

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**PAULO SÉRGIO BARBOSA DOS SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM SISTEMA PARA SEPARAÇÃO  
AUTOMÁTICA DAS FASES GLICEROL-BIODIESEL UTILIZANDO SENSOR DE  
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**

Ilha Solteira

2013

**PAULO SÉRGIO BARBOSA DOS SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM SISTEMA PARA SEPARAÇÃO  
AUTOMÁTICA DAS FASES GLICEROL-BIODIESEL UTILIZANDO SENSOR DE  
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

**Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos**

Orientador

Ilha Solteira

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237d Santos, Paulo Sérgio Barbosa dos.  
Desenvolvimento e teste de um sistema para separação automática das fases glicerol-biodiesel utilizando sensor de condutividade elétrica / Paulo Sérgio Barbosa dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013  
143 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2013

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos  
Inclui bibliografia

1. Biodiesel. 2. Glicerol. 3. Separação. 4. Sensor. 5. Condutividade elétrica.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Desenvolvimento e teste de um sistema para separação automática das fases glicérol-biodiesel utilizando sensor de condutividade elétrica

**AUTOR:** PAULO SÉRGIO BARBOSA DOS SANTOS

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. RICARDO ALAN VERDÚ RAMOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica ,  
Área: CIÊNCIAS TÉRMICAS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RICARDO ALAN VERDÚ RAMOS  
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JOÃO BATISTA CAMPOS SILVA  
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JHON JAIRO RAMIREZ BEHAINNE  
Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Data da realização: 28 de fevereiro de 2013.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela oportunidade de participar de um programa de pós-graduação em uma renomada universidade e pela força concedida para a realização desse trabalho.

Agradeço especialmente a minha família pela compreensão, nos diversos momentos em que estive ausente realizando esse trabalho, pelo apoio incondicional aos estudos e pelas orações.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos, que propôs esse tema como desafio e pelo apoio e discussões que contribuíram muito para o desenvolvimento desse trabalho com seus conselhos, orientações e, acima de tudo, pela paciência e amizade, além do respeito às ideias apresentadas.

Ao Prof. Dr. Dilson Cardoso da UFSCar, pela atenção e disponibilização de parte do material no qual se baseou esse estudo.

Aos colegas discentes Daniel Henrique de Souza Obata, pela ajuda na programação do microcontrolador e confecção do circuito eletrônico, e Williams França Leite, pelas sugestões na parte eletrônica.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo suporte financeiro através da concessão da bolsa de estudos.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

## RESUMO

Na produção de biodiesel em pequena escala são comumente empregados os decantadores para separar o glicerol do biodiesel após a reação química de transesterificação do óleo com um álcool e um catalisador. Na maioria das vezes, esse processo de separação é realizado de forma manual e subjetiva por um operador que está sujeito a erros de interpretação, podendo, com isso, aumentar o custo de produção e/ou comprometer a qualidade do combustível produzido. Neste trabalho é proposta uma metodologia para o desenvolvimento e teste de um sistema eletrônico micro controlado, capaz de distinguir as fases formadas após o processo de decantação por meio de um sensor de condutividade elétrica, o qual permite o acionamento de válvulas para controle automático do direcionamento do biodiesel e do glicerol para reservatórios distintos. Essa metodologia contém a técnica de desenvolvimento abrangendo modelagem, simulação computacional, seleção de materiais, usinagem, projeto eletrônico, calibração e obtenção das características do desempenho do sensor. O sistema é composto por um painel elétrico que permite observar características do processo, através de um visor de LCD, e permite alterar as configurações do micro controlador, através da comunicação USB do equipamento com um computador. O sistema se mostrou eficiente nos testes com o biodiesel e glicerol, em processos produtivos com óleo de soja refinado, sendo que o glicerol apresentou valor de condutividade superior ao biodiesel, conforme esperado.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Glicerol. Separação. Sensor. Condutividade elétrica.

## ABSTRACT

In the production of biodiesel on a small scale decanters are commonly utilized to separate the glycerol from biodiesel produced after a chemical reaction of oil with some alcohol and a catalyst. In most cases, this separation process is done manually and subjectively by an operator that can make mistakes in interpretation, increasing the cost of production and/or compromising the quality of the fuel produced. This work presents a methodology for developing and testing of a micro controlled electronic system, capable of distinguishing the phases formed after the decanting process by means of an electrical conductivity sensor, which permits the actuation of valves in order to have an automatic control of the direction of biodiesel and glycerol for different reservoirs. This methodology contains the technical development including modeling, computer simulation, materials selection, manufacturing, electronic project, calibration and obtains the performance characteristics of the sensor. The system consists of an electrical panel, which allows to observe the process through features an LCD display and permits change the settings of microcontroller through the USB communication device with a computer. The system proved effective in tests with biodiesel and glycerol production processes with refined soybean oil, and glycerin showed conductivity value higher than biodiesel as expected.

**Keywords:** Biodiesel. Glycerol. Separation. Sensor. Electrical conductivity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reservas mundiais de petróleo em milhões de barris.....	19
Figura 2 - Consumo mundial de energia de 1990 a 2035 ( $10^{18}$ J).....	20
Figura 3 - Energia consumida no mundo por tipo de energia ( $10^{18}$ J).....	20
Figura 4 - Produção de combustíveis líquidos (milhões de barris por dia). ....	21
Figura 5 - Consumo de combustível líquido (milhões de barris/dia).....	22
Figura 6 - Oferta Interna de Energia - 2030 ( $10^{15}$ J).....	23
Figura 7 - Combustíveis líquidos na demanda final de energia.....	23
Figura 8 - Ciclo de combustíveis: a) Fósseis; b) Renováveis. ....	25
Figura 9 - Emissões médias (%) de biodiesel comparado ao diesel fóssil. ....	27
Figura 10 - Potencialidade brasileira para produção de oleaginosas. ....	29
Figura 11 - Participação das matérias-primas na produção de biodiesel. ....	31
Figura 12 - Esquema geral da reação de transesterificação. ....	33
Figura 13 - Conversão de triglicerídeos e formação de glicerol e biodiesel. ....	34
Figura 14 - Fluxograma do processo de produção de biodiesel.....	34
Figura 15 - Processo de produção de biodiesel com rota metílica. ....	37
Figura 16 - Processo de produção de biodiesel por rota etílica.....	37
Figura 17 - Definição de linearidade.....	44
Figura 18 - Lei de Ohm. ....	46
Figura 19 - Característica corrente-tensão para resistores. ....	46
Figura 20 - Representação dos elétrons livres na prata. ....	48
Figura 21 - Condutividade elétrica em substâncias iônicas.....	48
Figura 22 - Estrutura iônica no estado sólido. ....	49
Figura 23 - Estrutura iônica no estado líquido .....	49
Figura 24 - Migração dos íons.....	51
Figura 25 - Moléculas polares na ausência de um campo elétrico.....	51
Figura 26 - Moléculas polares sob a ação de um campo elétrico.....	52
Figura 27 - Célula de condutividade elétrica em operação. ....	53
Figura 28 - Método de divisor de tensão para medição de resistência. ....	55
Figura 29 - Titulação do óleo de soja refinado. ....	59
Figura 30 - Decantação do biodiesel produzido em laboratório com óleo de soja refinado. ....	59
Figura 31 - Modelo do sensor desenvolvido.....	60

Figura 32 - Vista explodida do corpo do sensor. ....	61
Figura 33 - Foto do sensor. ....	62
Figura 34 - Modelagem do circuito eletrônico.....	63
Figura 35 - Circuito eletrônico com numeração dos componentes.....	64
Figura 36 - Foto do componente LM 7805 e sua na modelagem do circuito eletrônico.....	65
Figura 37 - Foto do visor de LCD e sua modelagem do circuito eletrônico. ....	66
Figura 38 - Foto do microcontrolador PIC 18F2550 e sua modelagem no <i>software</i> de simulação. ....	66
Figura 39 - Foto do opto-acoplador e sua modelagem no circuito eletrônico. ....	67
Figura 40 - Configuração de pinagem do microcontrolador PIC 18F2550. ....	68
Figura 41 - Fluxograma do programa para o microcontrolador. ....	71
Figura 42 - Trilhas e disposição dos componentes na placa de circuito eletrônico. ..	72
Figura 43 - Placa de circuito impresso finalizada. ....	73
Figura 44 - Equipamento para separação automática das fases glicerol-biodiesel...74	
Figura 45 - Esquema da mini usina da UNESP de Ilha Solteira.....	76
Figura 46 - Foto da mini usina de biodiesel.....	77
Figura 47 - Sensor montado numa cruzeta de PVC.....	78
Figura 48 - Disposição do sensor e das válvulas na tubulação.....	78
Figura 49 - Condutividade elétrica do glicerol. ....	79
Figura 50 - Sistema para teste em bancada. ....	80
Figura 51 - Consumo de energia por setor no Brasil em 2009. ....	91
Figura 52 - Consumo total de energia por setor no Brasil em 2030. ....	92
Figura 53 - Consumo de derivados de petróleo por setor em 2009. ....	92
Figura 54 - Consumo de combustível no setor de transporte em 2009.....	93
Figura 55 - Produção de veículos a diesel em 2011. ....	93
Figura 56 - Produção de biocombustíveis por país em 2010. ....	94
Figura 57 - Produção de biocombustíveis por continente em 2010.....	94
Figura 58 - Número de patentes na produção de etanol de 2006 a 2010. ....	95
Figura 59 - Número de patentes na produção de biodiesel de 2006 a 2010.....	96
Figura 60 - Evolução dos biocombustíveis no Brasil. ....	97
Figura 61 - Cooperação brasileira em biocombustíveis no mundo.....	99
Figura 62 - Motor Diesel da primeira geração. ....	100
Figura 63 - Produção de biodiesel na UE (em 10 <sup>3</sup> toneladas).....	104

Figura 64 - Produção de biodiesel nos EUA (em milhões de litros). .....	105
Figura 65 - Unidades de produção de biodiesel nos Estados Unidos. ....	106
Figura 66 - Cronograma inicial do PNPB. ....	109
Figura 67 - Evolução dos recursos destinados à aquisição de matéria-prima, oriunda da agricultura familiar, para a produção de biodiesel (R\$ milhões).....	111
Figura 68 - Evolução do número de famílias fornecedoras de matéria-prima para produção de biodiesel no Brasil. ....	112
Figura 69 - Benefícios à saúde com o uso do B5, B10 e B20. ....	114
Figura 70 - Projeção de produção de biodiesel no Brasil (milhões de m <sup>3</sup> ). ....	115
Figura 71 - Importação de Diesel x Produção de biodiesel no Brasil. ....	116
Figura 72 - Saldo na balança comercial brasileira.....	117
Figura 73 - Consumo de biodiesel por subsetores de transporte no Brasil. ....	117
Figura 74 - Localização das unidades produtoras de biodiesel no Brasil. ....	119
Figura 75 - Evolução da produção e da capacidade produtiva mensal de biodiesel no Brasil. ....	119
Figura 76 - Capacidade de produção de biodiesel instalada no Brasil.....	120
Figura 77 - Entregas nos leilões e demanda de biodiesel no Brasil de 2008 a 2010.....	120
Figura 78 - Distribuição regional da produção de biodiesel no Brasil.....	121
Figura 79 - Produção de biodiesel no mundo em 2010.....	121
Figura 80 - Consumo acumulado de biodiesel em 2012 em alguns países. ....	122
Figura 81 - Polos de produção de biodiesel na região nordeste do Brasil. ....	123
Figura 82 - Polos de produção de biodiesel na região sul do Brasil.....	124
Figura 83 - Polos de produção de biodiesel na região centro-oeste do Brasil. ....	125
Figura 84 - Polos de produção de biodiesel na região sudeste do Brasil. ....	125
Figura 85 - Polos de produção de biodiesel na região norte do Brasil. ....	126
Figura 86 - Produção de biodiesel de sebo bovino no Brasil. ....	128
Figura 87 - Matérias-primas usadas na produção do biodiesel no Brasil. ....	129
Figura 88 - Fontes de matérias-primas para produção de biodiesel no Brasil até 2020. ....	129
Figura 89 - Parte superior do painel. ....	135
Figura 90 - Lateral esquerda do painel.....	136
Figura 91 - Lateral direita do painel.....	136
Figura 92 - Parte inferior do painel. ....	137
Figura 93 - Tela inicial da ferramenta SanUSB. ....	138
Figura 94 - Mensagem de confirmação da gravação no microcontrolador.....	139

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda de combustíveis líquidos por setor ( $10^{15}$ J).....	24
Tabela 2 - Características de algumas culturas oleaginosas. ....	28
Tabela 3 - Características das rotas de processo com o metanol e o etanol. ....	38
Tabela 4 - Internações, custos e óbitos da poluição pelo uso de óleo diesel no Brasil em 2007. ....	113
Tabela 5 - Internações, custos e óbitos que seriam evitados nas capitais brasileiras com o uso do biodiesel em substituição ao diesel em 2007.....	113
Tabela 6 - Maiores produtores de biodiesel no Brasil. ....	118
Tabela 7 - Volumes de óleos e gorduras necessários para a produção de B10 e B20 no Brasil. ....	130
Tabela 8 - Limites para certificação/especificação do biodiesel no Brasil.....	134

## SUMÁRIO

<b>PREÂMBULO</b> .....	14
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 CONTEXTO ENERGÉTICO</b> .....	19
2.1 Contexto energético mundial.....	19
2.2 Contexto energético brasileiro .....	22
2.3 Biocombustíveis .....	24
2.4 Biodiesel.....	26
<b>3 PRODUÇÃO DE BODIESEL</b> .....	28
3.1 Matérias-primas para produção de biodiesel.....	28
3.2 Produção de biodiesel por transesterificação .....	32
3.3 Trabalhos relacionados à produção de biodiesel .....	40
<b>4 INSTRUMENTAÇÃO PARA SEPARAÇÃO DAS FASES GLICEROL-BODIESEL</b> .....	43
4.1 Sensor .....	43
4.2 Condução elétrica.....	45
4.3 Sensor de condutividade elétrica para líquidos .....	53
4.4 Circuito divisor de tensão .....	55
4.5 Trabalhos sobre sensores de condutividade elétrica para líquidos .....	57
<b>5 PRODUÇÃO DE BODIESEL E PROJETO DO SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE FASES GLICEROL-BODIESEL</b> .....	58
5.1 Produção de biodiesel.....	58
5.1.1 <i>Produção de biodiesel com óleo de soja</i> .....	58
5.2 Modelagem e projeto do sensor .....	60
5.2.1 <i>Modelagem e projeto do corpo do sensor</i> .....	60
5.2.2 <i>Modelagem e projeto do circuito eletrônico</i> .....	62
5.2.3 <i>Programação do microcontrolador PIC 18F2550</i> .....	68
5.3 Construção do equipamento para separação automática das fases glicerol-biodiesel .....	72
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	75
6.1 Montagem do sensor na mini usina de biodiesel .....	75
6.2 Medições com biodiesel e glicerol de óleo de soja refinado .....	78
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	81
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	83
<b>APÊNDICE A – CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR DE TRANSPORTES</b> .....	91

<b>APÊNDICE B – BIOCOMBUSTÍVEIS NO MUNDO .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE C – BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE D – HISTÓRICO DO BIODIESEL.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE E – BIODIESEL NO MUNDO .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE F – BIODIESEL NO BRASIL.....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE G – MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE H – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO BIODIESEL .....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE I – MANUAL PARA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO .....</b>	<b>135</b>

## PREÂMBULO

Este trabalho está inserido dentro das linhas de pesquisa do Núcleo de Planejamento Energético, Geração e Cogeração de Energia (NUPLEN) do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP).

O desenvolvimento deste sensor foi baseado no trabalho coordenado pelo Prof. Dr. Dilson Cardoso, do Departamento de Engenharia Química da UFSCar, com número de patente PI0705954-0 A2, publicado em 18 de Agosto de 2009, intitulado *Sensor de condutividade e método para controle do escoamento do biodiesel e de produtos em fase líquida de condutividades diversas* (CARDOSO et al., 2009); partindo da observação que a fase mais pesada, composta de glicerina bruta, é impregnada por excessos utilizados de álcool, de água e de catalisador, que apresenta propriedades iônicas. Com isso, a condutividade elétrica da fase glicerol é alta e maior do que na fase menos densa, constituída de uma mistura de ésteres alquílicos (biodiesel). Assim sendo, realizou-se a separação dessas fases automaticamente, através de um circuito eletrônico que controla o acionamento das válvulas e direciona o biodiesel e a glicerina para reservatórios específicos.

A necessidade deste trabalho surgiu-se ao tomar conhecimento através do Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos, de que o protótipo da planta de biodiesel, localizada no Campus da Unesp de Ilha Solteira, realiza o processo de separação por meio de um profissional que deve visualizar a interface entre o biodiesel e a glicerina no decantador e controlar de forma manual a abertura e fechamento de válvulas para a remoção inicial da fase rica em glicerol e depois do biodiesel, considerando a possibilidade de haver erros que podem aumentar a quantidade de impurezas no biodiesel, dificultando o processo de lavagem e comprometendo a qualidade do combustível produzido.

Segundo Cardoso et al. (2007), a identificação das fases no tanque de decantação é puramente subjetiva, através de visores de vidro ao longo da altura ou no fim da base cônica do decantador. No entanto, para processos produtivos em escala descontínua, realizados várias vezes com a finalidade de aumentar a produção diária do biodiesel, aumentam-se também a probabilidade de erros nas avaliações das fases pelo operador.

Este trabalho está organizado em sete capítulos, cujos conteúdos serão brevemente descritos a seguir.

O Capítulo 1 trata da introdução do trabalho, com informações para inserir o leitor no contexto do estudo.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, sobre a demanda energética mundial e no Brasil, a importância dos biocombustíveis na matriz de combustíveis líquidos e do uso do biodiesel.

O Capítulo 3 é composto dos principais conceitos inerentes às matérias-primas para produção de biodiesel e o processo de obtenção desse biocombustível por transesterificação.

No Capítulo 4 são apresentados todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento do sensor eletrônico para medida de condutividade elétrica, incluindo a teoria sobre sensores, condutividade elétrica, circuito divisor de tensão, dentre outros.

No Capítulo 5 é apresentada a metodologia de produção de biodiesel com a transesterificação alcalina, desenvolvimento do sensor de condutividade elétrica, a descrição dos materiais selecionados, incluindo a técnica de projeto envolvendo modelagem e os processos de fabricação de cada uma das partes; abordar-se-á também os componentes do projeto eletrônico e a construção da placa de circuito impresso. Ainda nesse capítulo, é apresentada a programação para o microcontrolador PIC 18F2550, realizada em linguagem C e a simulação computacional desse programa em conjunto com o circuito eletrônico, que possui comunicação USB.

O Capítulo 6 trata da calibração do sensor, sugestão de montagem do sensor na mini usina de biodiesel da UNESP de Ilha Solteira e dos testes realizados no processo produtivo com óleo de soja refinado.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho, com uma análise do uso do sensor de condutividade de baixo custo para plantas de biodiesel que utilizam decantadores e uma discussão das principais dificuldades encontradas no desenvolvimento deste, assim como são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização e o desenvolvimento tecnológico ocasionado pela Revolução Industrial, no século XVIII na Inglaterra expandiram-se pelo mundo a partir do século XIX. Concomitantemente com esse conjunto de mudanças tecnológicas e modernização no processo produtivo houve um aumento vertiginoso e desenfreado da poluição, causando profundos impactos ambientais.

No que concerne, às questões energéticas, há algumas décadas o mundo tem somado esforços em pesquisas para o uso de energias renováveis, ambientalmente corretas e economicamente viáveis.

O Brasil apresenta posição de destaque na tecnologia e produção de etanol e vem aumentando a capacidade industrial para a produção de biodiesel, que é utilizado em substituição parcial ou integral ao óleo diesel de petróleo, tanto em motores de combustão interna de ciclo diesel automotivo (ônibus, caminhões, tratores, etc.), quanto em geradores de energia elétrica. O uso do biodiesel reduz o consumo de combustíveis fósseis e apresenta uma série de benefícios associados à redução de gases do efeito estufa (dióxido de carbono) e outros poluentes atmosféricos como o dióxido de enxofre, causador de chuvas ácidas e doenças respiratórias.

O biodiesel é um combustível biodegradável e pode ser produzido a partir de diversas matérias-primas vegetais, como soja, mamona, palma, girassol, caroço de algodão, pinhão manso, dentre outros, bem como as de origem animal, obtidas do sebo bovino, suíno e de aves. Além disso, os óleos de fritura reciclados também podem ser utilizados como matéria-prima.

A estrutura molecular dos óleos e gorduras animais e vegetais é formada por três moléculas de ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerol, que os tornam conhecidos como triacilgliceróis. Para produzir biodiesel, o óleo é misturado com um álcool, geralmente metanol ou etanol, e depois estimulado por um catalisador, que é uma substância que acelera a reação química entre o óleo e o álcool, denominada transesterificação, que quebrará as ligações do glicerol com os ácidos graxos, resultando em uma massa reacional constituída de duas fases: glicerol e ésteres alquílicos, ou seja, biodiesel, que, dependendo da natureza do álcool usado, podem ser ésteres metílicos ou etílicos.

Em processos produtivos contínuos de grande escala são usadas as centrífugas para separar o biodiesel da glicerina; no entanto nos processos em menor escala, onde a produção é feita por batelada, o uso de centrífugas torna a produção inviável, devido ao custo elevado desses equipamentos. Assim sendo, a separação é realizada apenas pela ação da gravidade em decantadores, tornando o processo lento, pois se faz necessário um tempo para ocorrer a separação das fases biodiesel (menos densa) e glicerol (mais densa).

O presente trabalho foi elaborado com o objetivo de:

- Desenvolver um sensor de condutividade elétrica capaz de diferenciar o biodiesel do glicerol, que após o processo de decantação, poderão ser enviadas de forma automática para reservatórios distintos, onde o glicerol será purificado e usado para a produção de cosméticos, alimentos, medicamentos, produtos de limpeza e etc., enquanto o biodiesel ainda passará por processos de lavagem e secagem e/ou filtragem para atender às exigências de qualidade impostas por normas.
- O sensor deverá apresentar boa sensibilidade para distinguir o biodiesel do glicerol, baixo custo de produção, dimensões reduzidas e bom tempo de resposta.
- O processo de fabricação deverá ser tal que permita fácil industrialização.
- É desejável, ainda, que o sensor possa ser facilmente instalado nas plantas de biodiesel que utilizem decantadores para separar a mistura de biodiesel e glicerina.

Para a elaboração do sensor proposto neste trabalho, foi desenvolvido um aparato experimental composto por dois eletrodos metálicos, que ficam em contato com o fluido em análise, sendo os mesmos fixados em um suporte de material isolante. Nas outras extremidades das hastes, foram ligados dois fios condutores que enviam o sinal da condutividade entre as placas a um circuito eletrônico constituído por um microcontrolador, que tem gravado em sua memória um programa com a lógica para identificar o biodiesel e o glicerol e realizar os procedimentos definidos.

Este sensor se diferencia daquele desenvolvido por Cardoso (2009) por possuir um circuito eletrônico composto por um microcontrolador, capaz de executar

toda a lógica de controle para a separação do biodiesel e do glicerol e consta ainda de um *display* de LCD, para mostrar algumas informações durante o processo.

Após calibrar o sensor em uma faixa de sensibilidade, conforme condutividades elétricas esperadas, e, uma vez atingidos esses valores, o circuito eletrônico microcontrolado faz o acionamento das válvulas e mostra em um visor de LCD o fluido em contato com o sensor. Para complementar o trabalho, são realizados experimentos com o biodiesel e o glicerol inseridos em béqueres diferentes, para calibrar o sensor e verificar a variação da condutividade elétrica dos fluidos. Por fim, o sensor é testado com biodiesel e glicerol, produzidos com óleo vegetal refinado.

Esta pesquisa justifica-se pelo fato de que a separação das fases de glicerol e de biodiesel de forma manual é imprecisa, podendo ocorrer erros no controle das válvulas, prejudicando a etapa de purificação do biodiesel, aumentando os custos e reduzindo a qualidade do produto final.

## 2 CONTEXTO ENERGÉTICO

Será abordado nesse capítulo o contexto energético no mundo e no Brasil, a importância dos biocombustíveis nesse cenário e em específico o biodiesel.

### 2.1 Contexto energético mundial

Com o advento da industrialização e desenvolvimento tecnológico ocasionado pela Revolução Industrial, no século XVIII na Inglaterra, e que se expandiu pelo mundo a partir do século XIX, o mundo sofreu efetivamente um surto epidêmico de uso do petróleo, chegando ao consumo de milhões de barris diários, sendo que os impactos ambientais inerentes à extração e uso desse combustível se elevaram a níveis alarmantes. A Figura 1 representa as reservas mundiais de petróleo de acordo a Agência Nacional do Petróleo – ANP.

Figura 1 - Reservas mundiais de petróleo em milhões de barris.



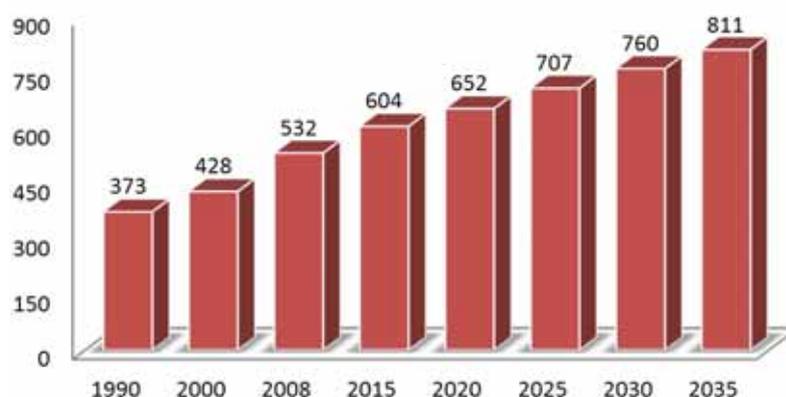
Fonte: ANP (2012).

De acordo com *International Energy Outlook – IEO* (2011), publicado pela Administração de Informações de Energia (*Energy Information Administration - EIA*) do Departamento de Energia dos Estados Unidos, o consumo de energia no mundo em 2008 foi de aproximadamente  $532 \cdot 10^{18} \text{J}$  e estima-se que em 2035 o consumo será de  $811 \cdot 10^{18} \text{J}$ , conforme ilustrado na Figura 2.

Os países em desenvolvimento, conduzidos pelo BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), serão responsáveis por cerca de 84 % desse aumento no consumo de energia, sendo que as fontes de combustíveis fósseis continuarão fornecendo grande parte da energia utilizada no mundo (EIA, 2010).

