: modelagem dinâmica.** Disponível em: <[www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/producao/18.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/producao/18.pdf)>. Acessado em 10 de maio de 2009.

SECCO, W.; FERREIRA, E.; HASHIMOTO, E.H.; MAZARO, S. M. **Produção de biodiesel a partir da gordura de frango.** XVI Encontro de Química da Região Sul, 2008. Disponível em: <[www.furb.br/temp\\_sbqsul/\\_app/\\_FILE\\_RESUMO.../865.pdf](http://www.furb.br/temp_sbqsul/_app/_FILE_RESUMO.../865.pdf)>. Acessado em 10 de maio de 2009.

SHEEHAN, J. CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroluem Diesel for Use in na Urban Bus: Final Report.** s.n.t.p. 1998 (Relatório NREL/SR 580-24089, Golden EUA).

## **9 APÊNDICES**



**Figura 3:** Separador e neutralizador químico  
Fonte: Arquivo pessoal (2008).



**Figura 4:** Reator em fase química.  
**Fonte:** Arquivo Pessoal (2008).



**Figura 5 :** Filtro Prensa  
**Fonte:** Arquivo Pessoal (2008).



**Figura 6:** Caldeira.  
Fonte: Arquivo pessoal (2008).



**Figura 7:** Condensador de metanol e de água  
**Fonte:** Arquivo Pessoal (2008).

Tabela AP1: Poder calorífico (PCS), da madeira , espécie Bracatinga.

<b>Amostras</b>	<b>ms</b>	<b>ti</b>	<b>tf</b>	<b>PCS (cal/g)</b>	<b>PCS (MJ)</b>
<b>1</b>	1.04	2.44	0.79	<b>4727.88</b>	<b>19.79</b>
<b>2</b>	0.88	3.29	1.84	<b>4910.23</b>	<b>20.56</b>
<b>3</b>	0.97	1.98	0.48	<b>4608.25</b>	<b>19.29</b>
<b>Média</b>	<b>0.963</b>			<b>4748.79</b>	<b>19.88</b>

Fonte: Dados de pesquisa, (2008).

Tabela AP2: Poder calorífico (PCS), do metanol – (Álcool Metílico P.A. – Teor: 99,5%)

<b>AMOSTRAS</b>	<b>ms</b>	<b>ti</b>	<b>tf</b>	<b>PCS (cal/g)</b>	<b>PCS (MJ)</b>
<b>1</b>	<b>0.52</b>	4.17	3.31	<b>4928.46</b>	<b>20.63</b>

Fonte: Dados de pesquisa, (2008).

Tabela AP3: Poder calorífico (PCS), do óleo de frango.

<b>Óleo de Frango</b>									
<b>Dados Extras</b>		<b>Resultados</b>							
<b>Metanol</b>	<b>Óleo</b>	<b>Amostras</b>	<b>ms</b>	<b>ti</b>	<b>tf</b>	<b>PCS (cal/g)</b>	<b>PCS (MJ)</b>	<b>PCS Metanol(MJ)</b>	<b>PCS (MJ)</b>
0.51	0.34	1	0.85	4.35	2.48	6556.00	27.45	20.63	6.82
0.51	0.49	2	1	3.88	1.51	7062.60	29.57	-	8.94
0.53	0.53	3	1.06	3.59	1.08	7056.42	29.54	-	8.91
0.53	0.46	4	0.99	3.83	1.53	6923.23	28.99	-	8.36
0.51	0.5	5	1.01	4.69	1.44	9589.11	40.15	-	19.52
0.53	0.5	6	1.03	4.77	2.4	6856.89	28.71	-	8.08
0.54	0.47	7	1.01	3.58	1.25	6874.65	28.78	-	8.15
0.51	0.49	8	1	4.33	1.92	7181.80	30.07	-	9.44
0.52	0.48	9	1	3.4	1.03	7062.60	29.57	-	8.94
0.53	0.47	10	1	3.05	0.7	7003.00	29.32	-	8.69
0.52	0.47	11	0.99	4.59	2.2	7194.14	30.12	-	9.49
0.51	0.47	12	0.98	4.62	2.38	6811.43	28.52	-	7.89
<b>Média</b>			<b>0.99</b>			<b>7180.99</b>	<b>30.07</b>		<b>9.44</b>

Fonte: Dados de pesquisa, (2008).



Tabela AP4: Poder calorífico (PCS), do biodiesel de óleo de frango.