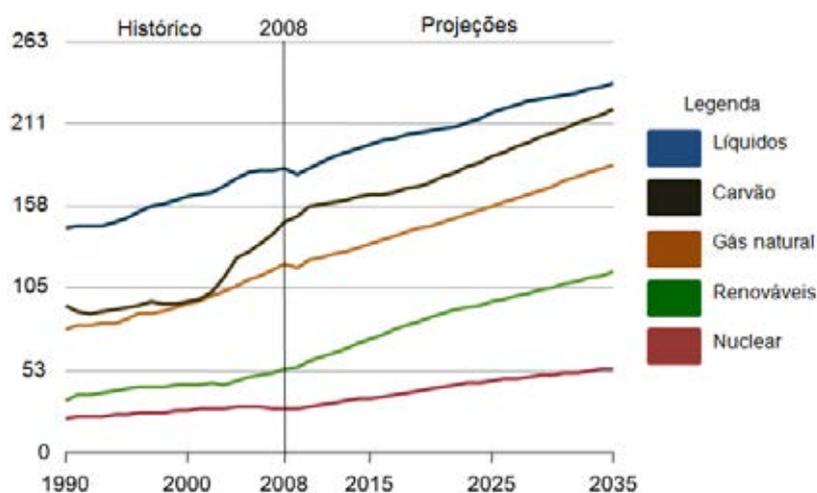
Por outro lado, a previsão do consumo das fontes renováveis para 2035 será superior a  $105 \cdot 10^{18} \text{J}$ , conforme mostrado na Figura 3.

Figura 2 - Consumo mundial de energia de 1990 a 2035 ( $10^{18} \text{J}$ ).



Fonte: Adaptado de EIA (2011).

Figura 3 - Energia consumida no mundo por tipo de energia ( $10^{18} \text{J}$ ).

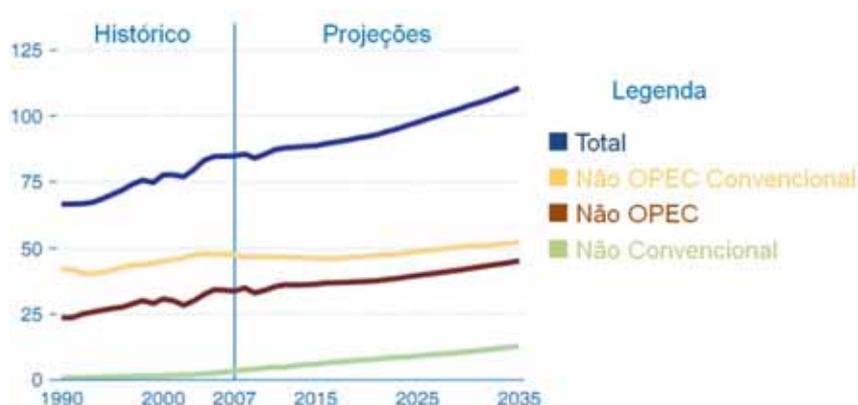


Fonte: Adaptado de EIA (2011).

De acordo com a Figura 3, estima-se que o uso de combustíveis líquidos pelo mundo será de 92,1 milhões de barris por dia em 2020; 103,9 milhões de barris por dia em 2030 e 110,6 milhões de barris por dia em 2035 (EIA, 2010).

Os recursos não convencionais, incluindo óleo de areia, óleo extra pesado, biocombustíveis, gás para líquidos e óleo de xisto, tanto da *Organization of the Petroleum Exporting Countries* (OPEC) quanto de outros países crescem em média 4,9 % ao ano para a projeção do distinto período. A produção mundial desses combustíveis líquidos não convencionais totalizou uma produção de 3,4 milhões de barris por dia em 2007 e aumentará para 12,9 milhões em 2035, o que representará cerca de 12 % dos combustíveis líquidos consumidos mundialmente, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Produção de combustíveis líquidos (milhões de barris por dia).



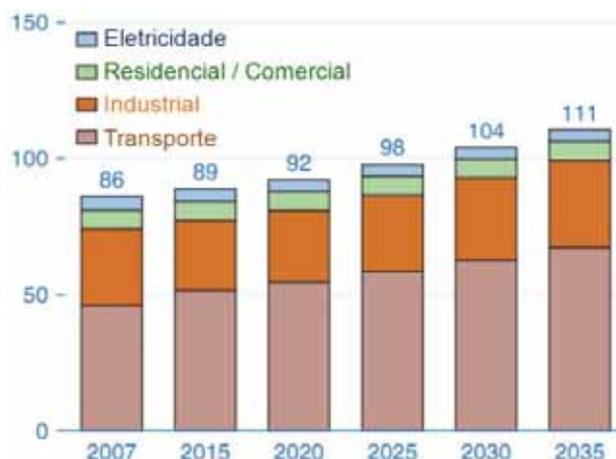
Fonte: Adaptado de EIA (2010).

Os combustíveis líquidos apresentam uma larga utilização, no setor de transporte, indústria e de consumo final. No setor de transporte, o consumo crescente passará de 1,3 % por ano de 2007 a 2035, ou de 45 % no total. Para acompanhar a crescente demanda mundial, a produção de combustíveis líquidos convencionais e não convencionais devem crescer num total de 25,8 milhões de barris por dia de 2007 a 2035. A OPEC incrementará a capacidade de produção para manter aproximadamente 40 % da produção de combustível em 2035, sendo que o volume de combustível convencional (óleo cru, gás natural e refinamento) por parte da OPEC contribuirá com 11,5 milhões de barris/dia e o suprimento de combustíveis não convencionais com cerca de 4,8 milhões de barris/dia (EIA, 2010).

O aumento dos preços para os combustíveis líquidos fez crescer a competitividade de outras fontes, levando muitos consumidores a mudarem para uma fonte de energia alternativa. Estima-se que em 2035 o setor de transporte será

responsável por 61 % do consumo dos combustíveis líquidos fornecidos mundialmente, conforme representado na Figura 5.

Figura 5 - Consumo de combustível líquido (milhões de barris/dia).



Fonte: Adaptado de EIA (2010).

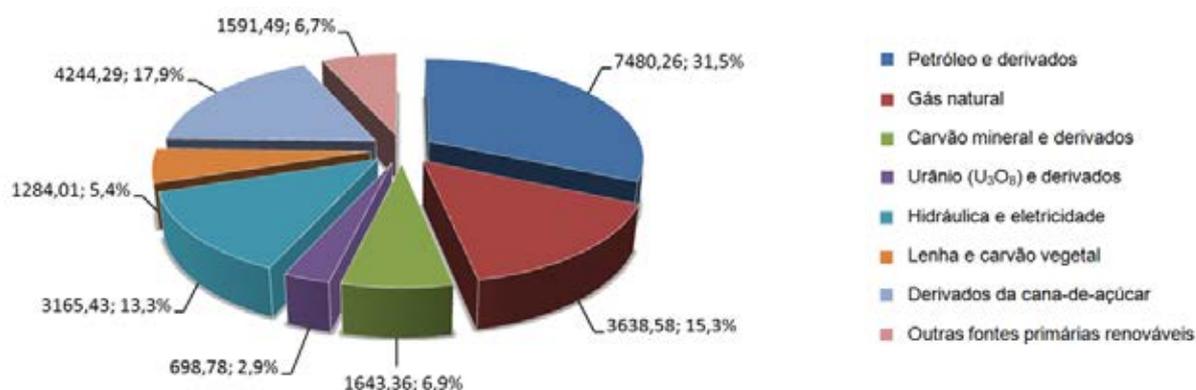
A energia usada no setor de transporte inclui a energia consumida para movimentação de pessoas e mercadorias por estradas, ferrovias, aérea, fluviais, além de transporte por tubulações. O setor de transporte está atrás do setor industrial somente em termos da utilização total de energia consumida, pois quase 30 % da energia entregue para consumo mundial é usado para transporte, sendo a maior parte na forma de combustíveis líquidos. A participação deste setor aumentará de 53 % em 2007 para 61 % em 2035 e contribuirá com 87 % do total do consumo de combustível líquido no mundo (EIA, 2010).

## 2.2 Contexto energético brasileiro

A oferta de energia no Brasil se alterou radicalmente a partir de 1970, acompanhando a transformação da demanda. Em 1940, em uma sociedade eminentemente rural, a lenha fornecia mais de 75 % da energia primária utilizada no país, contra uma contribuição de apenas 9 % do petróleo, 7 % do carvão mineral e 7 % da hidroeleticidade. Na década de 1970, a lenha ainda dominava, com cerca de 46 % do consumo total, mas cedeu espaço rapidamente para o consumo de derivados de petróleo, que, no mesmo ano, chegou a 34,3 % de participação de

acordo com PEN 2030, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A Figura 6 representa uma estimativa da oferta interna de energia para 2030.

Figura 6 - Oferta Interna de Energia - 2030 ( $10^{15}$  J).

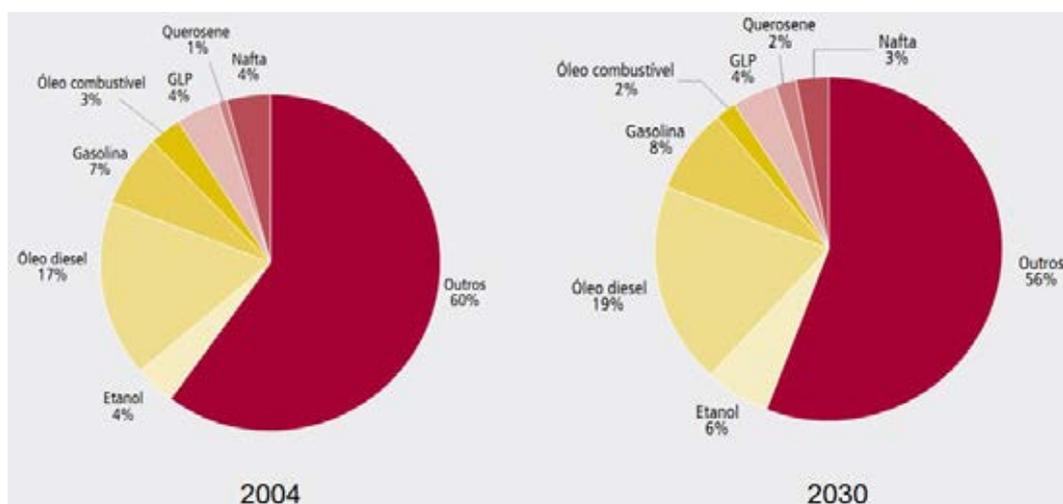


Fonte: Adaptado de EPE (2007).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2010-2019), publicado pela EPE, em 2010 o consumo energético no Brasil foi de  $9,55 \cdot 10^{18}$  J e prevê um aumento para  $15,31 \cdot 10^{18}$  J em 2019, o que corresponde a uma taxa anual média de crescimento de 5,4 %, com um investimento requerido para suprir a demanda energética da ordem de R\$ 952 bilhões.

Os combustíveis líquidos representaram cerca de 40 % da demanda final de energia em 2004, conforme apresentado na Figura 7. Até 2030, sua participação deverá aumentar, mas não muito significativamente.

Figura 7 - Combustíveis líquidos na demanda final de energia.



Fonte: Adaptado de EPE (2007).

A participação de combustíveis líquidos no consumo final de energia é especialmente importante, em volume, nos setores de transporte e agropecuário. Na Tabela 1, é apresentada a evolução do consumo de combustíveis líquidos nos diversos setores. Observa-se, além do aumento do consumo total em todos os setores, a manutenção da predominância do consumo de combustíveis líquidos no setor de transportes.

Tabela 1 - Demanda de combustíveis líquidos por setor ( $10^{15}$  J).

<b>Setor</b>	<b>2004</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Industrial	232,03	241,83	282,86	335,11	412,94	468,75
Comercial	22,11	21,90	26,13	30,86	42,75	51,29
Público	26,67	26,59	31,78	37,72	53,47	65,15
Transportes	2091,43	2238,01	2637,01	3238,07	4526,68	5553,16
Agropecuário	199,58	210,72	273,02	362,24	512,92	628,02
Residencial	244,55	246,18	262,51	346,16	439,95	477,55
<b>Total</b>	<b>2816,37</b>	<b>2985,23</b>	<b>3513,31</b>	<b>4350,16</b>	<b>5988,71</b>	<b>7243,92</b>

Fonte: EPE (2007).

O setor de transportes representou em torno de 74 % do consumo de combustíveis líquidos no Brasil em 2004, e tal quadro não deverá se reverter até 2030. A tendência é que, em 2030, aproximadamente 77 % da demanda total de combustíveis líquidos se destinem ao setor de transportes. Por outro lado, a participação do setor agropecuário na demanda final de energia deverá aumentar de 7 %, em 2004, para 9 %, em 2030.

O consumo de energia no setor de transportes, em específico de combustíveis líquidos pela frota nacional, pode ser analisado no Apêndice A.

### 2.3 Biocombustíveis

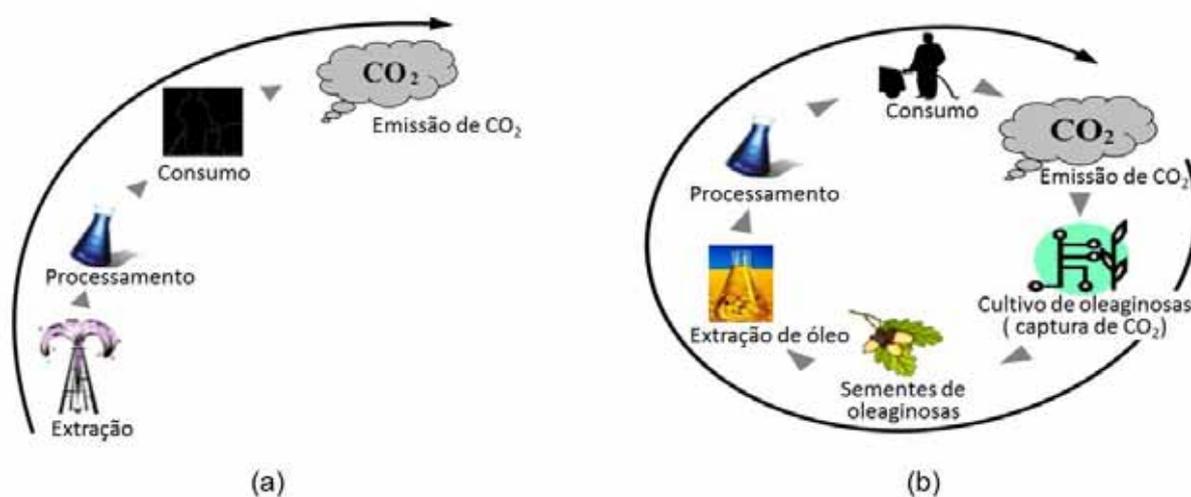
Os biocombustíveis são fontes de energias renováveis, derivados de produtos agrícolas como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica.

O uso de biocombustíveis possibilita o fechamento do ciclo de carbono ( $\text{CO}_2$ ), cooperando com a estabilização da concentração desse gás na atmosfera, o que

possibilita uma redução dos efeitos do aquecimento global. A participação dos biocombustíveis no cenário mundial pode ser observada no Apêndice B.

Na Figura 8-a é representado o ciclo de utilização de combustíveis fósseis, na qual na queima de combustíveis derivados de petróleo, o CO<sub>2</sub> liberado vai para a atmosfera e contribui para o efeito estufa. Na Figura 8-b, pode ser observado o ciclo de uso de combustíveis de biomassa, na queima o CO<sub>2</sub> liberado é parte daquele que foi capturado da atmosfera no processo de fotossíntese.

Figura 8 - Ciclo de combustíveis: a) Fósseis; b) Renováveis.



Fonte: Tolmasquim (2006).

A emissão mundial de CO<sub>2</sub> em 2007 foi de 29,7 bilhões de toneladas, com uma projeção de 42,4 bilhões de toneladas para 2035, devido principalmente à previsão do forte crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) ao longo desse tempo, pelas economias emergentes, que impulsionará, por conseguinte a um aumento na demanda de energia (EIA, 2010).

Estima-se que desde 1970 até 2007 tenham sido evitadas no Brasil emissões da ordem de 800 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, devido à utilização do etanol combustível (MME, 2012). Apenas em 2009, de acordo com estimativas da EPE, foi evitada a emissão de 48 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Dessa forma, no ciclo completo, a emissão de CO<sub>2</sub> pelo etanol é 89 % menor que a da gasolina, sendo que o etanol consumido nos motores possibilita evitar a emissão de 130 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, o equivalente à absorção de uma floresta adulta de 915 milhões de árvores.

A evolução dos biocombustíveis no Brasil, assim como o reflexo dessa produção e utilização a política energética nacional, pode ser obtida no Apêndice C.

O biodiesel também reduz de forma drástica a emissão de gases poluentes contribuindo em benefícios imediatos, principalmente nos grandes centros urbanos. Vários estudos científicos realizados pela União Europeia indicam que o uso de 1 kg de biodiesel colabora para a redução de 3 kg de CO<sub>2</sub> (EBB, 2012).

## 2.4 Biodiesel

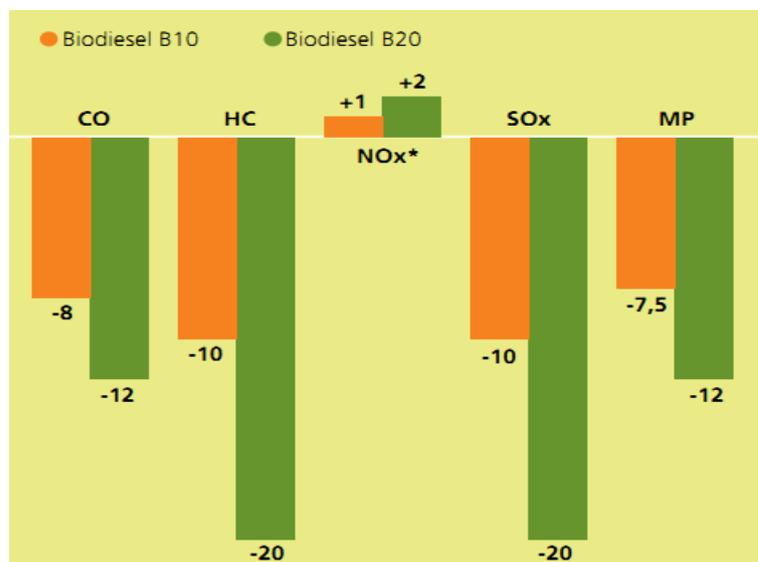
A lei N° 11.097 datada de 13 de janeiro de 2005 definiu o biodiesel como sendo um “biocombustível derivado de biomassa para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (PLANALTO, 2005).

O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel fóssil em motores ciclo diesel automotivo (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis etc.) ou estacionário (geradores de eletricidade, calor etc.), em diversas proporções. A mistura de uma porcentagem de biodiesel ao diesel mineral é representada por BX, em que X indica o teor do biocombustível, sendo o B5 correspondente a uma mistura de 5 % de biodiesel ao diesel e, assim, sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100 (FGV PROJETOS, 2010).

Por substituir o óleo diesel que vem do petróleo, o biodiesel tem sido um grande vetor de redução das emissões de diversos poluentes (monóxido de carbono, enxofre, etc.) e no combate ao efeito estufa. A Figura 9 representa a contribuição do biodiesel à redução de emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e materiais particulados (MP) em porcentagem de biodiesel, comparadas ao diesel fóssil.

A importância do biodiesel vem crescendo nos últimos anos em diversas partes do mundo, em países como a Alemanha, o Brasil, os Estados Unidos, a Malásia, a Argentina, a França e a Itália (MDA – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2011). O contexto histórico do biodiesel, a evolução de produção de biodiesel no mundo e no Brasil podem ser observados, respectivamente, nos Apêndices D, E e F.

Figura 9 - Emissões médias (%) de biodiesel comparado ao diesel fóssil.



Fonte: FGV Projetos (2010).

Dentre as várias vantagens de utilização do biodiesel, destacam-se:

- É energia renovável;
- Alto potencial de geração de empregos e renda, sobretudo no campo;
- Menos poluente que o diesel, proporcionando importante ganho ambiental;
- Possibilita a utilização de créditos de carbono;
- É um ótimo lubrificante para motores;
- Seu risco de explosão é baixo, o que facilita questões relacionadas a transporte e armazenamento.

Apesar do custo do biodiesel não ser competitivo com o óleo diesel mineral, há contínuo avanço das tecnologias para a sua produção.

### 3 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Em linhas gerais, o procedimento de conversão de óleos em biodiesel pode utilizar os processos de transesterificação ou craqueamento. A transesterificação é o processo mais comumente usado e consiste em utilizar catalisadores alcalinos, ácidos ou enzimáticos para acelerar a reação química entre o óleo e o álcool, que quebrará as ligações do glicerol com os ácidos graxos, resultando em uma massa reacional constituída de duas fases: glicerol e ésteres alquílicos, ou seja, biodiesel, que, dependendo da natureza do álcool usado, podem ser ésteres metílicos ou etílicos.

Serão abordados os seguintes assuntos nesse capítulo: matérias-primas para a produção de biodiesel, produção de biodiesel, propriedades físicas e químicas do biodiesel e os trabalhos relacionados à produção de biodiesel por transesterificação.

#### 3.1 Matérias-primas para produção de biodiesel

O Brasil possui uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. Destacam-se entre elas, as oleaginosas como: algodão, amendoim, dendê, girassol, mamona, pinhão manso e soja (SEBRAE, 2011). A Tabela 2 representa a relação das espécies vegetais, produtividade e rendimento de acordo com as regiões produtoras.

Tabela 2 - Características de algumas culturas oleaginosas.

<b>Espécie</b>	<b>Produtividade (ton/ha)</b>	<b>Porcentagem de óleo</b>	<b>Ciclo de vida</b>	<b>Regiões produtoras</b>	<b>Rendimento (ton óleo/ha)</b>
Algodão	0,85 a 1,4	15	Anual	MT, GO, MS, BA, MA	0,1 a 0,2
Amendoim	1,5 a 2	40 a 43	Anual	SP	0,6 a 0,8
Dendê	15 a 25	20	Perene	BA, PA	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	28 a 48	Anual	GO, MS, SP, RS, PR	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	Anual	Nordeste	0,5 a 0,9
Pinhão manso	2 a 12	50 a 52	Perene	Nordeste e MG	1 a 6
Soja	2 a 3	17	Anual	MT, PR, RS, SP, GO, MS, MG	0,2 a 0,4

Fonte: SEBRAE (2011).

O Brasil dispõe de uma grande diversidade de espécies vegetais oleaginosas das quais se podem extrair óleos para fins energéticos. Algumas destas espécies são de ocorrência nativa (buriti, babaçu, mamona, etc.), outras são de cultivo de ciclo curto (soja, amendoim, etc.) e outras ainda de ciclo longo ou perene (dendê) (INFOENER, 2012). A Figura 10 permite a visualização das regiões brasileiras com suas principais matérias-primas.

Figura 10 - Potencialidade brasileira para produção de oleaginosas.



Fonte: SEBRAE (2011).

Os óleos extraídos são substâncias insolúveis em água (hidrofóbicas), que na temperatura de 20° C exibem aspecto líquido, que distinguem das gorduras por apresentar um aspecto sólido à temperatura de 20° C.

Os óleos e gorduras de animais possuem estruturas químicas semelhantes as dos óleos vegetais, sendo moléculas triglicéridicas de ácidos graxos. As diferenças

estão nos tipos e distribuições dos ácidos graxos combinados com o glicerol (PARENTE, 2003).

Os ácidos graxos predominantes em óleos e gorduras são:

- Óleo de Soja: Ácido Oleico;
- Óleo de Babaçu: Ácido Laurídico;
- Sebo Bovino: Ácido Esteárico.

Portanto, as gorduras de animais, pelas suas estruturas químicas semelhantes as dos óleos vegetais fixos, também podem ser transformadas em biodiesel (PARENTE, 2003).

Constituem-se exemplos de gorduras de animais, possíveis de serem transformados em biodiesel, o sebo bovino, os óleos de peixes, o óleo de mocotó, a banha de porco, entre outras matérias graxas de origem animal (PARENTE, 2003).

Além dos óleos vegetais e gorduras animais, constituem também matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos e gorduras residuais, resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais.

Segundo Parente (2003), as possíveis fontes dos óleos e gorduras residuais são:

- As lanchonetes e as cozinha industriais, comerciais e domésticas, onde são praticadas as frituras de alimentos;
- As indústrias nas quais processam frituras de produtos alimentícios, como amêndoas, tubérculos, salgadinhos e várias outras modalidades de petiscos;
- Os esgotos municipais onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, que torna possível a extração de óleos e gorduras;
- Águas residuais de processos de certas indústrias alimentícias, como as indústrias de pescados, de couro, etc.

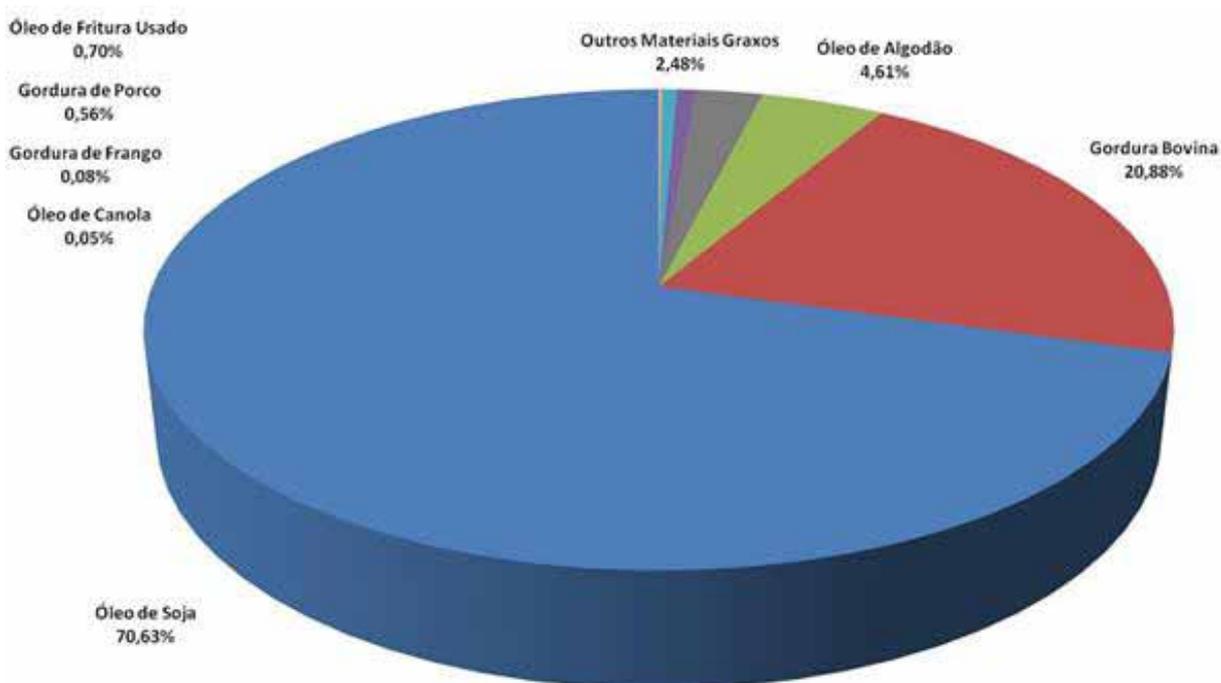
Os óleos de frituras representam um potencial de oferta surpreendente, superando as mais otimistas expectativas. Tais óleos têm origem em determinadas indústrias de produção de alimentos, nos restaurantes e lanchonetes (PARENTE, 2003).

Todos os dias esses resíduos são descartados de forma errônea em pias, o que pode causar, além do entupimento dos encanamentos e filtros das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), o encarecimento do tratamento e poluição de rios.

O consumo de alimentos fritos e pré-fritos tende a aumentar, influenciado por razões sociais, econômicas e técnicas, pois cada vez mais as pessoas dispõem de menos tempo para preparação de seus alimentos e, assim, o processo de fritura fornece uma alternativa de sua preparação rápida ao mesmo tempo conferindo aos alimentos fritos características organolépticas agradáveis (DOBARGANES; PÉREZ-CAMINO, 1999 citado por DIB, 2010).

A Figura 11 apresenta a participação das matérias-primas na produção do biodiesel. Em novembro de 2012, cerca de 70,63 % da matéria-prima utilizada foi o óleo de soja; 20,88 % gordura bovina; 4,61 % óleo de algodão e 2,48 % para outras matérias-primas (ANP, 2012).

Figura 11 - Participação das matérias-primas na produção de biodiesel.



Fonte: ANP (2012).

Apesar da enorme variedade de oleaginosas existentes no Brasil para a produção de biodiesel, a soja sempre liderou a produção por ser uma cadeia produtiva bem estruturada. Informações adicionais relativas às matérias-primas e a evolução dessas na produção de biodiesel, pode ser obtida no Apêndice G.

### 3.2 Produção de biodiesel por transesterificação

O uso direto de óleos vegetais ou mistura de óleos vegetais com diesel é impraticável, principalmente pelo fato dos mesmos apresentarem alta viscosidade e altos índices de ácidos graxos livres (FERRARI et al., 2005; CAMARGOS, 2005, citado por QUESSADA, 2008), que apresentam com a combustão incompleta, formação de depósitos de carbono nos sistemas de injeção e formação de acroleína, substância altamente tóxica e cancerígena, resultante da decomposição térmica do glicerol (TORRES, 2007, citado por QUESSADA, 2008).

Vários métodos têm sido investigados para reduzir a alta viscosidade de óleos vegetais e, assim, permitir o seu uso em motores diesel sem problemas operacionais (KNOTHE; GERPEN; KRAHL, 2006). Existem duas tecnologias que podem ser aplicadas para a obtenção de biodiesel a partir de óleos vegetais (puros ou de fritura) e sebo animal: a tecnologia de craqueamento e a tecnologia de transesterificação (SEBRAE, 2011).

O craqueamento térmico ou pirólise é a conversão de uma substância em outra por meio do uso de calor, isto é, pelo aquecimento da substância na ausência de oxigênio a temperaturas que podem chegar a 450 °C, a fim de provocar a quebra de moléculas. Dessa forma, há um gasto muito alto com energia térmica e, em algumas situações, esse processo é auxiliado por catalisadores, geralmente o óxido de silício e o óxido de alumínio, para quebrar as ligações químicas, de modo a gerar moléculas menores. O equipamento para craqueamento térmico é caro, mas os produtos são similares quimicamente ao óleo diesel. A remoção de oxigênio reduz os benefícios de ser um combustível oxigenado, diminuindo seus ganhos ambientais e, geralmente, produzindo um combustível mais próximo da gasolina que do diesel (CADERNO 55, 2007).

A transesterificação, também conhecida como alcoólise, provoca a diminuição da viscosidade do óleo vegetal, assim como melhora o desempenho do mesmo em motores movidos a diesel. O biodiesel é obtido através de reações de transesterificação entre o óleo vegetal e um álcool de cadeia curta na presença do catalisador (FUKUDA et al., 2001, citado por QUESSADA, 2008).

Em outras palavras, a transesterificação nada mais é do que a separação da glicerina do óleo vegetal, pois cerca de 20 % de uma molécula de óleo vegetal é formada por glicerol, que torna o óleo mais denso e viscoso. Durante o processo de

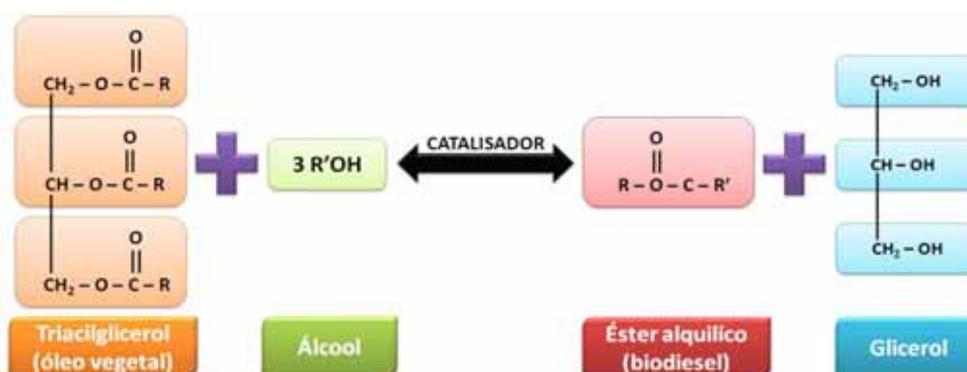
transesterificação, o glicerol é removido do óleo vegetal, deixando o óleo mais fino e reduzindo a viscosidade (BIODIESELBR, 2011).

A Figura 53 apresenta o esquema geral da reação de transesterificação, onde R é um radical orgânico relativo à cadeia de ácidos graxos. O álcool usado para a produção de biodiesel é usualmente o metanol ( $R' = \text{CH}_3$ ), todavia também pode ser usado o etanol ( $R' = \text{C}_2\text{H}_5$ ).

Conforme mostrado na Figura 12, o óleo sob a ação de um catalisador básico e na presença de um álcool sofre uma reação formando três moléculas de ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos graxos que constituem o biodiesel em sua essência e libera uma molécula de glicerol.

Os principais componentes dos óleos vegetais e gordura animal são os triacilgliceróis, muitas vezes chamados de triglicerídeos. Quimicamente, os triglicerídeos são ésteres de ácidos graxos com glicerol, também conhecido como glicerina (KNOTHE; GERPEN; KRAHL, 2006).

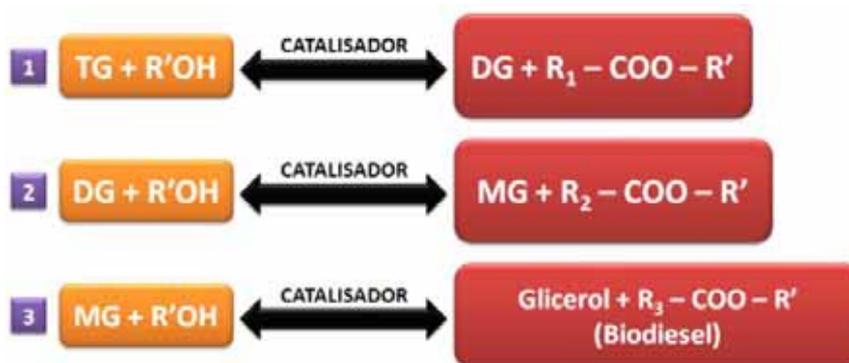
Figura 12 - Esquema geral da reação de transesterificação.



Fonte: Adaptado de Knothe, Gerpen e Krahl (2006).

Quessada (2008) observa que a transesterificação com um álcool consiste em um número de reações consecutivas e reversíveis. Primeiramente, 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 alquílico para cada etapa anterior, conforme representado na Figura 13.

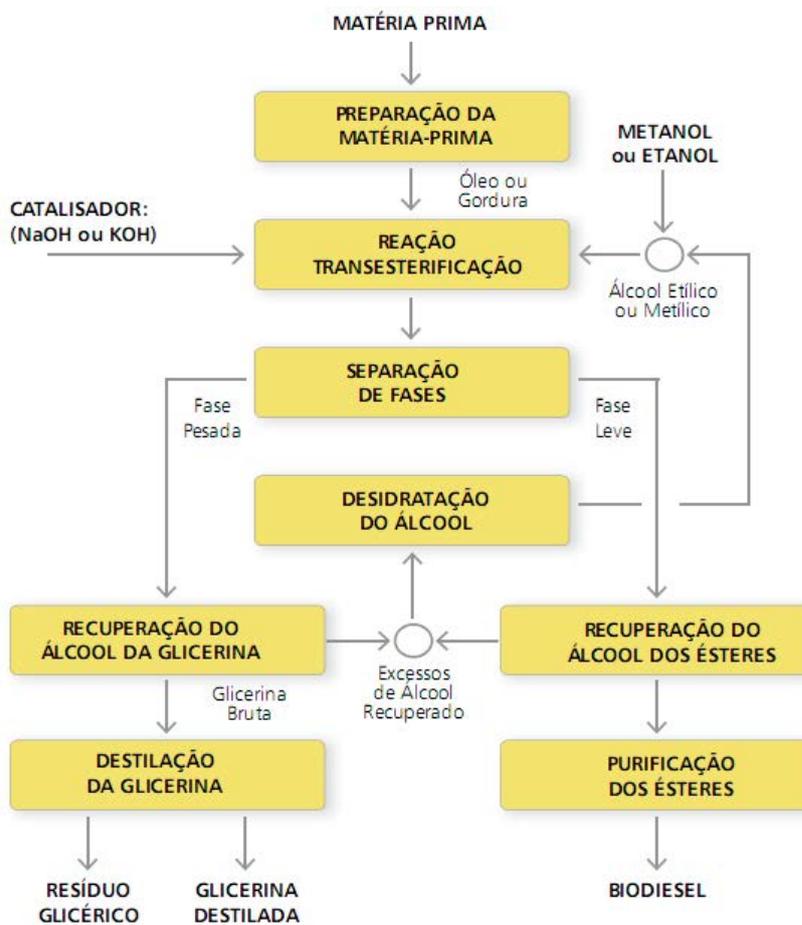
Figura 13 - Conversão de triglicerídeos e formação de glicerol e biodiesel.



Fonte: Adaptado de Camargos (2005) citado por Quessada (2008).

O processo de produção de biodiesel por transesterificação, partindo de uma matéria graxa qualquer, envolve as etapas operacionais mostradas no fluxograma exposto na Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma do processo de produção de biodiesel.



Fonte: Parente (2006) citado por SEBRAE (2011).

Dentre os insumos disponíveis estendem-se materiais de origem vegetal, como os óleos tradicionais de soja, algodão e girassol, aos exóticos, como os óleos de babaçu, pinhão manso e macaúba, passando por gorduras de origem animal, produzidas em abates de bovinos, suínos e aves e, por fim, os óleos usados em frituras e resíduos oriundos de processos industriais (KHALIL, 2006).

As variáveis mais importantes que afetam a produção do biodiesel por transesterificação incluem: temperatura de reação, taxa molar, tipo de catalisador, tempo de reação, presença de umidade e teor de ácidos graxos livres (AGARWAL, 2007, citado por MACHADO, 2008).

Segundo Parente (2003) as etapas de produção de biodiesel, apresentadas no fluxograma da Figura 14, podem ser explicadas como se segue.

Os procedimentos referentes 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. Para tanto, é importante que a matéria-prima tenha o mínimo de umidade e de acidez, o que é possível submetendo-a a um processo de neutralização, por meio de uma lavagem com uma solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) ou de potássio (KOH), seguida de uma operação de secagem ou desumidificação. Essas especificações de tratamento dependem da natureza e das condições da matéria graxa empregada como matéria-prima.

A quantidade de catalisador é uma importante variável na fabricação do biodiesel. A quantidade mínima recomendada no processo é de 4 gramas de hidróxido de sódio para cada litro de óleo da matéria-prima, o catalisador adicional se determina mediante a titulação do óleo (BIOCOM BIOCOMBUSTÍVEIS, 2008).

A fenolftaleína é usada para mostrar uma mudança no pH do óleo, quando o pH é neutro, a fenolftaleína é incolor, caso o pH se torne básico (à medida que se adiciona hidróxido de sódio), a cor muda para rosa claro. Com esta solução, pode-se determinar quanto catalisador falta para que o óleo passe de ácido para ligeiramente básico.

De acordo com a empresa Biocom Biocombustíveis (2008), para titulação, prepara-se uma solução de hidróxido de sódio a 1/1000 em água destilada. Isso se faz dissolvendo 1 grama de hidróxido de sódio em 1 litro de água destilada.

Em seguida, em um recipiente transparente, mistura-se 1 ml de óleo da matéria-prima, com 9 ml de álcool isopropílico. Agita-se essa mistura até obter uma

mistura homogênea com o óleo vegetal dissolvido no álcool. A esta solução (óleo + álcool isopropílico) adicionam-se 10 gotas da solução de fenolftaleína a 1 % em álcool etílico, agitando até virar uma mistura homogênea.

Se o resultado for uma cor rosa claro e se esta cor permanecer por mais de 10 segundos após a agitação, a titulação está terminada. Tal mudança de cor indica que a amostra de óleo/álcool isopropílico não está ácida, e tem um pH ligeiramente acima de 7.

Se a solução óleo/álcool isopropílico/fenolftaleína não mudar de cor, continua-se com a titulação, na qual se devem adicionar as quantidades de hidróxido de sódio/água destilada até que se observe o tom rosa claro por mais de 10 segundos. Ao final do processo, são somadas estas quantidades, sendo que cada ml adicional é equivalente a 1 grama de hidróxido de sódio por litro de óleo da matéria-prima que deverá ser adicionada, além da quantidade mínima de catalisador, para obter um processamento correto do óleo que foi titulado.

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

De acordo com Gerpen et al. (2004), para a realização do processo de transesterificação alcalina é necessário adicionar uma quantidade, em volume, de metanol igual a 20 % do volume de matéria-prima não transesterificada. Em seguida deve-se misturar a solução de NaOH em álcool com a matéria-prima que se encontra entre 60 e 65 °C; posteriormente a mistura deve ser agitada por aproximadamente 1 hora.

Em processos de larga escala, essa reação é realizada em um reator provido de camisa de circulação de água aquecida e com agitação mecânica. O sistema permanece a 50 °C e, então se adiciona o óleo neutro. Quando o sistema atinge 45 °C, são adicionados à solução de metanol ou etanol o catalisador (NaOH ou KOH), estabelecendo-se este momento como sendo o tempo zero da reação. Também são comumente empregados outros compostos de caráter alcalino, tais como os metóxidos ou etóxidos de sódio e potássio (KHALIL, 2006).

A Figura 15 representa a reação de conversão, quando se utiliza o metanol como agente de transesterificação, obtendo-se, portanto, como produtos os ésteres, que constituem o biodiesel e o glicerol.

Figura 15 - Processo de produção de biodiesel com rota metílica.



Fonte: PNPB (2011).

Uma polêmica permanente entre os especialistas em biodiesel durante a defesa das rotas tecnológicas metílicas e etílicas é a questão da relação consumo de álcool x rendimento em biodiesel.

Uma situação onde o etanol é empregado pode ser vista na Figura 16.

Figura 16 - Processo de produção de biodiesel por rota etílica.



Fonte: PNPB (2011).

A Tabela 3 apresenta as características mais importantes relativas à produção de ésteres, segundo as rotas com metanol e etanol.

Após a reação de transesterificação que converte a matéria graxa em ésteres (biodiesel), a massa reacional final é constituída de duas fases, separáveis por decantação ou por centrifugação.

A fase mais pesada é composta de glicerina bruta (glicerol), 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.

Tabela 3 - Características das rotas de processo com o metanol e o etanol.

<b>Características</b>	<b>Metanol</b>	<b>Etanol</b>
Origem	Petroquímica	Cana-de-açúcar
Oferta	Importado	Produto Nacional
Fonte	Não renovável	Renovável
Volatilidade	Alta	Moderada
Chama	Invisível	Visível
Toxicidade	Elevada	Moderada
Custo	R\$ 700/ ton	R\$ 950/ ton
Cetano do Éster	53	64
Tempo de Reação	45 min	90 min
Investimentos	Baixo	Alto
Temperatura de Reação	60 °C	80 °C

Fonte: Adaptado de PNPB (2011).

De acordo com Knothe, Gerpen e Krahl (2006), mesmo após a reação de transesterificação virtualmente completa, pequenas quantidades de tri, di e monoacilgliceróis permanecem no produto final, reduzindo a qualidade do biodiesel produzido.

A separação de fases é uma etapa importante da produção de biodiesel. O processo de refino dos produtos decorrentes da sua produção pode ser tecnicamente difícil e pode elevar substancialmente os custos de produção. A pureza do biodiesel deve ser alta e de acordo com certas especificações. De acordo com a especificação da União Europeia, por exemplo, o teor de ácidos graxos livres, álcool, glicerina e água devem ser mínimos, de modo que a pureza do biodiesel seja superior a 96,5 % (BIODIESELBR, 2011).

Para realizar a recuperação do álcool do glicerol, a fase pesada, contendo água e álcool, é submetida a um processo de evaporação, eliminando da glicerina bruta esses constituintes voláteis, cujos vapores são liqüefeitos num condensador apropriado.

A etapa de recuperação do álcool dos ésteres é realizada da mesma forma, mas separadamente, o álcool residual é recuperado da fase mais leve, liberando para as etapas seguintes os ésteres metílicos ou etílicos.

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

No caso da desidratação do metanol, a destilação é bastante simples e fácil de ser conduzida, uma vez que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande e, ademais, inexistente o fenômeno da azeotropia, ou seja, quando a mistura de duas ou mais substâncias a uma certa composição possuem um ponto de ebulição constante e fixo, como se fosse uma substância pura, não podem ser separadas por processo de destilação simples.

Diferentemente, a desidratação do etanol, complica em razão da azeotropia, associada à volatilidade relativa não tão acentuada como é o caso da separação da mistura metanol-água.

Para realizar a purificação dos ésteres, estes devem ser lavados por centrifugação ou filtrado com resina de troca iônica 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, conforme apresentadas no Apêndice H.

Por fim, é realizada a destilação do glicerol, pois o glicerol emergente do processo de produção de biodiesel possui muitas impurezas. Para o mercado é favorável a comercialização do glicerol purificado, devendo para tanto ser feita uma destilação à vácuo, resultando um produto límpido e transparente, denominado comercialmente de glicerina destilada, que possui várias aplicações, principalmente na indústria química. Os mercados que mais crescem com seu consumo são o de uso pessoal, higiene dental, de alimentos e bebidas, que juntos respondem por cerca de 64 % das aplicações dessa glicerina.

A glicerina pode ainda ser usada como um dos principais ingredientes na indústria farmacêutica na composição de cápsulas, analgésicos, xaropes, etc. Outros mercados importantes são: cosméticos, têxteis, lubrificante de máquinas de processos alimentícios, fabricação de tintas e resinas, fabricação de dinamite, etc (CADERNOS NAE, 2004).

### 3.3 Trabalhos relacionados à produção de biodiesel

Além de algumas importantes publicações, como Van Gerpen et al. (2004) e Knothe, Van Gerpen e Krahl (2006), diversas outras contribuíram para o desenvolvimento desse estudo, sendo que a seguir serão apresentadas resumidamente algumas delas.

Costa Neto (2002) estudou a transformação do óleo de soja refinado, degomado e oxidado termicamente (usado em frituras e aquecido em laboratório), em ésteres alquílicos, biodiesel, através da reação de transesterificação enzimática usando lipases comerciais e alcoóis de cadeias curtas, metanol e etanol hidratado. Foi feita a caracterização física e química dos óleos utilizados e verificada a eficiência do biocatalizador nas reações de transesterificação dos óleos, entre outros parâmetros. Por fim, as características dos ésteres obtidos por via enzimática foram comparadas com as dos mesmos obtidos por via química.

Nascimento et al. (2006) apresentaram informações sobre a construção e montagem de uma mini usina de biodiesel de baixo custo e de fácil operação, capaz de produzir 200 litros de biodiesel por batelada pelo processo de transesterificação usando qualquer tipo de óleo vegetal ou animal com metanol ou etanol, para aplicação na zona rural do estado do Maranhão. A unidade é constituída por quatro tanques, sendo um reator para a preparação do catalisador, um reator principal com aquecimento e agitação por reciclo, um tanque de decantação e lavagem com reaquecimento e sistema de lavagem por borbulhamento e um tanque para recepção do álcool destilado sob pressão reduzida. Todos os tanques foram construídos com tecnologia do Núcleo de Biodiesel da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). A planta foi montada com custo médio de R\$ 50.000,00, equivalente a 10 % do investimento mínimo a ser feito na menor planta disponível no mercado na época. A planta passou por uma fase inicial de testes, habilitando-a para a realização de processos de produção de biodiesel a partir de vários óleos vegetais que já vinham sendo utilizados em escala laboratorial.

Morandim et al. (2008) fizeram um estudo comparativo da produção de biodiesel proveniente de óleo de fritura e óleo de soja, utilizando metanol e catálise básica. Para isso, primeiramente foi determinado o melhor catalisador, o etóxido de sódio em ambos os casos, numa concentração de 0,8 % no caso do óleo de fritura e de 1 % no caso do óleo de soja. Escolhido o catalisador, foram determinadas as

melhores relações molares óleo:álcool (1:7 para o óleo de fritura e 1:8 para o de soja), a melhor temperatura (50 °C para o óleo de fritura e 60 °C para o óleo de soja) e o tempo de reação ideal (25 min para o óleo de fritura e 45 min para o óleo de soja), o que possibilitou um rendimento de 80 % no primeiro caso e de 94 % no segundo caso. Cabe salientar que o biodiesel obtido foi caracterizado através de análises físico-químicas (densidade, viscosidade, corrosão ao cobre, índice de acidez, glicerina total e pressão de vapor), estando todos os valores dentro dos limites ideais, e que a porcentagem de conversão foi determinada via Cromatografia Gasosa (CG) e via titulação de óxido redução.

Cardoso *et al.* (2009) descreveram o desenvolvimento de um sensor de condutividade e um método para controle do escoamento do biodiesel e de produtos em fase líquida de condutividades diversas, tal com o biodiesel e a glicerina, mas sem estar limitado a estes. O referido sensor é constituído por um sistema metálico fixado a um suporte de material não condutor, dito sistema metálico conectado mediante fios condutores a um circuito controlador. O controlador possibilita abrir/fechar uma ou mais válvulas no momento da separação entre a fase de alta condutividade e a fase de baixa condutividade. O trabalho provê igualmente um sensor de condutividade para ser utilizado em processos descontínuos, semi-contínuos e contínuos.

Dib (2010) apresentou análises técnicas de produção laboratorial do biodiesel a partir do óleo residual reciclado e óleo de soja degomado, utilizando metanol e etanol, bem como hidróxido de sódio como catalisador. Foi realizada também a produção em uma escala semi-piloto, com a utilização de um reator capaz de produzir entre 75 e 80 litros de biodiesel por batelada, sendo neste caso utilizado apenas óleo residual reciclado e processo de transesterificação através da rota metílica e o hidróxido de sódio como catalisador. Por conseguinte, foram realizadas a caracterização básica do biodiesel produzido e os testes comparativos com outros tipos de biodiesel (Comercial, Vegetal e Animal) em frações de misturas (B25, B50, B75 e B100), tendo como base o biodiesel comercial (B5), com um moto-gerador diesel de 6 kVA, variando-se a carga de 0 a 3 kW e determinando-se o consumo específico e a temperatura dos gases de exaustão, que aumentaram com o aumento da carga aplicada. No entanto, não foram verificadas variações significativas desses parâmetros para uma mesma carga, independentemente do combustível utilizado.

Ramos et. al. (2011) apresentaram as rotas tecnológicas de produção de biodiesel e as perspectivas de evolução em curto e médio prazo, particularmente aquelas que vêm sendo investigadas no âmbito das atividades do INCT de Energia e Ambiente. Dentre os processos discutidos a transesterificação metálica de óleos vegetais em meio alcalino homogêneo é o processo mais comum de produção do biodiesel, os alcóxidos metálicos são os catalisadores mais utilizados, sendo que estes podem ser adicionados diretamente ao meio de reação ou produzidos *in situ*, mediante a dissolução de hidróxido de sódio ou de potássio no álcool utilizado como agente de transesterificação. Os autores discorrem também sobre as tecnologias de segunda e terceira gerações para a produção de ésteres graxos a partir de fontes lipídicas não alimentícias como óleos de descarte e materiais graxos residuais, muitas vezes baseando-se em processos alternativos aliados à catálise heterogênea, à destilação reativa e à hidroesterificação

Fernandes (2012) apresenta um estudo sobre a produção de biodiesel com óleo de fritura residual, sendo utilizado o processo de transesterificação alcalina com catalisador homogêneo (NaOH), comumente utilizado. O trabalho desenvolvido teve como variáveis a concentração do catalisador, razão molar álcool:óleo e a temperatura. O biodiesel produzido teve rendimento e qualidade aceitáveis, propiciando-se o seu uso como combustível, seguindo as normas especificadas pela ANP, sendo que das 6 amostras de biodiesel produzidas que foram analisadas a de melhor rendimento foi de 73,9 %.

Medeiros et. al. (2013) analisaram a produção de biodiesel com óleo de soja e purificação por centrifugação, para tanto, o biodiesel foi produzido por transesterificação etílica de óleo de soja utilizando hidróxido de sódio como catalisador. A purificação foi realizada por centrifugação, em diferentes condições: sem a retirada do etanol, com adição de concentrações de água acidificada, seguido de centrifugação. A avaliação da eficiência da separação das fases biodiesel/glicerol foi realizada por meio da análise titulométrica do teor de glicerol livre no biodiesel, que tem um limite máximo de 0,02% definido pela ANP. Os resultados obtidos demonstraram que a retirada do etanol favorece a separação das fases, proporcionando a redução do tempo necessário de centrifugação.

## 4 INSTRUMENTAÇÃO PARA SEPARAÇÃO DAS FASES GLICEROL-BIODIESEL

Nesta parte é apresentada toda a teoria necessária para o desenvolvimento e construção do sensor e do sistema para separação automática das fases glicerol-biodiesel.

Serão abordados os seguintes assuntos: teoria sobre sensores; condução elétrica; sensores de condutividade elétrica para líquidos; circuito divisor de tensão; projeto e modelagem da parte eletrônica; montagem da placa de circuito impresso; e os trabalhos relacionados a sensores de condutividade elétrica para líquidos e para identificação das fases glicerol-biodiesel.

### 4.1 Sensor

Para Pazos (2002) a automação pode ser definida como a tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletromecânicos e computacionais na operação e controle de produção.