<b>Biodiesel de Óleo de Frango</b>					
<b>Resultados</b>					
<b>Amostras</b>	<b>ms</b>	<b>ti</b>	<b>tf</b>	<b>PCS (cal/g)</b>	<b>PCS (MJ)</b>
1	0.57	3.9	1.88	10560.70	44.22
2	0.57	3.82	2.01	9462.81	39.62
3	0.56	3.56	1.86	9046.43	37.88
4	0.57	3.97	2.12	9671.93	40.49
5	0.51	3.36	1.81	9056.86	37.92
6	0.52	4.65	3.01	9398.46	39.35
7	0.58	3.63	1.67	10070.34	42.16
8	0.5	4.48	1.66	16807.20	70.37
9	0.52	4.5	2.82	9627.69	40.31
10	0.54	3.44	1.77	9215.93	38.59
11	0.52	3.79	2.16	9341.15	39.11
12	0.51	3.43	1.78	9641.18	40.37
<b>Média</b>	<b>0.5392</b>			<b>10158.39</b>	<b>42.53</b>

Fonte: Dados de pesquisa, (2008).

Tabela AP5: Poder calorífico (PCS), da glicerina de frango.

<b>Glicerina de Frango</b>							
<b>Dados Extras</b>		<b>Resultados</b>					
<b>Cadinho</b>	<b>Cadinho+Massa</b>	<b>Amostras</b>	<b>ms</b>	<b>ti</b>	<b>tf</b>	<b>PCS (cal/g)</b>	<b>PCS (MJ)</b>
8.29		<b>1</b>	0.99	3.56	0.92	<b>7970.67</b>	<b>33.37</b>
8.29	8.41	<b>2</b>	0.88	2.56	0.26	<b>7812.16</b>	<b>32.71</b>
		<b>3</b>	1	4.28	1.725	<b>7636.90</b>	<b>31.97</b>
8.29	8.39	<b>4</b>	0.9	3.07	0.725	<b>7788.01</b>	<b>32.61</b>
		<b>5</b>	1	4.4	1.75	<b>7920.85</b>	<b>33.16</b>
8.29	8.42	<b>6</b>	0.87	3.61	1.29	<b>7970.67</b>	<b>33.37</b>
8.29	8.31	<b>7</b>	0.96	4.75	2.13	<b>8157.48</b>	<b>34.15</b>
8.29	8.59	<b>8</b>	0.68	4.39	2.95	<b>6329.65</b>	<b>26.50</b>
8.29	8.31	<b>9</b>	0.96	3.86	1.25	<b>8126.34</b>	<b>34.02</b>
8.29	8.5	<b>10</b>	0.73	3.08	1.53	<b>6346.51</b>	<b>26.57</b>
8.29	8.31	<b>11</b>	0.92	4.81	1.46	<b>10883.86</b>	<b>45.57</b>
8.29	8.3	<b>12</b>	0.89	3.62	1.51	<b>7086.28</b>	<b>29.67</b>
<b>Média</b>			<b>0.898</b>			<b>7835.78</b>	<b>32.81</b>

Fonte: Dados de pesquisa, (2008).

Tabela AP6: Quantificação dos motores.

Equipamentos		Motor (cv)	W	W	Tempo (horas)	Wh	kWh	kWh
filtro prensa		2	745.7	1491.4	0.20	298.3	0.001	0.29828
			-				-	
misturador	bomba	0.75	-	559.275	0.37	205.07	-	0.20507
reagentes	agitador	1.5	-	1118.55	0.33	372.85	-	0.37285
			-				-	
reator	misturador	2	-	1491.4	4.5	6711.30	-	6.7113
			-				-	
separador	separador	1	-	745.7	4	2982.80	-	2.9828
glicerina			-				-	
			-				-	
bomba vácuo		1.5	-	1118.55	6	6711.30	-	6.7113
			-				-	
metanol recuperado		0.75	-	559.275	0.008	4.66	-	0.00466
			-				-	
bomba glicerina		1	-	745.7	0.03	24.86	-	0.02486
			-				-	
bomba de lavagem		0.75	-	559.275	0.03	18.64	-	0.01864
			-				-	
filtro biodiesel		2	-	1491.4	0.13	198.85	-	0.19885
			-				-	
injetor de glicerina		0.75	-	559.275	1	559.28	-	0.5593
			-				-	
bomba caldeira		3	-	2237.1	0.33	745.70	-	0.7457
<b>Total</b>						<b>18834</b>		<b>18.834</b>

Fonte: Dados de pesquisa, (2008).