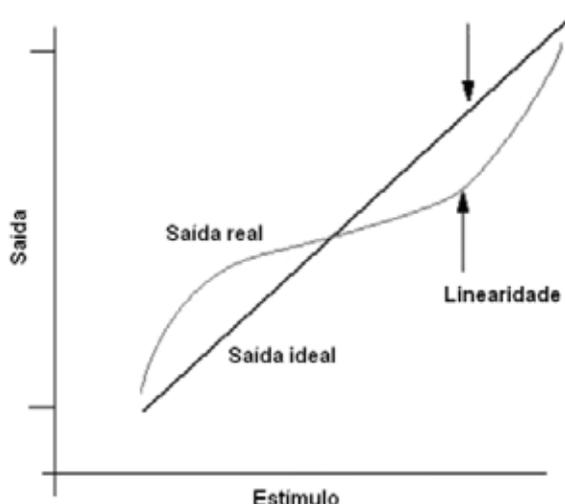
Para auxiliar tal controle são utilizados os sensores que, segundo Fraden (1996) citado por Mendonça (2008), podem ser definidos como sistemas que recebem um estímulo físico e o convertem em um sinal, geralmente elétrico, que será analisado por outro sistema. O estímulo pode ser dos mais variados tipos como, por exemplo, calor, luz, pressão, movimento ou som.

Para Fraden (1996) citado por Mendonça (2008), Thomazini (2005), Pazos (2002) e Werneckn (1996), algumas das principais características e especificações dos sensores são:

- **Sensibilidade:** é a razão entre a variação do sinal de saída pela variação no sinal de entrada, sendo que a sensibilidade do sensor será tão maior quanto menor a variação de entrada e maior a variação no sinal de saída.
- **Exatidão:** é a diferença absoluta entre o valor real do padrão e o valor medido pelo instrumento. Em geral, o resultado de uma medição é somente uma aproximação ou estimativa do valor mensurado.
- **Precisão:** é a capacidade de se obter o mesmo valor em diversas medidas, podendo ser dada pelo desvio padrão das medidas efetuadas de um mesmo valor ou pelo maior erro esperado em qualquer medida.

- **Faixa:** define-se como faixa, ou *range*, todos os níveis de amplitude da grandeza física medida nos quais se supõe que o sensor pode operar dentro da precisão especificada.
- **Linearidade:** indica a máxima aproximação da relação entrada-saída, em relação os valores ideais, conforme mostra a Figura 17. Se o sensor fosse um instrumento perfeito e ocorresse um erro desprezível, a curva obtida seria uma reta. No entanto, como sempre há um erro, a curva obtida foge em alguns pontos da curva ideal. Assim, a distância máxima observada entre uma medida feita pelo instrumento e o valor padrão, dividida pelo *range* e multiplicado por 100 %, representa a linearidade.
- **Velocidade de resposta:** é a velocidade com que a medida fornecida pelo sensor alcança o valor real do processo. Em sistemas realimentados o ideal é que o sensor utilizado tenha uma resposta instantânea, pois uma resposta lenta pode prejudicar muito a eficiência do sistema de controle.
- **Resolução:** é o menor incremento do sinal de entrada que o sensor é capaz de detectar.

Figura 17 - Definição de linearidade.



Fonte: Mendonça (2008).

Pazos (2002) observa que, se o sinal elétrico da saída de um sensor apresentar qualquer valor dentro de certos limites ao longo do tempo, esse sensor é chamado de analógico; se esse sinal elétrico só puder tomar dois valores ao longo do tempo, sejam estes sinais de qualquer amplitude, o sensor é chamado de digital.

Se o sensor for analógico e o controlador destinado a receber esses sinais for digital, por exemplo, um computador ou um microcontrolador, será necessária a presença de um conversor analógico-digital ou, simplesmente, A/D.

Segundo Ferreira (2009), o conversor A/D faz a leitura de uma tensão analógica, normalmente entre 0 e 5 V, e a transforma em um código digital binário relativo à leitura efetuada. Comumente os conversores encontrados são de 8 e 10 bits. Para efetuar a conversão é necessária uma configuração inicial, normalmente via *software* de acordo com a ligação utilizada do microcontrolador.

Para o microcontrolador selecionado, PIC 18F2550, que possui um conversor de 10 bits, para leituras realizadas no intervalo de 0 a 5 V, a variação da tensão lida será de 4,88 mV, o que torna o conversor capacitado para efetuar a tarefa proposta neste trabalho.

A calibração do aparelho estabelece comparar o estímulo e a resposta apresentada pelo aparelho, a fim de determinar parâmetros da curva característica; a aferição do sensor representa um conjunto de operações que constitui a correspondência entre os valores indicados pelo instrumento e os valores verdadeiros convencionais correspondentes da grandeza medida (INMETRO, 1998).

## 4.2 Condução elétrica

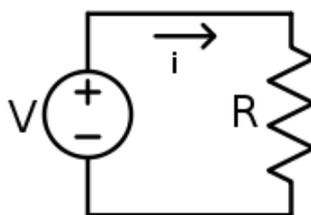
Segundo Alexander e Sadiku (2009), a relação entre corrente elétrica e tensão para um resistor é conhecida como a lei de Ohm, a qual estabelece que a tensão “V” em um resistor é diretamente proporcional à corrente “i” que flui através deste, sendo a constante de proporcionalidade igual à resistência “R”, conforme representado na Equação 1.

$$R = \frac{V}{i} \quad (1)$$

A resistência elétrica de um elemento mostra a sua capacidade de resistir ao fluxo de corrente elétrica, sendo medida em ohms, representado pelo símbolo  $\Omega$ . A resistência que é uma propriedade do material, a qual pode variar se as condições internas ou externas do elemento forem alteradas, isto é, se existirem alterações na temperatura.

A Figura 18 representa um circuito com uma fonte de alimentação ( $V$ ) e um resistor ( $R$ ), por onde passa uma corrente elétrica de intensidade ( $i$ ).

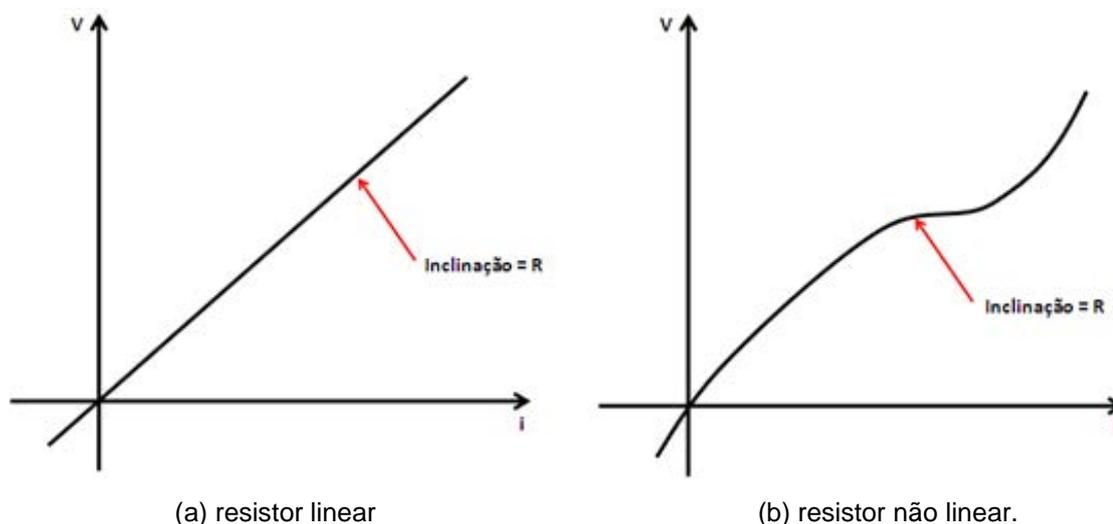
Figura 18 - Lei de Ohm.



Fonte: Adaptado de Pallas-Areny; Webster (2001).

Entretanto, nem todo resistor obedece à lei de Ohm, os que a obedecem são chamados de resistores lineares e possuem uma resistência constante, portanto a característica corrente-tensão é semelhante à mostrada na Figura 19-a. Um resistor não linear não obedece à lei de Ohm e sua resistência varia com a corrente e sua curva característica de corrente-tensão ( $i$ - $V$ ) é semelhante à mostrada na Figura 19-b.

Figura 19 - Característica corrente-tensão para resistores.



(a) resistor linear

(b) resistor não linear.

Fonte: Adaptado de Pallas-Areny; Webster (2001).

Cada material permite a passagem de corrente elétrica de forma diferente, tal propriedade é definida como resistividade elétrica, definida na Equação 2.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

De acordo com a Equação 2, a resistência elétrica de um dispositivo está relacionada com a resistividade “ $\rho$ ” de um material, dado em ohm metros ( $\Omega\text{m}$ ); “ $l$ ” é o comprimento do dispositivo em metros (m) e “ $A$ ” é a área da secção transversal em metros quadrados ( $\text{m}^2$ ).

Uma grandeza útil na análise de circuitos é conhecida como condutância, que é a capacidade de um elemento de conduzir corrente elétrica, sendo denotada por “ $G$ ” e representada na Equação 3. A unidade de condutância é o Siemens, representado pela letra S.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{i}{V} \quad (3)$$

A condutividade elétrica é usada para especificar o caráter elétrico de um material, ou seja, inversamente proporcional à resistividade, e é indicativa da facilidade com o qual o material é capaz de conduzir uma corrente elétrica, sendo denotada por “ $\sigma$ ” e representada na Equação 4. A unidade de condutividade elétrica é o Siemens por metro (S/m).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

Para Machado (2010), um condutor é um sistema em que, no interior deste, encontram-se cargas elétricas livres. Aplicada uma diferença de potencial entre dois pontos do condutor, essas cargas deslocam-se constituindo uma corrente elétrica.

Existem duas classes de condutores: eletrônicos e iônicos. Nos primeiros, as cargas livres são elétrons, tais como se encontram nos metais. Nos iônicos, as cargas livres são íons positivos e negativos, cuja massa é milhares de vezes maiores do que a massa do elétron (MACHADO, 2010).

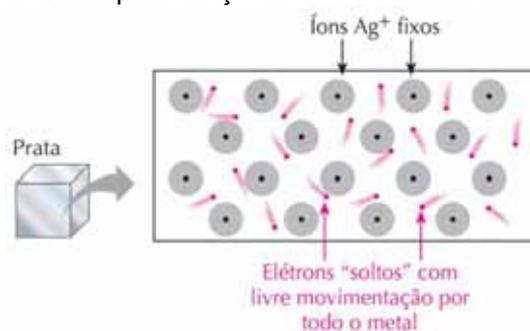
Os metais possuem um bom ordenamento em sua estrutura cristalina e, também, elétrons livres que podem se locomover através da rede de átomos. Os elétrons se movimentam em virtude das diferenças de potencial aplicadas nas

extremidades deste material. Estas diferenças de potencial surgem devido à falta de elétrons em algumas regiões e à sobra de elétrons em outra região. A diferença de potencial está associada às forças de atração entre as cargas elétricas. Ou seja, a região de carga positiva, onde faltam elétrons, atrai os elétrons, de carga negativa.

Como exemplo de um metal condutor, pode se citar a prata que possui uma condutividade elétrica de aproximadamente  $62,5 \cdot 10^6$  S/m.

A Figura 20 representa a movimentação de elétrons livres na prata.

Figura 20 - Representação dos elétrons livres na prata.

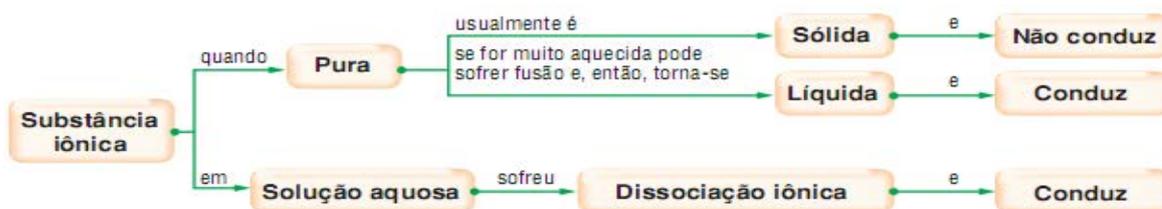


Fonte: Peruzzo e Canto (1995).

A condução de corrente elétrica em soluções líquidas, faz parte de um ramo da química denominada eletroquímica.

A Figura 21 representa, em linhas gerais, a condutividade elétrica para substâncias iônicas, ou seja, substâncias que possuem entre seus átomos pelo menos uma ligação iônica, caracterizada pela doação de elétrons, que ocorrem geralmente entre átomos de metais com os não metais, pois possuem grande diferença de eletronegatividade, ou seja, os não metais tendem a roubar os elétrons dos metais.

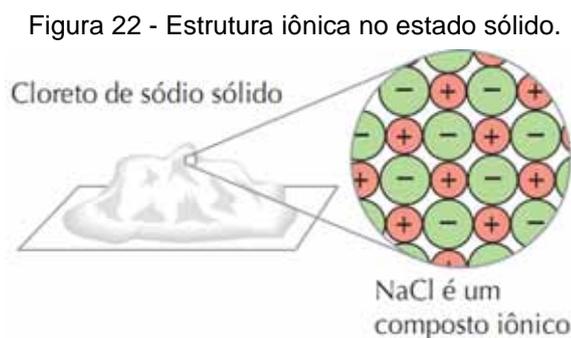
Figura 21 - Condutividade elétrica em substâncias iônicas.



Fonte: Peruzzo e Canto (1995).

Conforme representado na Figura 21, uma substância iônica pura, no estado sólido, não conduz eletricidade. Como exemplo pode ser citado o cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), conhecido como sal de cozinha, cuja estrutura é mostrada na Figura 22.

Esta substância iônica é denominada eletrólito, ou seja, é toda substância que dissociada ou ionizada origina íons positivos (cátions) e íons negativos (ânions), pela adição de solvente ou aquecimento, tornando-se desta forma um condutor.



Fonte: Peruzzo e Canto (1995).

Segundo Constantino, Silva e Donate (2010), as substâncias iônicas em forma sólida não conduzem eletricidade, porque os íons encontram-se presos na rede cristalina e não têm mobilidade para conduzir a carga elétrica. Tais sólidos, quando são fundidos, fornecem líquidos que são bons condutores, pois na forma líquida os íons podem se movimentar com facilidade.

Para conduzir eletricidade a substância iônica necessita ser aquecida e sofrer uma fusão. No caso do  $\text{NaCl}$ , para que ele possa ser condutor, ele precisa ser aquecido a uma temperatura de  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  para ser fundido (Figura 23).



Fonte: Peruzzo e Canto (1995).

De acordo com a Figura 23, após aquecer o composto até a fusão ocorre a liberação de íons.

Outra forma de obter íons livres é por meio da dissociação ou ionização da substância iônica em solução aquosa.

Segundo Russell (1994), o processo de dissociação é algumas vezes chamado de ionização porque íons são formados. Os íons formados num processo de dissociação tornam a solução resultante boa condutora de eletricidade, pois estes íons transportam a corrente elétrica entre dois eletrodos.

Após o processo de produção do biodiesel, apesar do álcool e do glicerol não serem eletrólitos, ou seja, não possuem elétrons livres, os catalisadores usados na reação, que pode ser o NaOH ou KOH, são considerados eletrólitos fortes, que dão origem a soluções de alta condutividade. Portanto, no decantador a fase glicerol apresenta maior condutividade do que a fase biodiesel.

Constantino, Silva e Donate (2010) explicam que a diferença de condutividade é porque os eletrólitos fortes dissociam-se totalmente quando em solução, dando origem a grande número de íons.

De acordo com Skoog et al. (2005), o processo eletrostático por meio do qual os íons se movem sob a influência de um campo elétrico é chamado “migração”. A velocidade na qual os íons migram para a superfície do eletrodo ou para longe dela geralmente sobe à medida que o potencial do eletrodo aumenta. Esse movimento de cargas constitui-se em uma corrente, a qual também se eleva com o potencial.

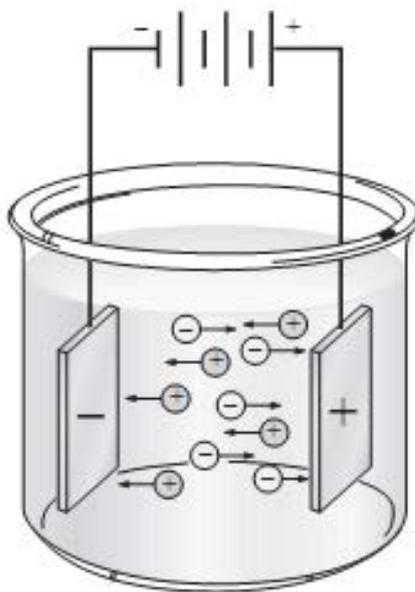
A Figura 24 representa o movimento dos íons na solução em razão da atração eletrostática entre os íons e o eletrodo.

O sistema formado por biodiesel e glicerol, entre as chapas metálicas do sensor, pode ser comparado com um resistor pelo fato desses fluidos apresentarem certa resistência ao fluxo de corrente elétrica, sendo que o biodiesel, por possuir alta resistência elétrica, funciona como um dielétrico entre tais chapas.

De acordo com Tareev (1979), citado por Mendonça (2008), o dielétrico possui a capacidade de ser polarizado. As propriedades elétricas de um material são normalmente descritas em termos da constante elétrica do material (FROHLICH, 1968, citado por MENDONÇA, 2008).

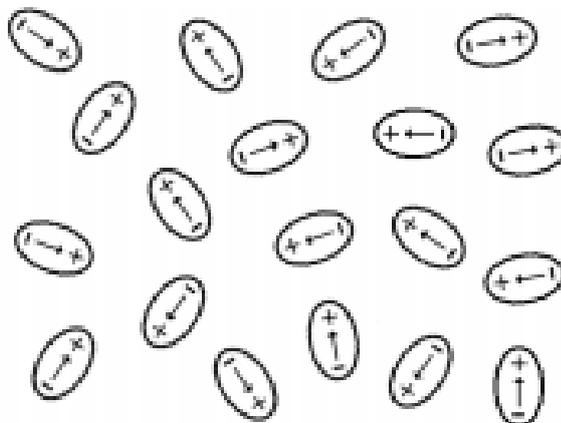
As moléculas do material dielétrico sofrem efeito do campo elétrico. Na Figura 25 pode se observar moléculas polares na ausência de um campo elétrico.

Figura 24 - Migração dos íons.



Fonte: Skoog et al. (2005).

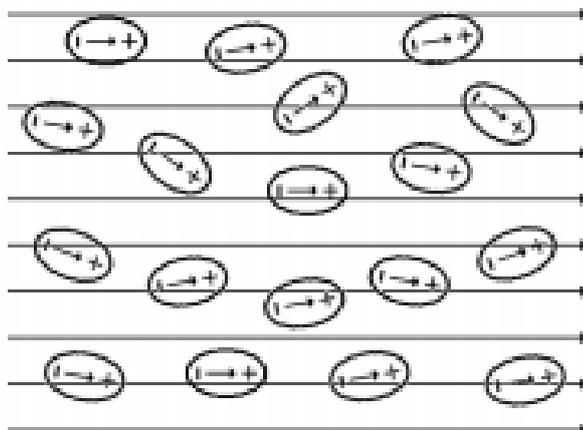
Figura 25 - Moléculas polares na ausência de um campo elétrico.



Fonte: Mendonça (2008).

Sob a ação de um campo elétrico externo, as moléculas se orientam e tendem a se alinhar com o campo elétrico, conforme representado na Figura 26. Todavia, a orientação não é perfeita, pois as moléculas sempre estão sob agitação térmica. Portanto, quanto maior a temperatura, menor o alinhamento dos dipolos (MENDONÇA, 2008).

Figura 26 - Moléculas polares sob a ação de um campo elétrico.



Fonte: Mendonça (2008).

Como resultante do processo de polarização do dielétrico, há uma diferença de potencial entre as chapas metálicas e o fluido em contato com as mesmas apresentará uma resistência ao fluxo de corrente elétrica.

Para Emerson Process (2010), a medição de condutividade é empregada usualmente na indústria química como, por exemplo, para detecção de interface quando dois líquidos apresentam condutividades diferentes.

Portanto, para este trabalho ter-se-á uma variação da resistência somente quando o material entre as chapas for alterado, ou seja, quando o fluido em contato com o sensor passar de glicerol para biodiesel, pois a área entre as placas e a distância entre as mesmas serão fixas.

De acordo com Mendonça (2008), quanto mais baixa a frequência, maior a polarização. Assim sendo, para este trabalho será adotada uma fonte de tensão contínua, que possui frequência nula e possibilitará um campo elétrico constante favorecendo, dessa forma, a polarização da solução.

Segundo Gallagher (1975), citado por Mendonça (2008), as impurezas encontradas nos dielétricos são os maiores responsáveis por eventuais processos de condução, que podem ser substâncias iônicas dissociadas em dielétricos polares líquido, tais como água e alcoóis.

Em dielétricos apolares como óleos, o oxigênio gasoso e partículas sólidas, são os contaminantes principais que podem contribuir para a condução elétrica. Entretanto, essa condução é de intensidade muito baixa para os valores de campo

elétrico aplicados nesse trabalho. Assim, não há problema de ruptura de dielétrico e esses líquidos apolares podem ser considerados bons isolantes elétricos.

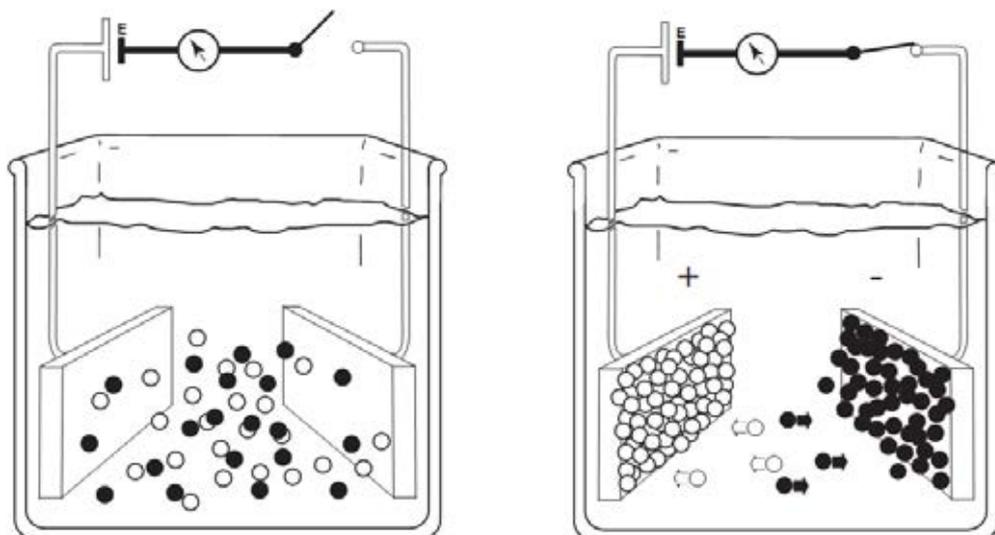
### 4.3 Sensor de condutividade elétrica para líquidos

Os sensores baseados em condutividade elétrica de líquidos utilizam a dependência da condutividade do eletrólito sobre a concentração de espécies iônicas dissolvidas, cujo desenvolvimento de tais medições é atribuído a F. Kohlrausch (1840-1910) (PALLAS-ARENY; WEBSTER, 2001).

Após a aplicação de um campo elétrico em um eletrólito, forças eletrostáticas atuam sobre os íons. O eletrodo positivo (ânodo) atrai os íons negativos (ânions) e o eletrodo negativo (cátodo) atrai os íons positivos (cátions).

Os íons acelerados se movem dentro da solução contra o arrasto viscoso dos íons dissolvidos de carga oposta, resultando numa velocidade de migração constante. A tensão medida por um par de eletrodos imersos na solução, conforme mostrado na Figura 27, é proporcional à corrente elétrica e segue a lei de Ohm.

Figura 27 - Célula de condutividade elétrica em operação.



Fonte: Pasco (1997).

A corrente em um eletrólito quando aplicada uma tensão  $V$  através dos dois eletrodos imersos, depende da geometria do sensor e da condutividade do eletrólito. No entanto, a corrente através da célula não é proporcional à tensão aplicada

quanto se tem o fenômeno de polarização no ânodo e cátodo, o que produz uma queda de tensão (PALLAS-ARENY; WEBSTER, 2001).

A corrente total “ $i$ ” será a soma do transporte de carga por íons “ $nzqv$ ” positivos e negativos, sob a distância  $l$ , conforme representado na Equação 5.

$$i = \frac{(nzqv)_+ + (nzqv)_-}{l} \quad (5)$$

Se a área da secção transversal efetiva da célula de condutividade é “ $A$ ” e “ $l$ ” a distância entre os eletrodos, a condutividade “ $\sigma$ ” será descrita na forma da Equação 6.

$$\sigma = \frac{i l}{V A} \quad (6)$$

De acordo com Snowpure (2003), a condutividade medida depende tanto das dimensões da célula de condutividade quanto da distância entre os eletrodos. Supondo-se que as propriedades geométricas da célula não irão mudar ao longo da gama de temperaturas, o termo “ $l / A$ ” permanecerá constante. Este termo pode ser substituído por “ $c$ ”, denominado constante de célula, expressa em  $\text{cm}^{-1}$ , conforme representado na Equação 7.

$$c = \frac{l}{A} \quad (7)$$

Relacionando as Equações 3 e 7, tem-se a Equação 8.

$$\sigma = G . c \quad (8)$$

Existem duas formas de medição de condutividade elétrica para líquidos: por contato e por indução. Neste trabalho será empregado a medição por contato, que geralmente é constituído por dois elétrodos de metal, na maioria das vezes de aço inoxidável ou titânio, que ficam em contato com a solução eletrolítica (EMERSON PROCESS, 2010).

Para as soluções de baixa condutividade, os elétrodos podem ser colocados mais próximos (reduzindo  $l$ ) para dar constantes de célula com valores baixos. Isto aumenta a condutância entre as placas e faz com que seja mais fácil para o circuito eletrônico obter um resultado. Da mesma forma, para solução com condutividade elevada o valor de  $l$ , pode ser aumentada para se obter uma constante da célula de valor elevado (SNOWPURE, 2003).

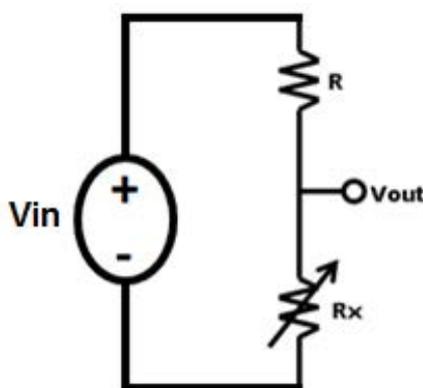
#### 4.4 Circuito divisor de tensão

Circuitos divisores de tensão são comumente usados para medição de altos valores de resistência elétrica (PALLAS-ARENY; WEBSTER, 2001).

De acordo com Nahvi e Edminister (2003), a regra do divisor de tensão se aplica a resistores ligados em série, como os mostrados na Figura 28, sendo  $R_x$  a resistência variável apresentada pelo sensor e  $R$  uma resistência elétrica de valor fixo.

O circuito em série possui como características a mesma corrente elétrica para os resistores da associação, o que torna este circuito uma técnica de projeto eletrônico utilizada para criar uma tensão elétrica ( $V_{out}$ ) que seja proporcional à outra tensão da fonte ( $V_{in}$ ).

Figura 28 - Método de divisor de tensão para medição de resistência.



Fonte: Adaptado de Pallas-Areny e Webster (2001).

A resistência equivalente em uma associação em série é a soma de todos os resistores, conforme apresentado na Equação 9.

$$R_{eq} = R_x + R \quad (9)$$

Aplicando a lei de Ohm, tem-se a corrente elétrica do circuito, conforme apresentado na Equação 10.

$$R_{eq} = \frac{V_{in}}{i} \rightarrow R_x + R = \frac{V_{in}}{i} \rightarrow i = \frac{V_{in}}{R_x + R} \quad (10)$$

Para encontrar a tensão de saída do circuito divisor de tensão, tem-se:

$$V_{out} = R_x \cdot i \rightarrow V_{out} = \frac{R_x}{R_x + R} V_{in} \quad (11)$$

Assim sendo, pode-se calcular o valor da resistência desconhecida, através da Equação 12.

$$R_x = R \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} \quad (12)$$

Se o equivalente do circuito de Thévenin visto pelo sensor apresentar uma tensão de saída  $V_{out}$  e resistência  $R_x$ , conforme representado na Figura 28, a potência dissipada pelo sensor pode ser obtida através da Equação 13.

$$P = \left( \frac{V_{in}}{R + R_x} \right)^2 R_x \quad (13)$$

A máxima potência com relação à  $R_x$  pode ser obtida considerando a primeira derivada igual a zero, na Equação 14.

$$\frac{dP}{dR_x} = 2 \frac{V_{in}}{R + R_x} - \frac{V_{in}}{(R + R_x)^2} R_x + \left( \frac{V_{in}}{R + R_x} \right)^2 \rightarrow \left( \frac{V_{in}}{R + R_x} \right)^2 \frac{R - R_x}{R + R_x} = 0 \quad (14)$$

Considerando  $R=R_x$ , a segunda derivada é negativa nesse ponto, que é máximo. A potência correspondente é representada na Equação 15.

$$P = \left( \frac{V_{in}}{R + R_x} \right)^2 R_x \rightarrow \frac{V_{in}^2}{4R} \quad (15)$$

De acordo com a variação da condutividade da fase biodiesel e glicerol, ter-se-á também uma variação da diferença de potencial em cima do sensor que será analisada com o auxílio do circuito divisor de tensão.

#### **4.5 Trabalhos sobre sensores de condutividade elétrica para líquidos**

Schiefelbein et al. (1998) realizam um estudo sobre técnicas de precisão de calibração para medir condutividade elétrica de líquidos, na qual são citados diversos tipos de sensores, suas aplicações e as respectivas classes de precisão, tal como o sensor de contato direto de duas hastes, que apresenta fácil construção, todavia menor precisão quando comparado à sensores capilares.

Cardoso et al. (2007) descrevem um sensor de condutividade para controle do escoamento de biodiesel e de produtos em fase líquida de condutividades diversas, sendo esses produtos armazenados em um tanque de decantação incluindo uma tubulação, com o sensor compreendendo um sistema metálico composto por duas hastes metálicas, duas placas metálicas para medir a condutividade dos líquidos sendo escoados e elementos de fixação mecânica.

Santos e Pedro (2010), baseados no trabalho de Cardoso et al. (2007), propuseram uma metodologia de desenvolvimento de um sensor de condutividade elétrica, para uso em bancada laboratorial, capaz de identificar glicerol e biodiesel, e que foi precursor do sistema eletrônico microcontrolado desenvolvido no presente trabalho para separação de fases glicerol-biodiesel após o processo de decantação na mini-planta para produção de biodiesel, o qual será apresentado na sequência.

## **5 PRODUÇÃO DE BIODIESEL E PROJETO DO SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE FASES GLICEROL-BIODIESEL**

Nesse capítulo serão descritos a produção de biodiesel em laboratório com óleo de soja refinado e óleo residual através da transesterificação alcalina, será descrito também o projeto do sensor, os materiais selecionados para o corpo do sensor, os componentes eletrônicos para o circuito impresso, a programação do microcontrolador PIC 18F2550, a simulação deste com o circuito eletrônico, a modelagem e confecção da placa de circuito eletrônico e a montagem do sistema de separação automática das fases glicerol-biodiesel.

### **5.1 Produção de biodiesel**

O procedimento de produção de biodiesel supracitado trata-se de um procedimento geral que pode ser aplicado tanto a nível laboratorial com na produção em maior escala, levando em conta tratamento da matéria-prima, titulação, transesterificação e caracterização.

#### ***5.1.1 Produção de biodiesel com óleo de soja***

Para a produção de biodiesel com óleo de soja refinado, foi realizada a titulação do óleo, conforme procedimento citado no Capítulo 3.2, foi possível chegar a um valor de 5 g de NaOH, por litro, pois foi necessário 1 ml da solução de hidróxido de sódio/água destilada a mais para deixar o óleo neutralizado, conforme representado na Figura 29.

Foram utilizados para realizar a transesterificação alcalina:

- 500 ml de óleo de soja refinado;
- 100 ml de metanol;
- 2,5 g de NaOH.

Figura 29 - Titulação do óleo de soja refinado.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O álcool foi inserido no béquer com o NaOH e agitado até que este se dissolvesse por completo. Em seguida foi colocado o óleo de soja e a mistura foi agitada por aproximadamente 1 hora, com temperatura entre 60 e 65 °C. Após esse tempo, a mistura reacional foi colocada em decantador, ficando em repouso por aproximadamente 8 horas até que ocorresse a separação das fases glicerol-biodiesel, conforme representado na Figura 30.

Figura 30 - Decantação do biodiesel produzido em laboratório com óleo de soja refinado.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 30, pode ser observado as fases glicerol, mais densa e de cor mais escura, na parte de baixo do decantador e o biodiesel na parte superior, de cor mais clara e com densidade menor. Após o processo de decantação foram obtidos cerca de 500 ml de biodiesel e 100 ml de glicerol.

## **5.2 Modelagem e projeto do sensor**

O desenvolvimento do sensor foi dividido em várias etapas constituídas pela modelagem do corpo do sensor e do circuito eletrônico, projeto e usinagem do corpo do sensor, simulação do circuito eletrônico com a programação para o microcontrolador PIC 18F2550 e montagem do sensor, as quais serão descritas a seguir.

### **5.2.1 Modelagem e projeto do corpo do sensor**

Para o desenvolvimento do sensor, mostrado na Figura 31, foi realizada uma modelagem computacional, com recursos de projetos mecânicos.

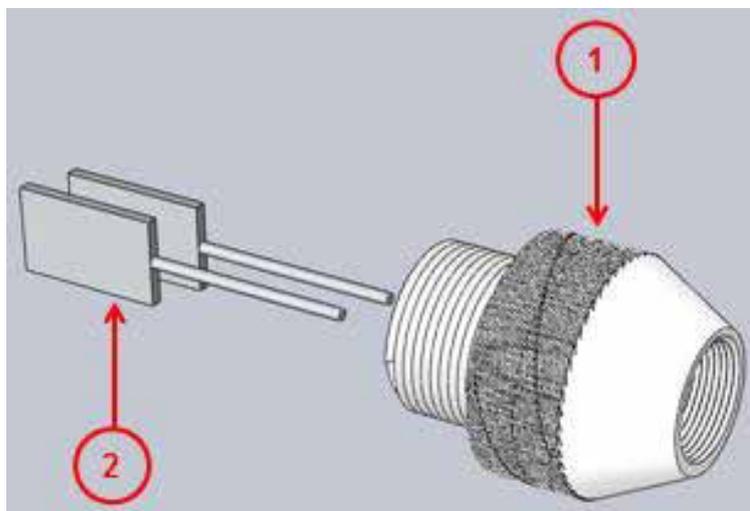
Figura 31 - Modelo do sensor desenvolvido.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foi elaborado um modelo básico do sensor com o objetivo de facilitar o desenvolvimento dos planos de execução de cada uma das peças e analisar, assim, os processos de usinagem empregados. O corpo do sensor é dividido em duas partes, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Vista explodida do corpo do sensor.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O material indicado pelo número 1 foi escolhido considerando que este deve possuir fácil usinagem e apresentar bom isolamento. Portanto, foi selecionado o PVC, que também apresenta grande resistência a agentes químicos. Para as chapas metálicas, representadas pelo número 2, inicialmente foi pensado em trabalhar com o cobre, que possui alta condutividade elétrica, superior a  $60 \cdot 10^6$  S/m<sup>2</sup>. Entretanto, o biodiesel afeta os materiais à base de cobre, zinco, estanho, chumbo e ferro fundido, sendo mais indicados os aços inoxidáveis 304 e 316 e ligas de alumínio. Sendo assim, para as chapas metálicas que ficarão em contato direto com o fluido, foi utilizado o aço inox 304, que possui alta resistência à corrosão e resistência elétrica específica à temperatura ambiente, de aproximadamente  $72 \mu\Omega\text{m}$ .

Após a finalização do modelo, foram elaborados os planos de trabalho para execução das peças. Tais peças foram usinadas e a montagem do corpo do sensor realizada seguindo o modelo proposto, conforme mostrado na Figura 33.

Para fixar o cabo em cada um dos eletrodos, foram utilizados conectores e um passador de cabo com rosca de  $\frac{3}{4}$ ".

Figura 33 - Foto do sensor.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### **5.2.2 Modelagem e projeto do circuito eletrônico**

Antes de desenvolver o circuito eletrônico, foi necessário realizar um ensaio para determinar a resistência elétrica do biodiesel e do glicerol, para que fosse possível dimensionar o resistor do circuito divisor de tensão.

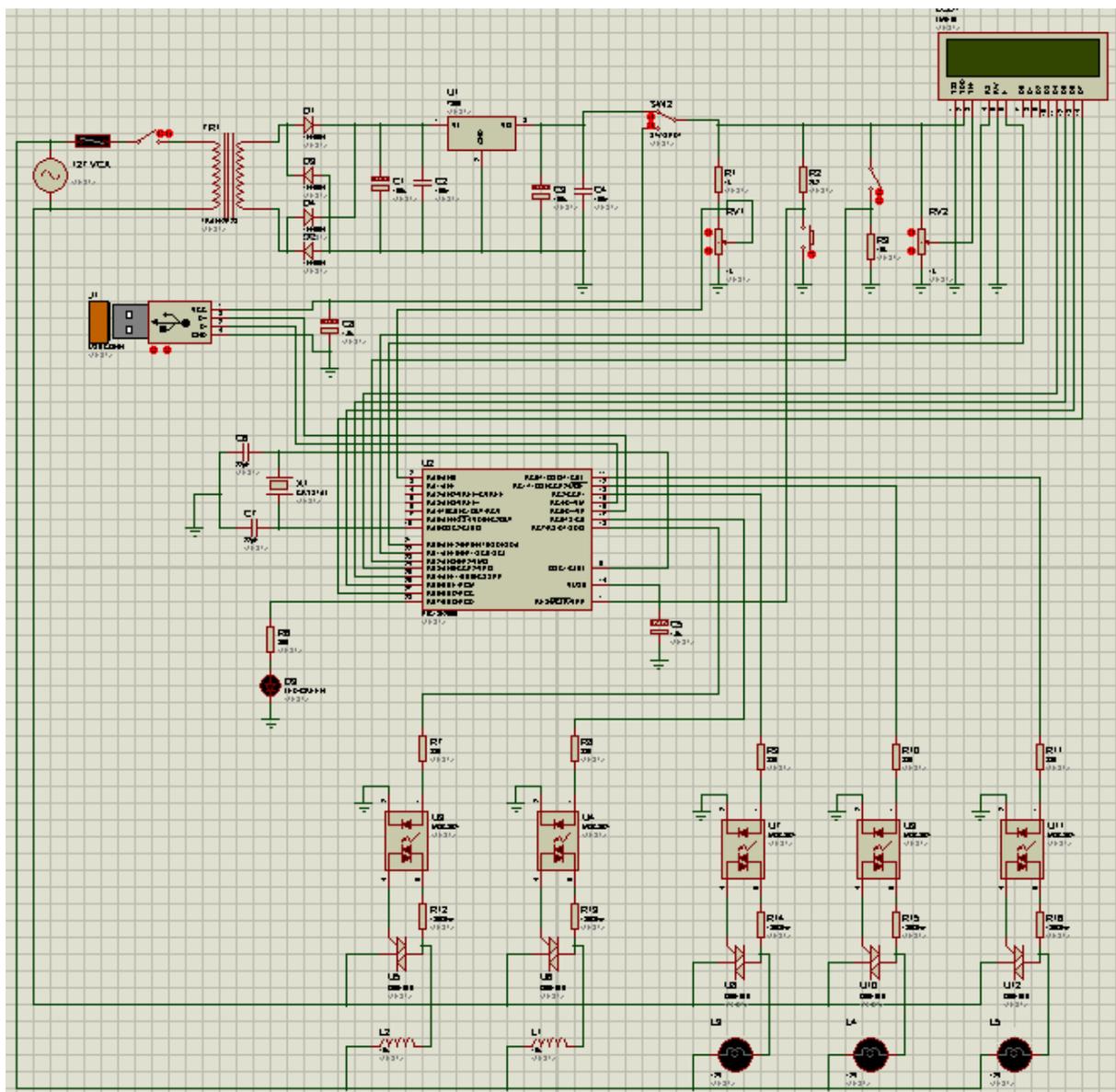
Esse procedimento foi realizado medindo-se, primeiramente, apenas a resistência de cada um dos polos do sensor, e, em seguida, inseriu-se este sensor dentro de cada um dos béqueres com glicerina e biodiesel e foram medidas as respectivas resistências elétricas com o auxílio de um multímetro.

Com este ensaio, foi verificado que o biodiesel apresenta resistência elétrica maior do que a do glicerol.

Concluída esta parte, foi determinada a resistência do circuito em série com o sensor, sendo esta no valor de  $620\text{ k}\Omega$ , que apresentou bons resultados na simulação computacional e na prática, pois, de acordo com o experimento realizado, foi obtido um valor de tensão de aproximadamente  $5\text{ V}$  quando o sensor estava em contato com o biodiesel e um valor de tensão de cerca de  $1\text{ V}$ , quando este estava imerso no glicerol.

Após determinada a resistência do circuito divisor de tensão, realizou-se a modelagem do circuito eletrônico, conforme representado na Figura 34.

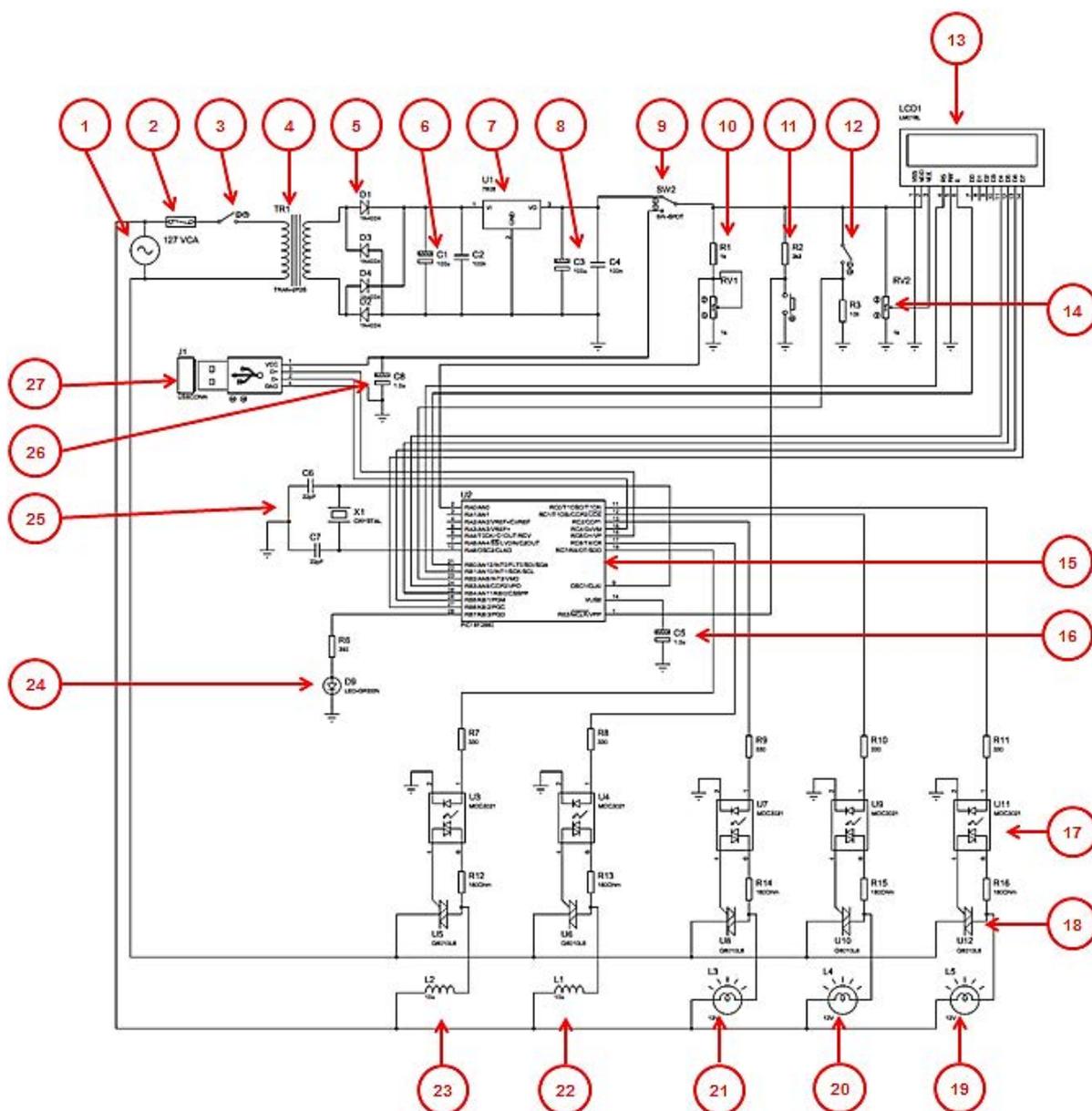
Figura 34 - Modelagem do circuito eletrônico.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Neste trabalho é descrito separadamente o desenvolvimento do circuito eletrônico e da programação para o PIC 18F2550. Todavia, estes foram realizados simultaneamente. A Figura 35 apresenta o circuito eletrônico com algumas numerações para facilitar a explicação do mesmo.

Figura 35 - Circuito eletrônico com numeração dos componentes.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com a Figura 35, o circuito eletrônico possui 27 partes, sendo cada uma delas descrita a seguir:

- 1: representa a fonte de alimentação de corrente alternada de 127 V – 60 Hz;
- 2: é um fusível de proteção, utilizado como dispositivo de proteção contra sobre corrente no circuito eletrônico;
- 3: é a chave geral do equipamento;
- 4: é o transformador rebaixador, que fornece no secundário uma tensão inferior a do primário, nesse caso de 9 V;

- 5: representa o circuito retificador de onda completa em ponte, na qual a tensão alternada presente no secundário do transformador é retificada em tensão contínua;
- 6: é capacitor de filtro, usado para filtrar a tensão pulsante na saída do circuito retificador;
- 7: é o componente eletrônico LM 7805, representado na Figura 36. De acordo com Fairchild Semiconductor (2010), este componente é um regulador de tensão e apresenta uma saída estável de 5 V, juntamente com dois capacitores eletrolíticos de 100  $\mu$ F, antes e depois deste componente, garantindo, assim, uma alimentação livre de ruídos para a o *display* de LCD, o circuito divisor de tensão e o microcontrolador.

Figura 36 - Foto do componente LM 7805 e sua na modelagem do circuito eletrônico.



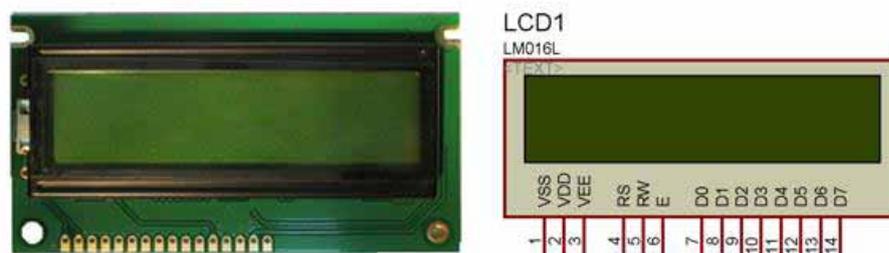
Fonte: Elaboração do próprio autor.

- 8: capacitor utilizado como filtro e tem a finalidade de manter estável o valor de tensão em 5V;
- 9: é a chave comutadora da alimentação para o circuito eletrônico, que pode ser alimentado pela porta USB, quando o microcontrolador estiver sendo gravado ou pela alimentação retificada, quando o equipamento estiver em operação;
- 10: indica a resistência de 620 k $\Omega$ , em série com o sensor;
- 11: é o botão de gravação do microcontrolador, ligado no pino de *reset* com um resistor de *pull-up*, que é usado para manter o valor lógico alto na entrada do pino do microcontrolador, e quando apertado o botão é habilitada a gravação do PIC;
- 12: é o botão de emergência com um resistor de *pull-down*, que é usado para manter o valor lógico zero na entrada do pino do microcontrolador, e quando

este é acionado trava toda a lógica do programa, desacionando as válvulas solenoides, com uma indicação luminosa da situação;

- 13: é o visor de LCD 2x16, apresentado na Figura 37, que possui duas linhas com 16 caracteres cada, usado para mostrar qual fluido está em contato com o sensor e qual a resistência elétrica desse fluido.

Figura 37 - Foto do visor de LCD e sua modelagem do circuito eletrônico.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

- 14: representa o trimpot de 10 k $\Omega$ , que é uma resistência variável usado para regular o contraste do visor de LCD;
- 15: representa o microcontrolador PIC 18F2550, mostrado na Figura 38, que é fabricado pela Microchip. Este componente foi escolhido principalmente por apresentar um conversor analógico digital de 10 bits, resultando uma leitura precisa para este trabalho; este componente também é responsável por armazenar a programação que executará a lógica de acionamento das válvulas solenoides para direcionar o biodiesel e o glicerol para reservatórios diferentes e por mostrar as informações no visor de LCD.

Figura 38 - Foto do microcontrolador PIC 18F2550 e sua modelagem no *software* de simulação.

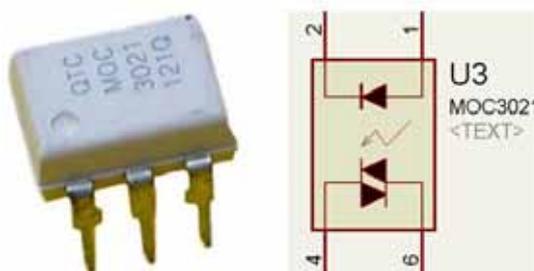


Fonte: Elaboração do próprio autor.

- 16: representa o capacitor eletrolítico de 1 $\mu$ F ligado no pino VUSB;

- 17: é opto-acoplador MOC 3021, constituído de um diodo emissor de luz infravermelho controlando um fototriac em tensões alternadas e isolando o circuito de acionamento do circuito de carga. A Figura 39 representa esse componente.

Figura 39 - Foto do opto-acoplador e sua modelagem no circuito eletrônico.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

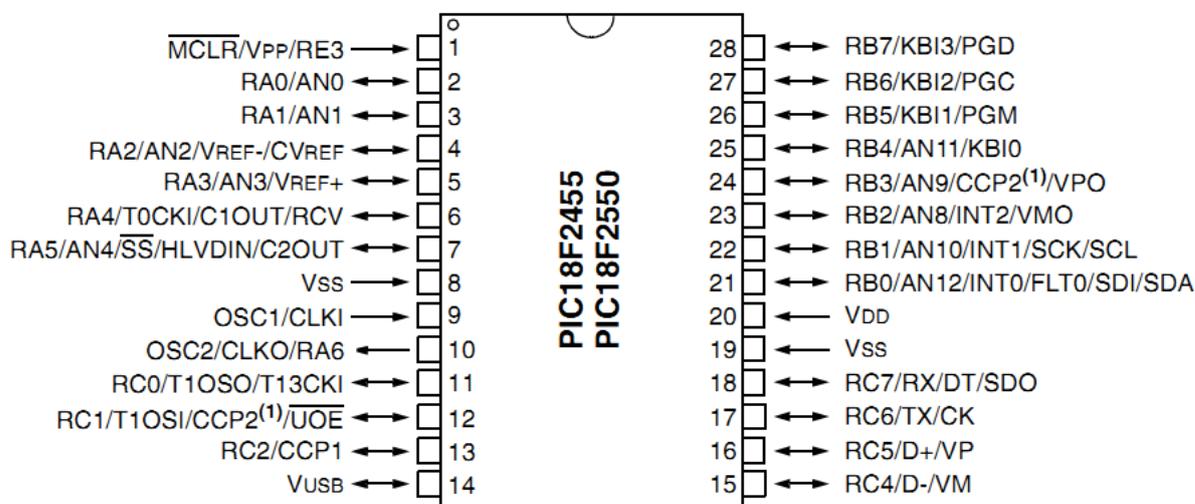
- 18: é o *triac* BT-134, que possibilita controlar correntes alternadas intensas a partir de sinais externos relativamente fracos que podem ser gerados por sensores, circuitos de todos os tipos ou chaves de baixa capacidade de corrente (BRAGA, 2008). Neste trabalho o acionamento é feito pelo microcontrolador que aciona o opto-acoplador. Este circuito composto pelo opto-acoplador e pelo triac possibilita o controle das válvulas solenoides e dos sinais luminosos ligados à rede de energia de 110/127 V, a partir da lógica desenvolvida no microcontrolador;
- 19: representa o sinal luminoso que será acionado quando o sensor estiver em contato com o glicerol;
- 20: representa o sinal luminoso que será acionado quando o sensor estiver em contato com o biodiesel;
- 21: representa o sinal luminoso que será acionado enquanto o botão de emergência estiver ativado;
- 22 representa a válvula solenoide que será acionada quando o sensor estiver em contato com o glicerol;
- 23: representa a válvula solenoide que será acionada quando o sensor estiver em contato com o biodiesel.
- 24: representa o *led* que será acionado enquanto a comunicação USB estiver habilitada;

- 25: é o oscilador externo para o microcontrolador, que utiliza um cristal de 20 MHz e dois capacitores cerâmicos de 22 pF.
- 26: representa o capacitor de 1uF ligado na alimentação que vem da porta USB como filtro para o bom funcionamento da gravação do microcontrolador;
- 27: representa a porta USB.

### 5.2.3 Programação do microcontrolador PIC 18F2550

O microcontrolador utilizado nesse trabalho possui uma memória de programação *FLASH*, que permite a gravação do programa diversas vezes no mesmo chip, memória EEPROM (não volátil) interna com 256 bytes e 28 pinos, sendo que 24 podem ser usados como entrada ou saída (MICROCHIP, 2006). Na Figura 40 pode ser visto a configuração de pinagem deste componente.

Figura 40 - Configuração de pinagem do microcontrolador PIC 18F2550.



Fonte: Microchip (2006).

Neste trabalho foram usados os seguintes pinos:

- 1: usado para habilitar a gravação do microcontrolador através da porta USB, com o acionamento do botão, que envia o valor lógico zero para esse pino;
- 2: entrada de tensão para o conversor analógico-digital;
- 8 e 19 (VSS): aterramento do microcontrolador; para manter a alimentação deste componente livre de oscilações foi ligado entre o terra e os pinos de alimentação um capacitor cerâmico de 1 uF;

- 9 e 10: usados para o oscilador externo, formado pelo cristal de 20 MHz e dois capacitores cerâmicos de 22 pF;
- 11: aciona o sinal luminoso quando o sensor estiver em contato com a glicerina;
- 12: aciona o sinal luminoso quando o sensor estiver em contato com o biodiesel;
- 13: aciona o luminoso vermelho, enquanto o botão de emergência estiver acionado;
- 14: Vusb, que tem ligado um capacitor eletrolítico de 1 uF;
- 15: D- da comunicação USB;
- 16: D+ da comunicação USB;
- 17: aciona a válvula solenoide quando o fluido em contato com o sensor for a glicerina;
- 18: aciona a válvula solenoide, quando o fluido em contato com o sensor for o biodiesel;
- 20 (VDD): alimentação do microcontrolador com 5 VCC;
- 21: usado como saída para informar o *display* de LCD quando o dado está pronto para ser lido (PUCRS, 2010);
- 22: usado como saída, para avisar ao módulo LCD se o que será enviado posteriormente é uma instrução, comando de controle, ou um dado a ser impresso no *display* (MESSIAS, 2010);
- 23: usado como entrada, para receber o valor lógico alto, quando o botão de emergência for acionado;
- 24, 25, 26 e 27: usado como saída, para enviar as palavras de configurações e os dados aos respectivos pinos D4, D5, D6 e D7 do *display* de LCD;
- 28: usado como saída, quando o microcontrolador estiver com a comunicação USB ativada.

Nota-se que ficaram sem utilização 5 pinos, os quais podem ser usados como entrada ou saída e até mesmo para a conversão analógico-digital.

O programa foi desenvolvido em linguagem de programação C e para organizar a lógica do programa foi desenvolvido anteriormente um fluxograma, conforme apresentado na Figura 41.

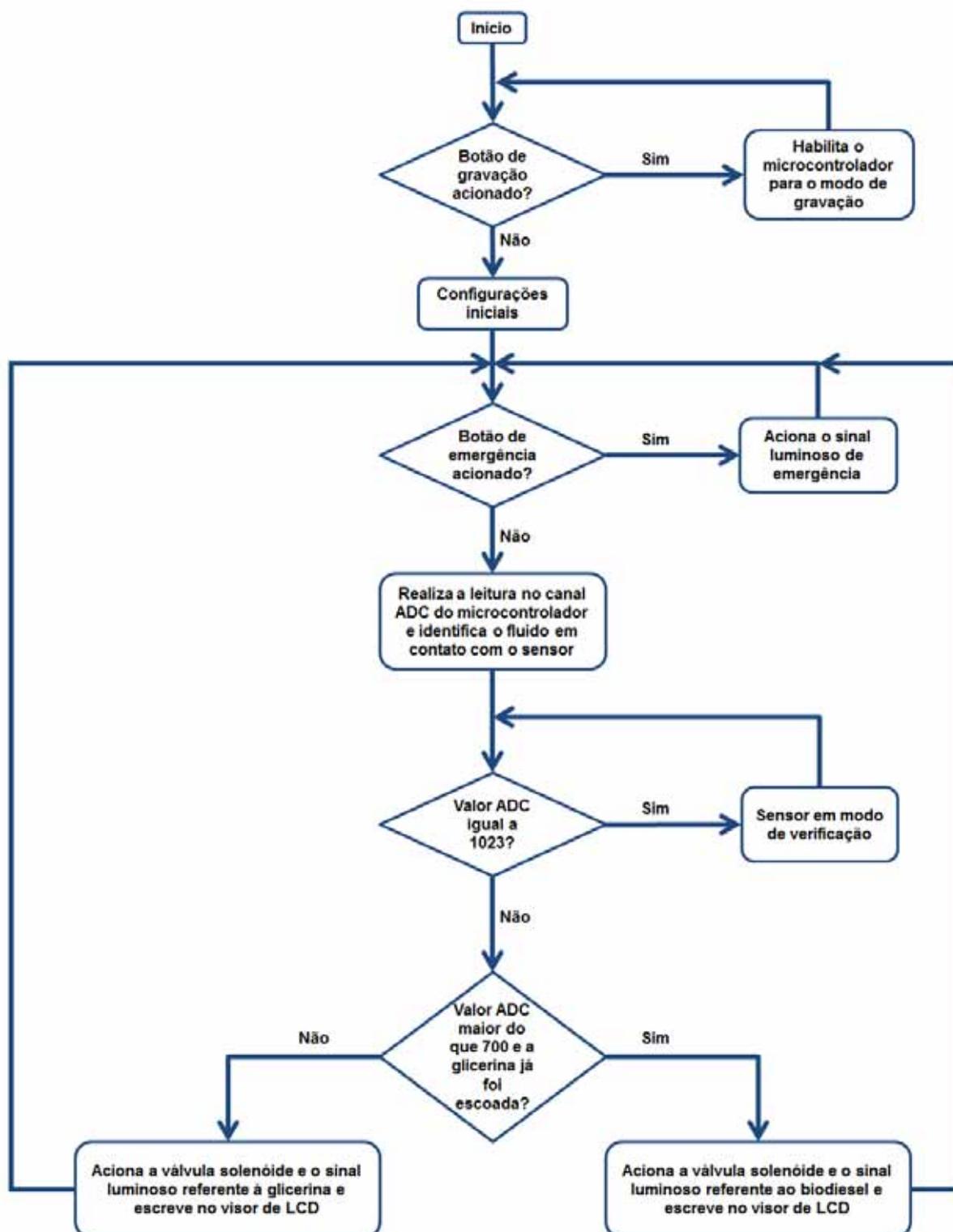
De acordo com o fluxograma, tem-se a inicialização das configurações do microcontrolador, com a inserção da biblioteca para trabalhar com a comunicação USB e com o visor de LCD.

A primeira verificação feita é se o botão para gravação do microcontrolador está acionado para que possa ser feita a atualização deste por meio da comunicação USB com o computador.

A lógica do programa representada no fluxograma mostra que o sensor somente fará a leitura da condutividade elétrica do fluido caso o usuário não acione o botão de emergência, permitindo, assim, que o microcontrolador PIC 18F2550 faça a leitura analógica da tensão do circuito divisor de tensão e faça a distinção do líquido em contato com o sensor. Por conseguinte, tais informações são mostradas no visor do LCD, que é atualizado a cada 1 segundo para que o sensor possa ter um bom tempo de resposta e o usuário consiga ver tais informações sem erros de interpretação.

Caso o botão de emergência seja acionado, um sinal luminoso de cor vermelha ficará ativo e a mensagem dessa situação aparecerá no visor de LCD, além de que as válvulas que direcionam os fluidos permanecerão desacionadas e o programa ficará em um *loop*, aguardando o desacionamento desse botão, para que retorne a execução do programa conforme descrito.

Figura 41 - Fluxograma do programa para o microcontrolador.

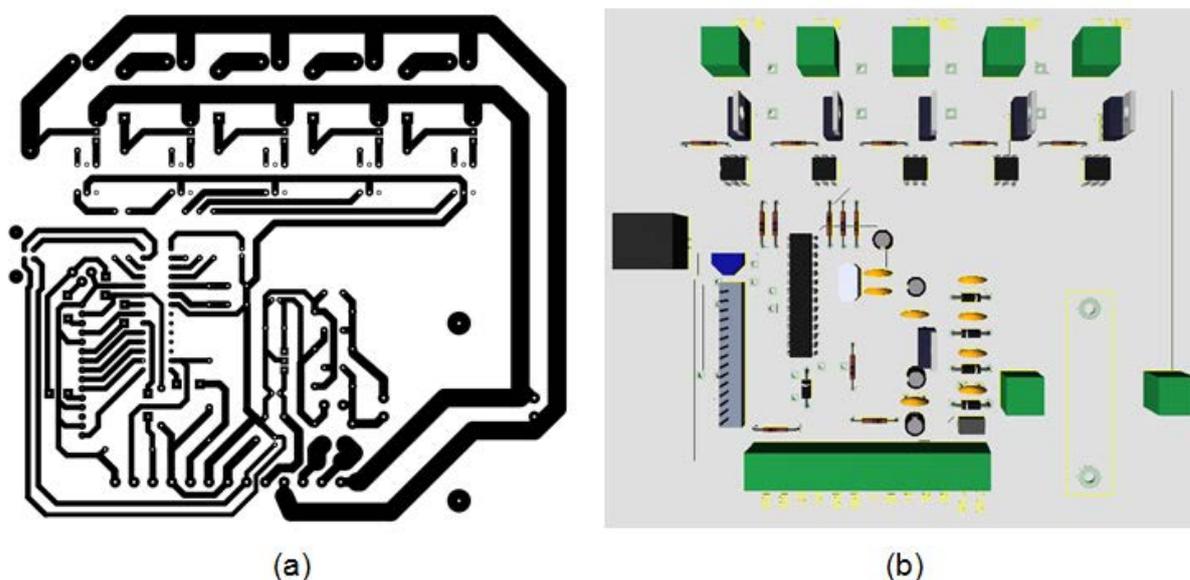


Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 5.3 Construção do equipamento para separação automática das fases glicerol-biodiesel

A placa de circuito impresso foi modelada computacionalmente, permitindo criar as trilhas e visualizar a disposição dos componentes, conforme apresentado na Figura 42.

Figura 42 - Trilhas e disposição dos componentes na placa de circuito eletrônico.



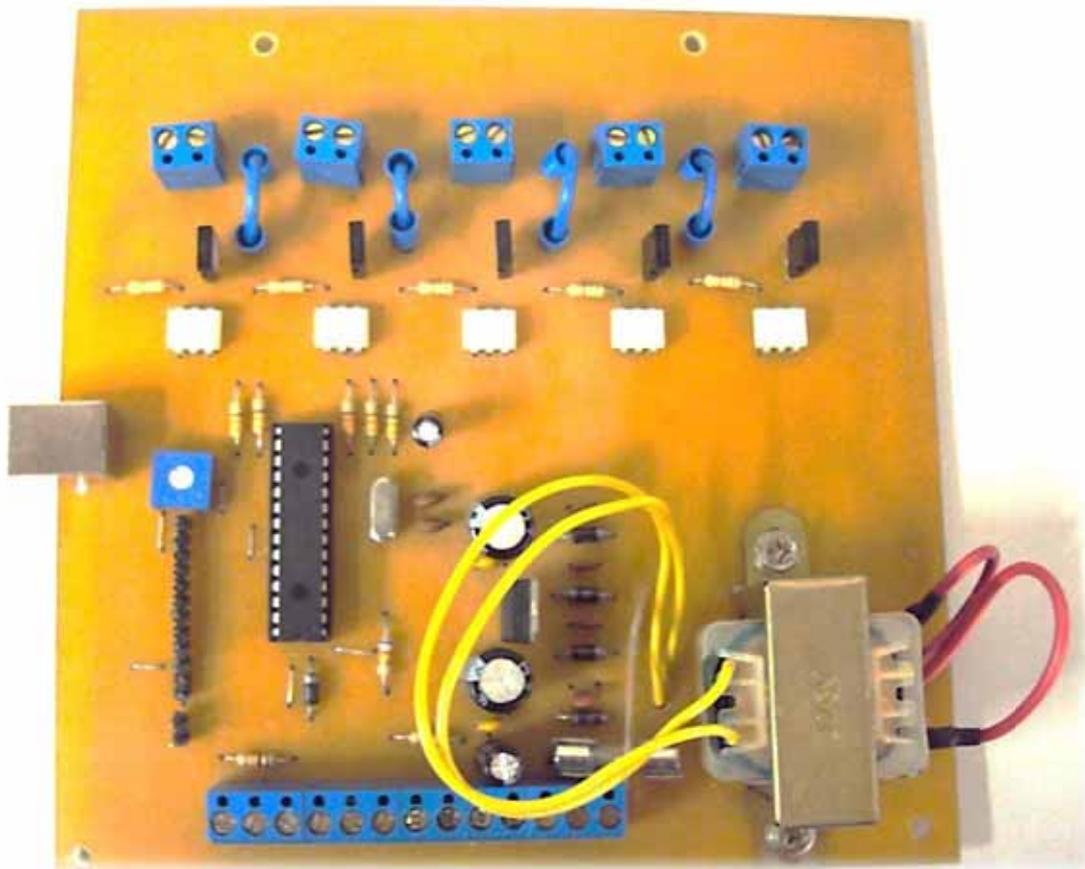
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 42-a são mostradas as trilhas para ligação dos componentes eletrônicos, sendo notado também que as saídas do microcontrolador destinadas à ligação do visor de LCD estão preparadas com uma barra de pinos.

Na Figura 42-b é mostrada a disposição dos componentes eletrônicos na placa, evitando, assim, que os componentes fiquem amontoados e reduzindo ao máximo os espaços livres.

A Figura 43 representa a placa de circuito impresso finalizada e com os componentes eletrônicos soldados.

Figura 43 - Placa de circuito impresso finalizada.



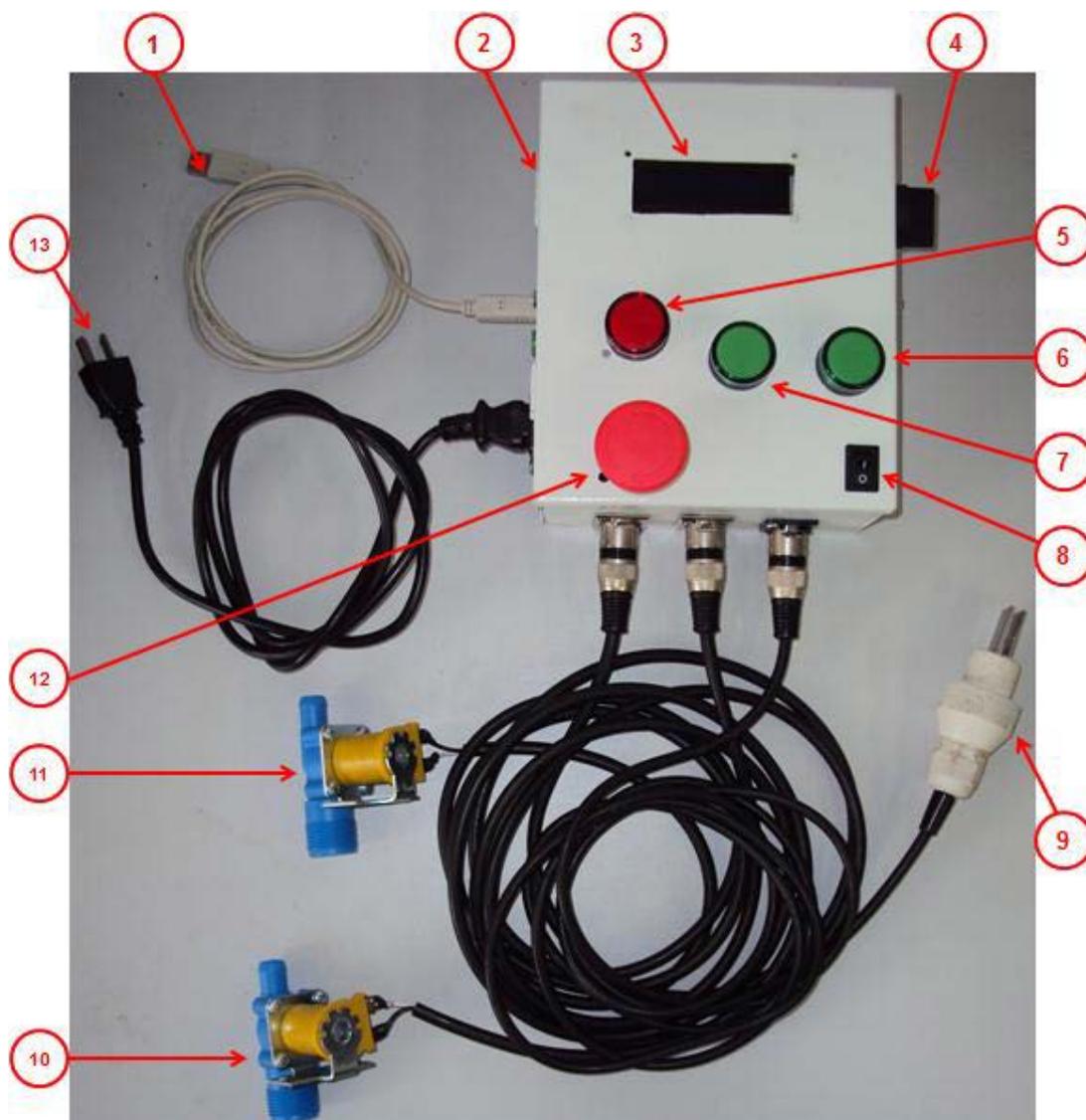
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Após a confecção da placa de circuito eletrônico, esta foi montada em uma caixa metálica, com os sinais luminosos, botões e cabos para conexão do sensor, das válvulas solenoides, alimentação e comunicação USB, conforme mostrado na Figura 44.

Conforme apresentado na Figura 44, tem-se no número 1, o cabo da comunicação USB, usado para fazer a gravação microcontrolador, sem a necessidade de retirar este da placa de circuito impresso; 2 é a caixa metálica; 3 é o visor de LCD, que apresenta algumas informações durante o processo; 4 é a chave comutadora utilizada para alimentar o circuito com a tensão da porta USB durante processo de gravação do microcontrolador ou para alimentar o circuito com a alimentação 127 VCA durante o processo de separação da glicerol e do biodiesel; 5 é o sinal luminoso de emergência; 6 é o sinal luminoso do glicerol; 7 é o sinal luminoso do biodiesel; 8 é a botão liga/desliga do equipamento; 9 é o sensor; 10 é a válvula solenoide do glicerol; 11 é a válvula solenoide do biodiesel; 12 é o botão de

emergência; 13 é o cabo da alimentação em 127 VCA. O funcionamento detalhado do equipamento se encontra descrito no Apêndice I.

Figura 44 - Equipamento para separação automática das fases glicerol-biodiesel.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para conectar o sensor e as válvulas ao circuito eletrônico foram usados conectores do tipo XLR e para o sensor um cabo blindado, a fim de evitar que ruídos e interferências possam interferir no sinal recebido pelo microcontrolador. A resistência elétrica do cabo e das chapas metálicas foram medidas com o auxílio de um multímetro e apresentaram o valor de  $3 \Omega$ , podendo ser desconsideradas para o presente trabalho.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo é apresentada a síntese dos resultados obtidos com o sistema de separação automático de fases glicerol-biodiesel produzidos a partir da transesterificação do óleo de soja refinado, utilizando a rota metílica e hidróxido de sódio como catalisador.

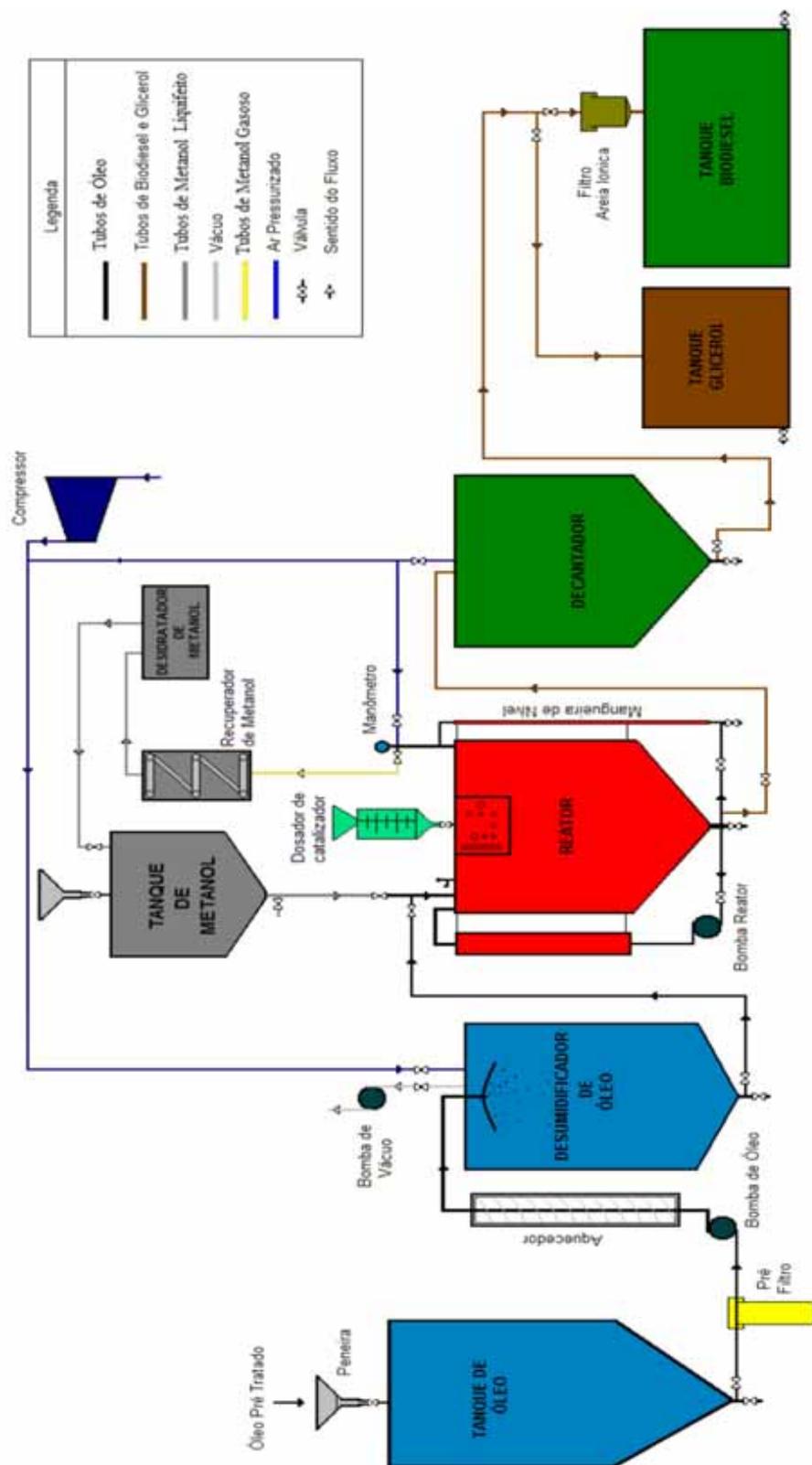
### 6.1 Montagem do sensor na mini usina de biodiesel

Uma mini usina experimental de baixo custo está sendo projetada e construída na UNESP de Ilha Solteira, para produção de biodiesel por batelada através do processo de transesterificação, utilizando a rota metílica e hidróxido de sódio como catalisador. A capacidade de produção será de 300 litros de biodiesel por dia, considerando 8 horas de trabalho diário. A mini usina utiliza um reator para o processo de transesterificação e neste processo o óleo (matéria-prima) deve estar a 65 °C.

Numa primeira etapa a mini usina será fixa e destinada à produção de biodiesel a partir da reciclagem de óleo de cozinha usado, óleo de soja, ente outras matérias-primas. Numa segunda etapa, a mesma será montada sobre rodas para poder ser usada no campo, neste caso sendo necessária a incorporação de uma prensa para extração do óleo vegetal e, também, de um gerador de energia movido a biodiesel para os acionamentos elétricos, tornando a planta autossuficiente. O biodiesel produzido passará por testes laboratoriais para verificar suas propriedades físico-químicas básicas e depois será testado em motores de combustão interna automotivos e estacionários (geradores), sendo avaliado o consumo e o desempenho para diversas cargas, comparando com o biodiesel comercial (B5) e com vários tipos de misturas (B25, B50 e B75) feitas com base no biodiesel comercial (B5).

A Figura 45 representa o esquema da mini usina de biodiesel e a Figura 46 representa as fotos da mini usina de biodiesel, sendo possível observar o reator BIOCUM-100 que vinha sendo utilizado nas pesquisas até então.

Figura 45 - Esquema da mini usina da UNESP de Ilha Solteira.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 46 - Foto da mini usina de biodiesel.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 46 é possível observar o decantador indicado com a seta amarela, onde se instalará o sensor proposto nesse trabalho, sendo primeiramente necessária a inserção do mesmo numa cruzeta, conforme mostrado na Figura 47.

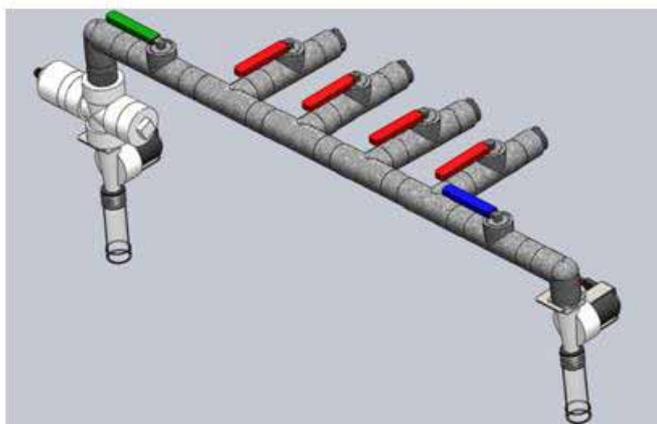
Foi buscada uma forma de instalação que não alterasse a disposição atual das tubulações na saída do decantador, representada na Figura 48. Conforme pode ser visto nesta figura, o decantador da planta de biodiesel da UNESP de Ilha Solteira é composto por 4 partes independentes e, portanto, possui 4 válvulas de controle manual de saída (cor vermelha) que se conectam a uma tubulação, sendo na extremidade esquerda instalada uma válvula (cor verde) para a saída da glicerol e na extremidade direita uma válvula para a saída do biodiesel (cor azul). Assim, a cruzeta com o sensor foi instalada no lado esquerdo inferior da tubulação e logo após a mesma foi instalada uma válvula solenoide destinada ao direcionamento do glicerol para o tanque de descarte, sendo que no canto direito inferior da tubulação foi instalada uma válvula solenoide para o direcionamento do biodiesel a um tanque pulmão para posterior sequência do processo de purificação do mesmo.

Figura 47 - Sensor montado numa cruzeta de PVC.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 48 - Disposição do sensor e das válvulas na tubulação.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 6.2 Medições com biodiesel e glicerol de óleo de soja refinado

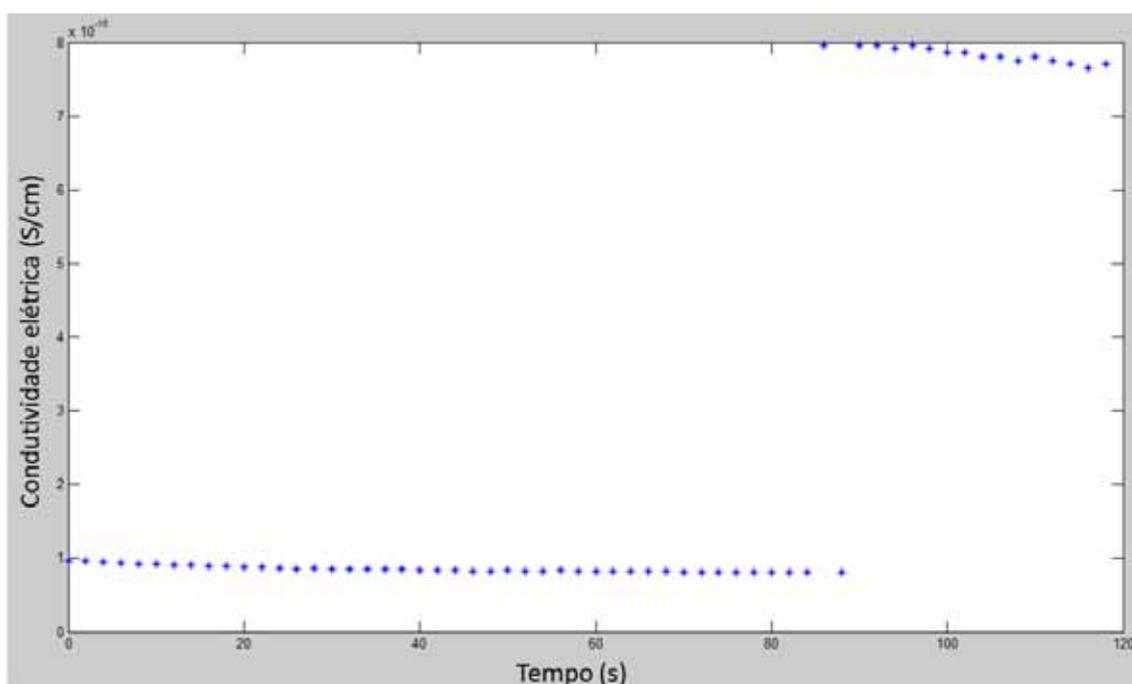
Para a calibração do sensor, o mesmo foi colocado em contato com a glicerina e observado que o valor da leitura do canal analógico digital do microcontrolador não excedia o valor de 700 no nível de avaliação do canal analógico digital do microcontrolador, que vai até 1023. Assim, aquele valor foi inserido na programação como sendo um parâmetro para o acionamento das válvulas solenoides para a separação do biodiesel e do glicerol.

Ademais, foi programado um sistema de proteção para os casos em que a condutividade atinja os valores máximo (quando o sensor estiver em vazio) e mínimo (quando o sensor estiver em curto circuito) de modo que o visor de LCD indique que o sensor está verificando a informação recebida e nesse momento nenhuma das válvulas serão acionadas.

Todavia, com os testes realizados com o biodiesel o valor de condutividade elétrica foi praticamente nulo com o valor ADC de 1023, ou seja, como se o sensor estivesse em vazio. Para que o sensor identificasse o biodiesel foi então inserido na programação que, após o escoamento do glicerol, se o valor de leitura do microcontrolador for superior a 700 e menor ou igual a 1023, ter-se-á o biodiesel.

O sensor foi inserido em uma amostra de glicerol para que fosse analisado o valor de sua condutividade elétrica e avaliar o funcionamento da lógica desenvolvida. O registro da condutividade desse glicerol em contato com o sensor foi observado no visor de LCD durante 2 minutos e os dados foram coletados para análises, sendo depois elaborado o gráfico da condutividade elétrica do glicerol, mostrado na Figura 49.

Figura 49 - Condutividade elétrica do glicerol.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O circuito eletrônico acionou o sinal luminoso e abriu a válvula solenoide correspondentes ao glicerol, conforme previsto. Com o valor de leitura do canal analógico do microcontrolador, e utilizando a Equação 8, foi possível calcular o valor da condutividade elétrica média para o glicerol resultando  $2,7164 \times 10^{-15}$  S/cm, considerando o valor da célula de condutividade igual a  $1,33 \text{ cm}^{-1}$ , conforme a Equação 7. Ademais, com a diferença de potencial no sensor tem-se o valor de

$4,77 \times 10^{-6} W$  para a potência dissipada quando o glicerol está em contato com o sensor, conforme a Equação 12.

Assim, como para o glicerol, quando o líquido em contato com o sensor foi o biodiesel, o circuito eletrônico acionou o sinal luminoso e abriu a válvula solenoide correspondente ao biodiesel, também como programado.

Quanto aos valores de condutividade elétrica da fase biodiesel, por não possuir íons livres não foi detectado pelo sensor e este foi considerado como sendo nulo, todavia, tal fato é controlado pela lógica do programa no microcontrolador, que após passar a fase glicerol identificável, consegue enviar o líquido seguinte à outro reservatório.

Portanto, o valor de condutividade elétrica do glicerol apesar de pequena é maior do que o valor da condutividade elétrica do biodiesel, conforme proposto na teoria supracitada, fato este que é suficiente para acionar as válvulas para separar o biodiesel e glicerol de forma automática.

A Figura 50 representa o sistema montado para os testes realizados em bancada.

Figura 50 - Sistema para teste em bancada.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 7 CONCLUSÃO

As etapas de modelagem e simulação computacional da parte eletrônica do sensor estudado neste trabalho colaboraram para a compreensão do funcionamento observado experimentalmente. Além disso, estas foram importantes para o projeto, possibilitando a visualização de diversas características antes mesmo da fabricação do sensor.

No que diz respeito ao funcionamento do sensor, pode-se concluir que todos os objetivos propostos foram plenamente atingidos, pois durante os testes o mesmo se mostrou capaz de identificar o biodiesel e o glicerol, acionar as válvulas para direcionar tais líquidos para reservatórios distintos e apresentar as informações no visor do LCD.

Analisando o processo de construção do sensor, pode-se concluir que foram utilizados componentes simples e de baixo custo comercial, tornando-o um dispositivo barato e de fácil implementação para plantas de biodiesel que utilizam decantadores para separar as fases formadas por biodiesel e glicerol.

No decorrer deste trabalho, foram encontradas algumas dificuldades, tais como: usinagem do corpo do sensor; programação em linguagem C; possibilidade com o escoamento do glicerol no decantador.

Os resultados obtidos com este sensor abre caminho para uma infinidade de sugestões de trabalhos futuros como a utilização deste para separar o biodiesel da água durante o processo de lavagem do biodiesel quando este for o processo escolhido; desenvolvimento de um estudo detalhado sobre a condutividade elétrica do biodiesel e do glicerol para diversos tipos de matérias-primas utilizadas na produção deste biocombustível; além de uma análise das resistências em várias temperaturas.

Estudos futuros poderão ser feitos para adequar o sensor à produção em escala comercial, tal como a fixação o sensor na planta de biodiesel de forma prática. Também poderão ser elaborados sistemas de controle com o auxílio de um computador, usando a comunicação com a porta USB por meio de uma interface gráfica com o usuário. Ademais, como o valor da condutividade elétrica pode variar com a temperatura, tem-se a possibilidade de inserir um sensor de temperatura na cruzeta de PVC e fazer a leitura desse valor, através de uns dos canais analógicos

digitais ainda disponíveis do microcontrolador, possibilitando, assim, obter um valor de condutividade elétrica com maior precisão.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos.**

Disponível em:

<<http://books.google.com.br/books?id=AZJHvMWNHc4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2012.** Rio de Janeiro, 2012a.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Biocombustíveis.** Rio de Janeiro, 2012b. Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/?id=470>>. Acesso em: 28 dez. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim mensal de biodiesel.** Rio de Janeiro, 2012c. Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/?pg=59087&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1327607261826>>. Acesso em: dez. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2010.** Rio de Janeiro, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2009.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística de 2012.** São Paulo, 2010.

Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2012/>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

BARROSO, A. C.; ALVES, L. B. O biodiesel na matriz energética do Brasil: uma análise das externalidades. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: [s. n.], 2008. p. 7-8.

BBC – BRASIL. **Eu quer eliminar carros a gasolina e a diesel de suas cidades até 2050.** [S. l.], 2011. Disponível em:

<[http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/03/110328\\_transportes\\_ue\\_pai.shtm](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/03/110328_transportes_ue_pai.shtm)>. Acesso em: 24 abr. 2011.

BIOCOM BIOCOMBUSTÍVEIS S.A. **Manual de operação do reator BIOCUM 100.** Campo Grande: [s.n.], 2008.

BIODIESELBR. **Tudo sobre biodiesel.** Curitiba, 2011. Disponível em:

<<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/biodiesel.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

BIODIESEL.ORG. **Production statistics**. Curitiba, 2013. Disponível em <<http://www.biodiesel.org/production/production-statistics>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Justiça. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 de janeiro de 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Justiça. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 de setembro de 2011. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12490.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12490.htm)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

CADERNOS NAE – NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Biocombustíveis. **Cadernos NAE**, Brasília, n. 2, p.105-108, 2004. Disponível em: <[http://www.biodiesel.gov.br/docs/Cadernos\\_NAE\\_v.2.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/Cadernos_NAE_v.2.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2010.

CADERNO 55. **Biodiesel**: fatos e atualidades. [S. l.], 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/caderno-55-biodiesel-fatos-e-atualidades-pdf-pdf-a32515.html>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

CÂMARA, G. M. S. **Biodiesel Brasil**: estado atual da arte. Piracicaba: CIB, 2006. Disponível em: <[http://www.cib.org.br/pdf/biodiesel\\_brasil.pdf](http://www.cib.org.br/pdf/biodiesel_brasil.pdf)>. Acesso em: 1 maio 2010.

CARDOSO, D. et al. **Sensor de condutividade e método do escoamento do biodiesel e de produtos em fase líquida de condutividades diversas**. São Carlos: Fundação Universidade de São Carlos, 2009a.

CONSTANTINO, M. G.; SILVA, G. V. J.; DONATE, P. M. **Fundamentos de química experimental**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <<http://ebah.info/arquivo/download?arquivo.id=41795&usuario.id=515709>>. Acesso em: 1 maio 2010.

COSTA NETO, P. R. **Obtenção de ésteres alquílicos (biodiesel) por via enzimática a partir do óleo de soja**. 2002. 133 f. Tese (Doutorado em Química) - Centro de Ciências Físicas e Matemática, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova On Line**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009. Disponível em: <<http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2009/vol32n3/20-QN09125.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2011.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto gerador**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2010.

EMERSON PROCESS. **Theory and application of conductivity**. [S. l.], 2010.

Disponível em:

<[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq\\_ADS\\_43-018.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq_ADS_43-018.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco energético nacional – 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

<[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2010.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano decenal de expansão de energia – 2019**. Brasília, DF, 2010. Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PDE2019\\_03Maio2010.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PDE2019_03Maio2010.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano nacional de energia 2030 – PEN 2030. In: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Combustíveis líquidos**. Brasília, DF, 2007. Disponível em:

<[http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_10.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_10.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2012.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **International energy outlook - 2010**. Washington, 2010. Disponível em:

<[http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2010\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2010).pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2011.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **International energy outlook - 2011**. Washington, 2011. Disponível em:

<[www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2013.

EUROPEAN BIODIESEL BOARD. **About biodiesel**. Bruxelles, 2012a. Disponível em: <<http://www.ebb-eu.org/biodiesel.php>>. Acesso em: 06 dez. 2012.

EUROPEAN BIODIESEL BOARD. **Production of biodiesel in the EU**. Bruxelles, 2012b. Disponível em: <<http://www.ebb-eu.org/biodiesel.php#eupro>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

EUROPEAN BIODIESEL BOARD. **Statistics**. Bruxelles, 2012c. Disponível em:

<<http://www.ebb-eu.org/stats.php>>. Acesso em: 06 dez. 2012.

EUROPEAN BIODIESEL BOARD. **Press release 2009-2010: EU biodiesel industry restrained growth in challenging times**. [S. l.], 2010. Disponível em: <[http://www.ebb-eu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%202009%20prod%202010\\_capacity%20FINAL.pdf](http://www.ebb-eu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%202009%20prod%202010_capacity%20FINAL.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2010.

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. **KA78XX/KA78XXA: 3-Terminal 1A positive voltage regulator**. [S. l.], 2010. Disponível em: <[http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/390068\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/390068_DS.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2010.

FERNANDES, W. D. R. **Produção de biodiesel a partir de óleo de fritura residual**. 2012. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/294/1/PB\\_COQUI\\_2011\\_1\\_09.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/294/1/PB_COQUI_2011_1_09.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2013.

FERREIRA, A. B. B. **Desenvolvimento de um sensor de condutividade elétrica aparente do solo**. 2009. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. **O biodiesel e sua contribuição ao desenvolvimento brasileiro**. Brasília, DF: UFGV/UBRABIO, 2010. Disponível em: <<http://www.ubrabilio.com.br/sites/1700/1729/00000201.pdf>> Acesso em: 20 dez. 2011.

GAZZONI, D. L. **Incentivos à produção de biodiesel nos EUA**. [S. l.: s.n], 2010. Disponível em: <<http://dlgazzeni.sites.uol.com.br/pagina28.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2010.

GERPEN, J. V.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. **Biodiesel production technology**. Washington: National Renewable Energy Laboratory, 2004.

GÓES, P. S. A. **O papel da Petrobras na produção de biodiesel: perspectivas de produção e distribuição do biodiesel de mamona**. 2006. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo Ênfase em Produção Limpa) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

INFOENER: Sistemas de Informações Energéticas. **Óleo vegetal no Brasil**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/texto/brasil/indoleo.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Algas podem render mais biodiesel que qualquer planta**. [S. l.], 2008. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=biodiesel-de%20algas-marinhas&id=010115081219>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Algas podem substituir metade do petróleo e inaugurar química verde**. [S. l.], 2009. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=algas-substituir-petroleo-quimica-verde&id=010115100816>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

KHALIL, C. N. As tecnologias de produção de biodiesel. **O futuro da indústria: biodiesel**, Brasília, v. 14, p. 83-90, 2006. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/o-futuro-da-industria-biodiesel-pdf-a32084.html>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

LIMIRO, D. **Biodiesel: a bola da vez**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <<http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/DowContador?OpenAgent&unid=B64E4E9C736D5A8F832572C900449BCD>>. Acesso em: 1 maio 2010.

MACHADO, C. **Eletroquímica: condutância e reações químicas**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/eletroquimica-pdf-a25560.html>>. Acesso em: 1 maio 2010.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Concentração em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

MEDEIROS, J. F. et. al. Análise da produção de biodiesel de óleo de soja e purificação por centrifugação. In: SIMPÓSIO DE BIOQUÍMICA E BIOTECNOLÓGIA, 3., 2013, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2013. p. 142-145.

MENDONÇA, L. G. D. **Micro-sensor capacitivo para avaliação da qualidade de combustíveis automotivos**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MESQUITA, R. A. C. **Desenvolvimento e teste de um sistema de trigerção de energia utilizando biodiesel como combustível**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

MESSIAS, A. R. **Conectando um pen-drive a um microcontrolador (projeto Estação Pen-drive)**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/Microcontrolador/Pag05.htm>>. Acesso em: 10 set. 2010.

MICROCHIP. **PIC18F2550 data sheet**. [S. l.: s. n.], 2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Testes e ensaios para validação do uso da mistura B5 para motores e veículos**. Brasília, 2009.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO – MDA. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: inclusão social e desenvolvimento territorial**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <[http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/biodiesel/arquivos-2011/Biodiesel Book final Low Completo.pdf](http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/biodiesel/arquivos-2011/Biodiesel%20Book%20final%20Low%20Completo.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Brasília, DF, 2011. **A crise do petróleo e os biocombustíveis**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/Artigos/A\\_crise\\_do\\_petrleo\\_e\\_os\\_biocombustiveis.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/Artigos/A_crise_do_petrleo_e_os_biocombustiveis.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Boletim mensal dos combustíveis renováveis**. Brasília, DF, 2012a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicacoes.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **MME aprova o PDE 2019**. Brasília, DF, 2012b. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/noticias/destaquefoto/destaque\\_0126.html](http://www.mme.gov.br/mme/noticias/destaquefoto/destaque_0126.html)>. Acesso em 20 dez. 2011.

MORANDIM, A. A. et al. Estudo comparativo da produção de biodiesel proveniente do óleo de fritura e do óleo de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BODIESEL, 5., 2008, Varginha. **Anais...** Varginha: [s. n.], 2008. p. 164-178.

NASCIMENTO, U. M. et al. Montagem e implantação de usina piloto de baixo custo para produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BODIESEL, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: [s. n.], 2006. p. 147-150.

NAHVI, M.; EDMINISTER, J. **Circuitos elétricos**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2003.

OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Produção de biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: [s. n.], 2008. p. 2-18.

PALLAS-ARENY, R.; WEBSTER, J. G. **Sensors and signal conditioning**. 2. ed. 2001.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: [s. n.], 2003, Disponível em: <<http://www.balcom.org.br:8080/trade/upload/1189381129469503743.pdf>>. Acesso em: 24 maio. 2011.

PASCO. **Conductivity sensor**. [S. l.: s. n.], 1997.

PAZOS, F. **Automação de sistemas e robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

PENTEADO, R. A. N.; CUNHA, R. B. C.; PENTEADO, A. P. **Biodiesel: uma sinopse das conjunturas brasileira e mundial**. Curitiba: [s. n.], 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/uso/4.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2011.

PERUZZO, C. **Química na abordagem do cotidiano**. [S. l.: s. n.], 1995. Disponível em: <[http://professorcanto.com.br/resumos/a1\\_10.pdf](http://professorcanto.com.br/resumos/a1_10.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

PESWIKI. **Power pedia**: diesel engine. [S. l.], 2011. Disponível em: <[http://peswiki.com/index.php/PowerPedia:Diesel\\_engine](http://peswiki.com/index.php/PowerPedia:Diesel_engine)>. Acesso em: 1 maio 2011.

PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL – PUCRS. **LCD**. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.ee.pucrs.br/~terroso/html/lcd.html>>. Acesso em: 10 set. 2010.

PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL. **Biodiesel**: o novo combustível do Brasil. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <[http://www.biodiesel.gov.br/docs/PNPB\\_LancRede.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/PNPB_LancRede.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2010.

QUESSADA, T. P. **Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos**. Buenos Aires: [s. n.], 2008.

RAMOS, L. P. et. al. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011. Disponível em: <<http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/view/190/191>>. Acesso em: 12 de nov. 2012.

RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. A. A.; SOUZA, C. G. O biodiesel no contexto do desenvolvimento sustentável: um estudo exploratório. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s. n.], 2008. p. 9-10.

RUSSELL, J. B. **Química geral**. São Paulo: Makron Books, 1994.

SANTOS, P. S. B.; PEDRO, R. B. **Desenvolvimento de um sensor de condutividade elétrica para diferenciação de fases glicerina e biodiesel**. 2010. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – UNISALESIANO, Araçatuba, 2010.

SCHIEFELBEIN, S. L. et al. A high-accuracy, calibration-free technique for measuring the electrical conductivity of liquids. **Review of Scientific Instruments**. Cambridge, v. 69, n. 9, p. 3308-3314, 1998.

SEBRAE. **Biodiesel**. [S. l.], 2011. Disponível em: <<http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/DowContador?OpenAgent&unid=D170D324C7521915832572B200470F63>>. Acesso em: 1 out. 2011.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de química analítica**. São Paulo: Thomson, 2005.

SHVOONG. **O biodiesel no mundo**. [S. l.], 2010. Disponível em: <<http://pt.shvoong.com/humanities/1694353-biodiesel-mundo/>>. Acesso em: 20 jul. 2010.

SNOWPURE. **Frequently asked questions about conductivity.** [S. l.], 2003.

SOLARBOTICS. **The Microchip PIC 16F877A.** [S. l.], 2010. Disponível em: <<http://www.solarbotics.com/products/pic16f877a/>>. Acesso em: 10 set. 2010.

SOUZA, D. **Desbravando o PIC.** 8. ed. São Paulo: Érica, 2004.

THINKING AHEAD. **Archive for the biodiesel category.** [S. l.], 2011. Disponível em: <<http://www.usbthinkingahead.com/category/biodiesel/>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais:** fundamentos e aplicações. São Paulo: Érica, 2005.

TOLMASQUIM, M. T. **Civilização da biomassa:** matriz energética. São Paulo: IEA/USP, 2011. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/mo/tolmasquimmatriz.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

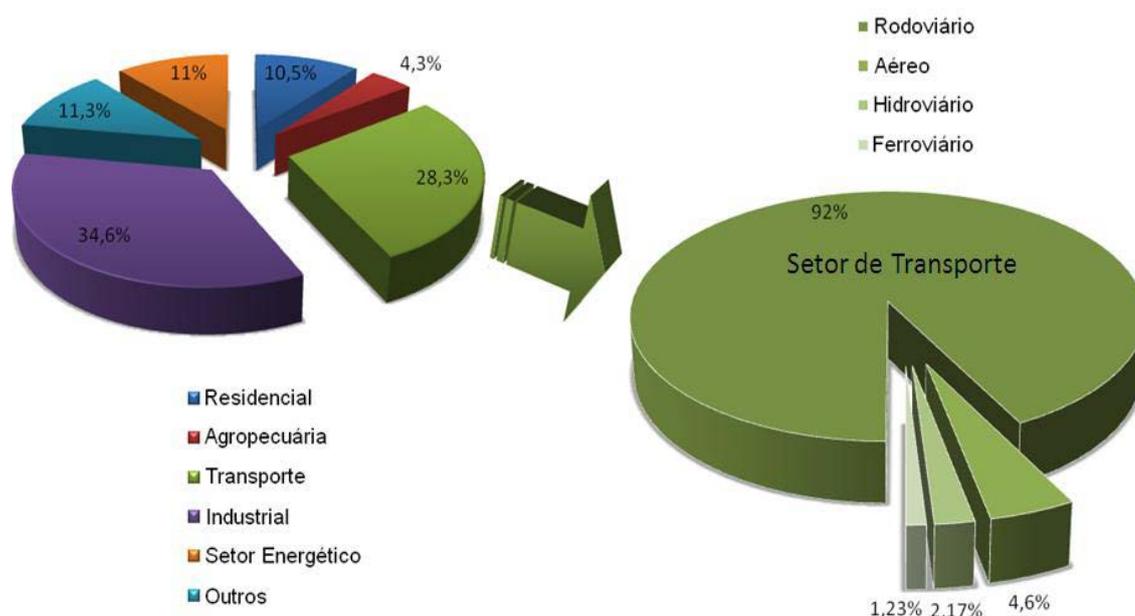
WERNECK, M. M. **Transdutores e Interfaces.** Rio de Janeiro: LTC, 1996.

ZIMMERMAN, J. **Brazil oilseeds and products annual:** 2010 annual oilseeds report. [S. l.]: USDA Foreign Agriculture Service, 2010. Disponível em: <[http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Oilseeds%20and%20Products%20Annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_4-6-2010.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Oilseeds%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_4-6-2010.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2010.

## APÊNDICE A – CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR DE TRANSPORTES

O relatório final do Balanço Energético Nacional de 2010 (BEN 2010), que apresenta os dados do consumo de energia por setor no Brasil em 2009, destaca que os setores da indústria e de transporte foram responsáveis por cerca de 62,9 % da energia consumida no país, conforme representado na Figura 51, na qual verifica-se que o setor de transporte apresenta uma participação expressiva no consumo de energia, com uma demanda de 92 % somente para o transporte rodoviário.

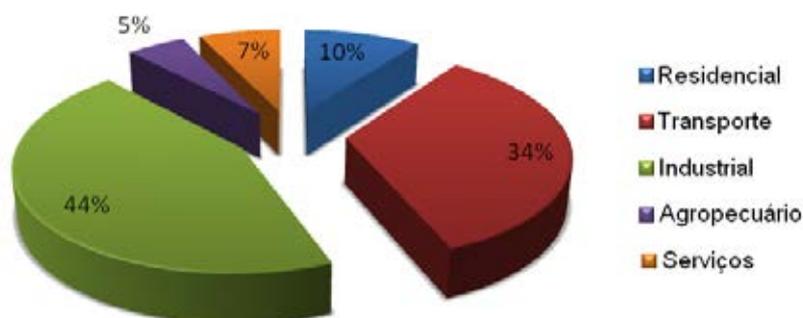
Figura 51 - Consumo de energia por setor no Brasil em 2009.



Fonte: Adaptado de EPE (2010).

A EPE (2010) prevê um aumento do consumo de energia no Brasil, principalmente no setor de transportes, que será responsável por 34 % do consumo energético do país em 2030, como se pode observar na Figura 52.

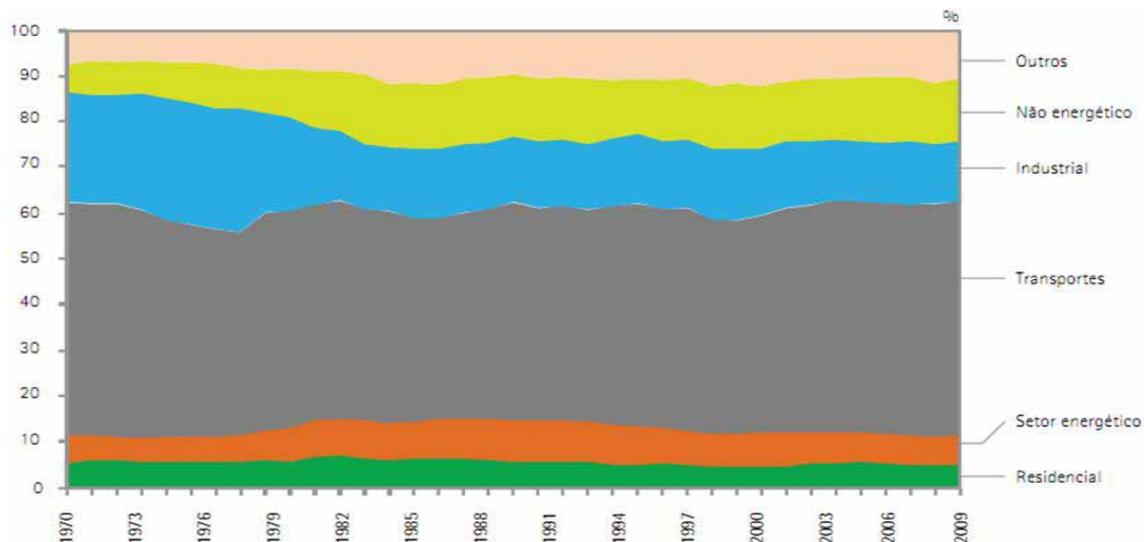
Figura 52 - Consumo total de energia por setor no Brasil em 2030.



Fonte: Adaptado de EPE (2010), citado por Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT (2009).

O BEN-2010 apresenta em detalhes o consumo de derivados de petróleo no Brasil por setores, de acordo com o ano base de 2009, sendo que na Figura 53 pode ser notado que o setor de transporte teve uma participação de 51,2 % no consumo total.

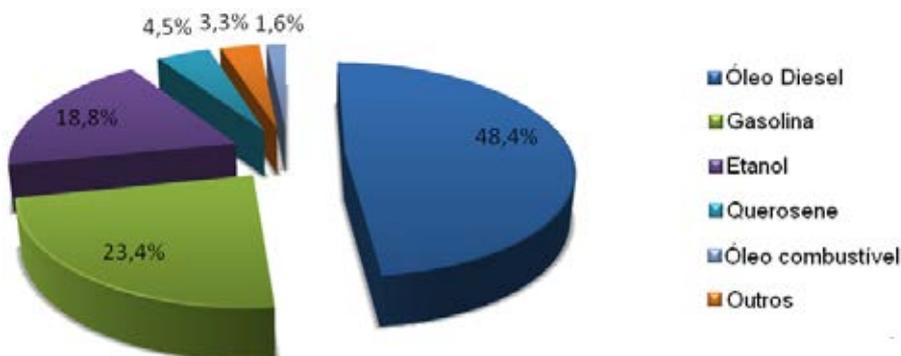
Figura 53 - Consumo de derivados de petróleo por setor em 2009.



Fonte: EPE (2010).

Dados do BEN-2010 indicam que o óleo diesel é o combustível mais utilizado para o setor de transporte no Brasil e que no ano de 2009 representou 48,4 % do consumo total para este setor, conforme mostrado na Figura 54.

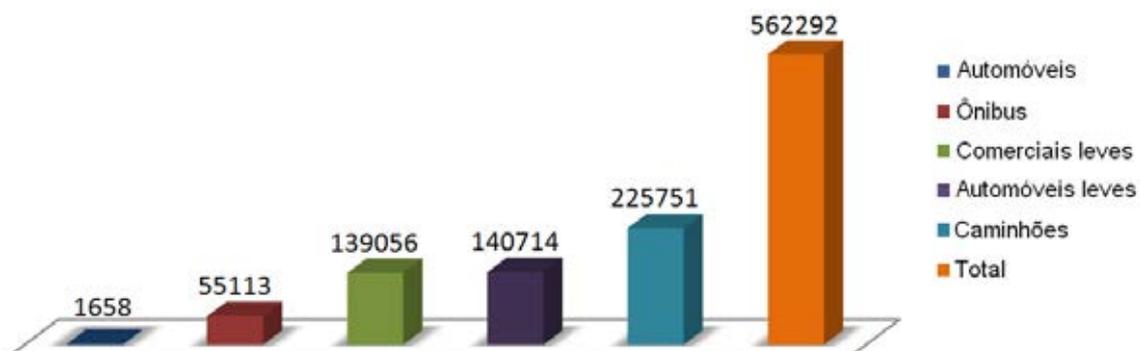
Figura 54 - Consumo de combustível no setor de transporte em 2009.



Fonte: Adaptado de EPE (2010).

De acordo com o Anuário da Indústria Automobilística de 2012, realizado pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), em 2011 foram produzidos mais de 562 mil veículos a diesel no Brasil, sendo que aproximadamente 40,1 % são caminhões e 9,8 % são ônibus, conforme ilustrado na Figura 55.

Figura 55 - Produção de veículos a diesel em 2011.



Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2012).

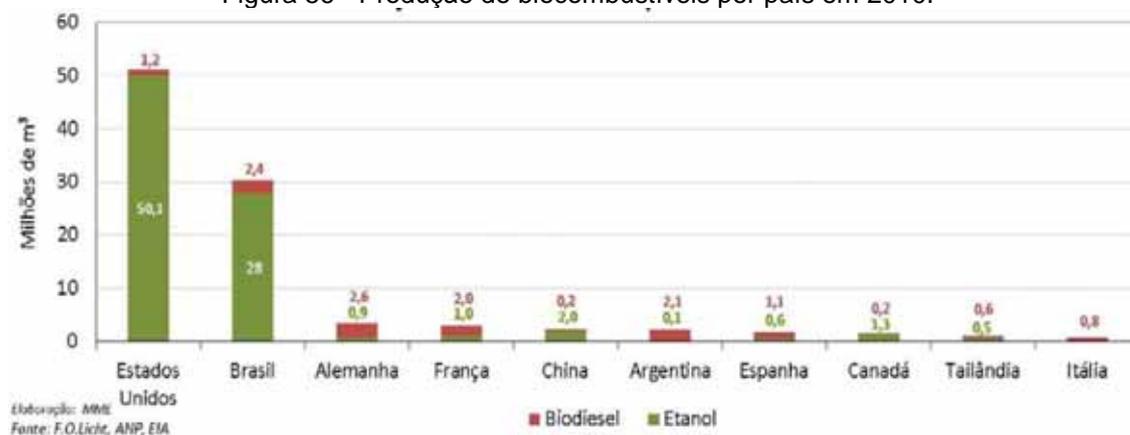
Inegavelmente, o desenvolvimento e uso de energias renováveis para o setor de transporte é um fator de relevante importância na avaliação das tendências futuras na demanda por combustíveis líquidos que, além de reduzir as emissões de poluentes, possibilita uma enorme economia com importação de derivados de petróleo, como o óleo diesel, que em 2008 contribuiu com 32,5 % do volume total importado, correspondendo a 46 % dos gastos com importações de derivados, totalizando US\$ 11,2 bilhões (ANP, 2009).

## APÊNDICE B – BIOCOMBUSTÍVEIS NO MUNDO

No contexto dos biocombustíveis em geral, os Estados Unidos seguem como maior produtor do mundo. Em 2010, o país produziu 50,1 milhões de m<sup>3</sup> de etanol a partir do milho, 78 % mais do que a produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar (28 milhões de m<sup>3</sup>).

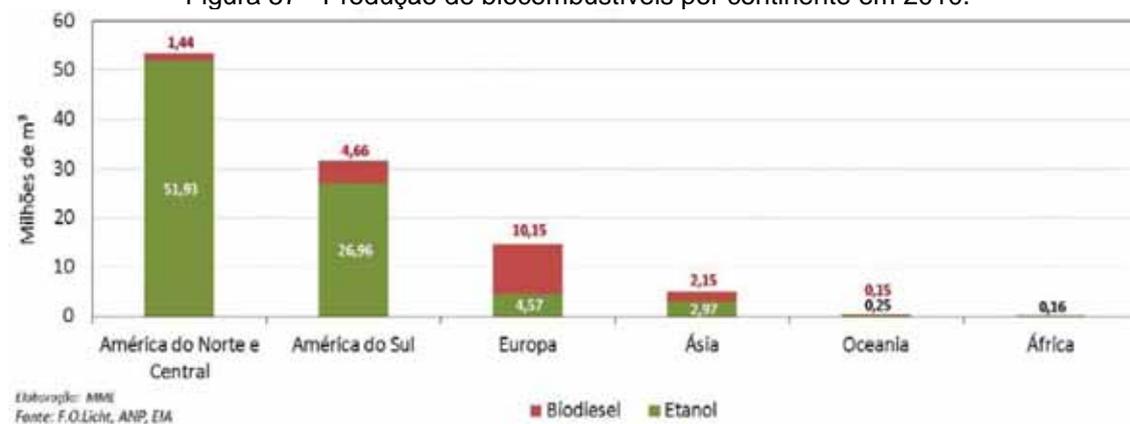
A Figura 56 representa a produção de biocombustíveis em alguns países em 2010 e na Figura 57 é mostrada a produção de biocombustíveis por continente em 2010.

Figura 56 - Produção de biocombustíveis por país em 2010.



Fonte: MME (2011).

Figura 57 - Produção de biocombustíveis por continente em 2010.



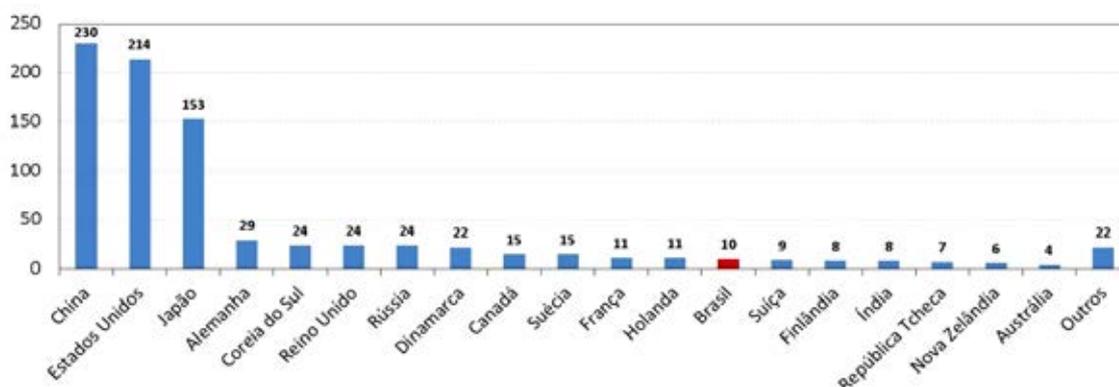
Fonte: MME (2011).

De acordo com a Figura 57, verifica-se que a América do Norte e Central foram os maiores produtores de biocombustíveis em 2010 (53,46 milhões de m<sup>3</sup>), devido em grande parte, à produção de etanol norte-

americana. A América do Sul produziu 33,71 milhões de m<sup>3</sup> de biocombustíveis, sendo que uma fatia expressiva da produção sul-americana deve-se à produção brasileira de etanol e biodiesel. A Europa ficou atrás das Américas com uma produção total de 14,72 milhões de m<sup>3</sup>, seguida pela Ásia (5,12 milhões de m<sup>3</sup>), Oceania (0,4 milhões de m<sup>3</sup>) e África (0,16 milhões de m<sup>3</sup>).

De acordo com o Boletim Mensal de Combustíveis Renováveis do MME de março de 2011, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) publicou o estudo *“Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo”*. Neste estudo, foi realizado um levantamento sobre o número de patentes em biocombustíveis a fim de identificar os países que estão na vanguarda do desenvolvimento tecnológico desse setor. Foram identificadas 846 patentes relativas à produção de etanol, sendo que a China é o país com o maior número de patentes de propriedades de indivíduos ou entidades nacionais. O Brasil ocupa o 13º lugar, com 10 patentes, conforme representado na Figura 58.

Figura 58 - Número de patentes na produção de etanol de 2006 a 2010.

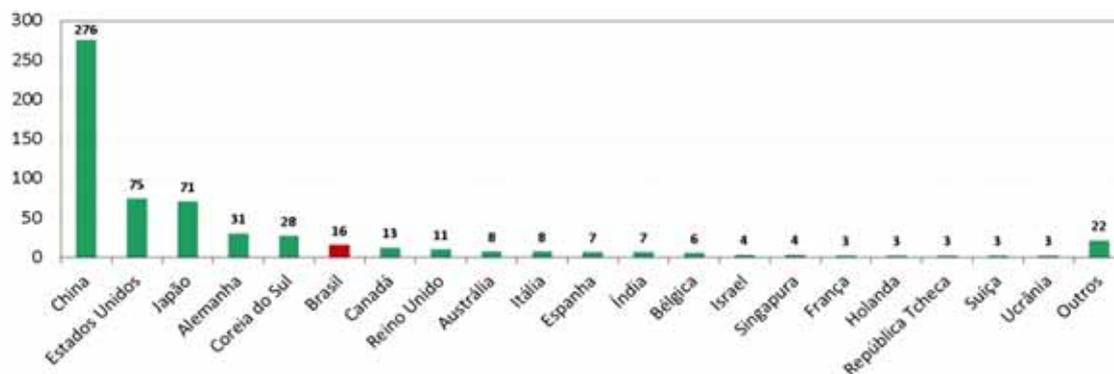


Fonte: MME (2011).

O estudo considerou o número de patentes registradas como um indicador que permite a obtenção de uma imagem da evolução de cada país na geração de inovação e levou em conta tecnologias de obtenção das principais matérias-primas, produtos intermediários e produtos finais relativos a biocombustíveis.

Com relação ao biodiesel, o estudo da CEPAL identificou 602 patentes e, novamente, a China apareceu com o maior número de patentes. O Brasil ocupa o 6º lugar, com 16 patentes, conforme representado na Figura 59.

Figura 59 - Número de patentes na produção de biodiesel de 2006 a 2010.



Fonte: MME (2011).

Conforme supracitado o desenvolvimento dos biocombustíveis tem apresentado ótimos frutos para o todos os setores. Todavia, para que se tenha um crescimento sólido e se consiga consolidar o setor de biocombustíveis com confiança perante o mercado consumidor, até se tornar uma *commodity*, será necessário investir de forma intensificada em pesquisas.

## APÊNDICE C – BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

No Brasil, a primeira crise mundial do petróleo em 1973 motivou o governo brasileiro a desenvolver programas de substituição de derivados de petróleo por fontes energéticas nacionais.

O Proálcool (Programa Nacional do Álcool), lançado em 1975, consistiu na produção de álcool combustível (etanol), a partir da sacarose extraída dos colmos da cana-de-açúcar, a fim de substituir a gasolina. Paralelamente a este programa foi instituído em 1980 o Pró-óleo (Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos), o qual pretendia substituir parcial ou integral o óleo diesel por óleos vegetais e incentivar a pesquisa tecnológica para promover a produção de óleo vegetais nas diferentes regiões do país (BIODIESELBR, 2011).

A Figura 60 representa a evolução dos biocombustíveis no Brasil.

Figura 60 - Evolução dos biocombustíveis no Brasil.



Fonte: ANP (2012).

A Lei nº 12.490/2011 insere como princípios e objetivos da Política Energética Nacional:

- Garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional;
- Incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis;
- Promover a competitividade do país no mercado internacional de biocombustíveis;
- Atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis;
- Fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;
- Mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis.

Cerca de 45 % da energia e 18 % dos combustíveis consumidos no Brasil são renováveis, no resto do mundo 86 % da energia vêm de fontes energéticas não-renováveis (ANP, 2012).

Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil é o segundo maior produtor de etanol e biodiesel, sendo considerado líder internacional em matéria de biocombustíveis, ocupando uma posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como estratégias ao petróleo (ANP, 2012).

De acordo com um estudo realizado pelo Departamento de Combustíveis Renováveis (DCR) e publicado pelo MME no Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis na edição de janeiro de 2011, a cooperação do Brasil em biocombustíveis abrange 77 países, ou seja, mais de um terço das nações do mundo, conforme destacado em verde na Figura 61.

Figura 61 - Cooperação brasileira em biocombustíveis no mundo.



Fonte: MME (2011).

O Brasil tem realizando uma série de acordos de cooperação internacional visando incentivar o intercâmbio de informações, permitirem acordos tecnológicos e possibilitar a criação de padrões e normas técnicas internacionais, que são fundamentais para permitir consolidar o mercado mundial de biocombustíveis (MME, 2011).

De acordo com MME (2010) a demanda de biocombustíveis líquidos terá crescimento médio anual de 8,7 % para o etanol e 9,8 % para o biodiesel, implicando investimentos de R\$ 66 bilhões, de 2010 a 2019.

Para o mesmo período, a participação dos biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel) na matriz de consumo final energética, passará de 7,5 % para 8,3 %. Os biocombustíveis como um todo, incluindo além dos líquidos, bagaço de cana, lenha, carvão vegetal e outros, aumentará ligeiramente a sua participação de 35,5 % para 36,3 % (PDE-2019, 2010).

Ademais, vale destacar as inúmeras externalidades positivas decorrentes do uso de biocombustíveis, como a geração de emprego e renda no campo e a dinamização das economias locais.

## APÊNDICE D – HISTÓRICO DO BIODIESEL

Muito antes dos temas relacionados à educação ambiental, aquecimento global e energias renováveis se tornarem clichês, em 1900, Rudolph Diesel apresentou na Exposição Mundial de Paris, um motor de ignição por compressão que funcionava com óleo de amendoim (BIODIESELBR, 2011). Na Figura 62 está representado o motor Diesel da primeira geração.

Figura 62 - Motor Diesel da primeira geração.



Fonte: Peswiki (2011).

No capítulo intitulado “Combustíveis Líquidos” do livro escrito por Diesel “O surgimento das Máquinas Diesel” (*Die Entstehung des Diesel Motors*), a companhia Otto demonstrou o funcionamento de um pequeno motor diesel com bio-óleo de amendoim. Tal experiência foi tão bem sucedida que apenas alguns dos presentes perceberam as circunstâncias em que a mesma havia sido conduzida. O motor, que havia sido construído para consumir petróleo, operou com óleo vegetal sem qualquer modificação. Também foi observado que o consumo de óleo vegetal resultou em um aproveitamento do calor literalmente idêntico ao do petróleo (KNOTHE; GERPEN; KRAHL, 2006).

O governo francês da época incentivava as pesquisas com o óleo de amendoim, já que esta cultura era produzida em grandes quantidades nas colônias africanas, com a intenção de estimular a autossuficiência energética nas suas colônias do continente africano, minimizando os custos relativos às importações de carvão e combustíveis líquidos (BIODIESELBRASIL, 2011).

Durante uma apresentação no Instituto de Engenheiros Mecânicos da Grã-Bretanha em 1912, Diesel fez a seguinte afirmação “o uso de óleos vegetais pode parecer insignificante hoje, mas tais óleos podem se tornar ao longo do tempo, tão importante quanto o petróleo e o carvão de hoje” (BIODIESELBR, 2011), o que se acabou confirmando.

As preocupações com o aumento descontrolado do uso de derivados do petróleo e as perspectivas de que houvesse a falta destes produtos nos Estados Unidos, estimularam, na Universidade Estadual de Ohio, o desenvolvimento de projetos sobre o uso de misturas binárias, dentre os quais o uso de óleos de caroço de algodão, milho e misturas destes com diesel convencional (KNOTHE; GERPEN; KRAHL, 2006).

O primeiro relato do que hoje é conhecido como biodiesel, consta na patente belga 422.877, concedida em 31 de agosto de 1937 ao pesquisador Charles George Chavanne, denominada *Procédé de Transformation d'Huiles Végétales en Vue de Leur Utilisation comme Carburants* (Procedimento para a transformação de óleos vegetais para seu uso como combustíveis), que descreve a transesterificação do óleo de palma com metanol ou etanol na presença de ácido sulfúrico como catalisador (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

Em 1942 foi publicado um relatório que descreve o que deve ter sido o primeiro teste de campo com um ônibus urbano movido a biodiesel. O ônibus foi abastecido com ésteres etílicos de palma e transportou passageiros em uma linha comercial entre as cidades de Bruxelas e Lovaina durante o verão de 1938 e o desempenho do ônibus foi relatado como satisfatório (KNOTHE; GERPEN; KRAHL, 2006).

Com o advento dos motores diesel de injeção direta sem pré-câmara, a partir da década de 50, foi disseminado o uso do óleo diesel de petróleo, que adquiriu grande importância e tornou o mundo dependente desse combustível. A dimensão da situação pôde ser vista com a crise do petróleo, que elevou os

preços em mais de 300 % entre 1973 e 1974, porque os países do Oriente Médio descobriram que o petróleo é um bem não renovável e que, por isso, iria acabar algum dia. Dessa forma, os produtores de petróleo, diminuíram a produção, elevando o preço do barril de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 em apenas três meses. Nessa época as vendas para os EUA e para a Europa também foram embargadas devido ao apoio dado a Israel na Guerra do Yom Kippur, com isso as cotações chegaram a um valor equivalente a US\$ 40. Essa crise representou um verdadeiro marco na história energética do planeta, pois o homem passou a valorizar as energias, posicionando-as em destaque, com relação aos bens de sua convivência e alavancaram-se as pesquisas na busca por combustíveis alternativos (BIODIESELBR, 2011).

No Brasil, em 1980, o professor Exedito José Parente de Sá, da Universidade Federal do Ceará, solicitou a primeira patente a nível mundial para o processo de fabricação do biodiesel e do querosene vegetal de aviação (PI 8007957), com o título de “Processo de produção de combustíveis a partir de frutos ou sementes de oleaginosas”, a qual entrou em domínio público, pelo tempo e desuso (PARENTE, 2003).

A pesquisa sobre o uso do óleo de girassol transesterificado e refinado de acordo com os padrões do óleo diesel, foi iniciada em 1979 na África do Sul, mais de um século após a descoberta da transesterificação de óleos vegetais. Em 1983, o processo para a produção de biodiesel com qualidade de combustível e os testes em motores foram completados e os resultados publicados internacionalmente. Uma empresa austríaca, chamada Gaskoks, obteve a tecnologia do grupo de Engenheiros Agrícolas Sul africanos e construiu a primeira planta piloto em novembro de 1987 e a primeira planta em escala industrial em abril de 1989, com capacidade de processamento para 30 mil toneladas de sementes de colza (canola) por ano.

## APÊNDICE E – BIODIESEL NO MUNDO

O biodiesel surgiu mundialmente como uma alternativa próspera para a substituição dos combustíveis minerais, derivados do petróleo. Por ser renovável é uma fonte importante de energia que vêm sendo testada atualmente em vários países, como Brasil, Argentina, Estados Unidos, Malásia, Alemanha, França e Itália, os quais já produzem biodiesel comercialmente, estimulando o desenvolvimento em escala industrial (BIODIESELBR, 2011).

O interesse mundial pelo biodiesel resulta em vários fatores, sendo um deles a redução da dependência do petróleo cujas maiores reservas estão em regiões politicamente críticas, como o Oriente Médio. Outro motivo está relacionado às questões ambientais, que levam a substituição de combustíveis fósseis por renováveis e menos poluentes. Por outro lado, em alguns países, a plantação de oleaginosas para produção de biodiesel é considerada fonte de renda social e incentiva a fixação de populações no campo (PENTEADO; CUNHA; PENTEADO, 2007).

Na década de 90, o processo de industrialização do biodiesel foi iniciado na Europa com a montagem da primeira planta industrial em Aschach na Áustria e, a partir de então, houve a construção de várias plantas em muitos países como na Alemanha, República Tcheca, Suécia e França (BIODIESELBR, 2011). Durante o mesmo período, os países em outras partes do mundo também viram a produção local de biodiesel crescer, de forma que em 1998, o *Austrian Biofuels Institute*, identificou 21 países com projetos comerciais de biodiesel.

O principal mercado produtor e consumidor de biodiesel em grande escala tem sido a Europa, pois as refinarias de petróleo naquele continente têm buscado a eliminação do enxofre do óleo diesel e, como a lubricidade desse óleo dessulfurado diminui muito, a correção tem sido feita com a adição do biodiesel, já que sua lubricidade é extremamente elevada (SHVOONG, 2011).

Durante a década passada a Comunidade Europeia aplicou cerca de €100 milhões num Projeto de Demonstração de Biodiesel, considerado o mais relevante entre todos os programas europeus de bioenergia (BIODIESELBR, 2011).

De acordo com as metas do relatório Transporte 2050, apresentado pela Comissão Europeia, em Bruxelas, foi proposta a eliminação de todos os carros a diesel ou a gasolina das cidades do bloco até 2050 (BBC, 2011).

A União Europeia (UE) publicou diretrizes rigorosas de acordo com o CEN (Comitê Europeu de Normalização), dentre elas a norma EN 14214, que descreve os requisitos mínimos para o biodiesel, a fim de assegurar sua qualidade e desempenho (EBB, 2011).

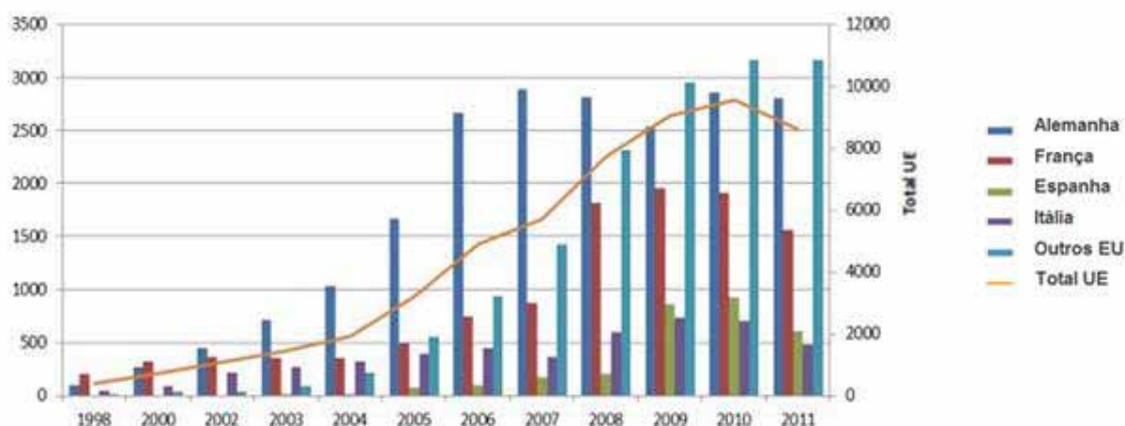
A matéria-prima utilizada na UE para a produção do biodiesel é o óleo de colza (canola), embora os óleos de palma e da soja liderem a oferta no mercado mundial (OSAKI, 2008).

Em 2009 o biodiesel representou cerca de 75 % dos biocombustíveis produzidos na Europa, entretanto ele ainda continua longe de ser o principal combustível produzido e comercializado na Europa (EBB, 2010).

De acordo com as estatísticas do Conselho Europeu de Biodiesel (*European Biodiesel Board* – EBB), a União Europeia produziu em 2010 cerca de 9,57 milhões de toneladas de biodiesel em cerca de 120 unidades localizadas, principalmente, na Alemanha, Itália, Áustria, França e Suécia.

Com a produção de 2011, os quatro maiores produtores de biodiesel na UE são: Alemanha, França, Espanha e Itália, que juntos representam mais de 63 % do biodiesel produzido na Europa. A Figura 63 representa, através de um gráfico de barras, a produção desses países entre os anos de 1998 e 2011.

Figura 63 - Produção de biodiesel na UE (em 10<sup>3</sup> toneladas).



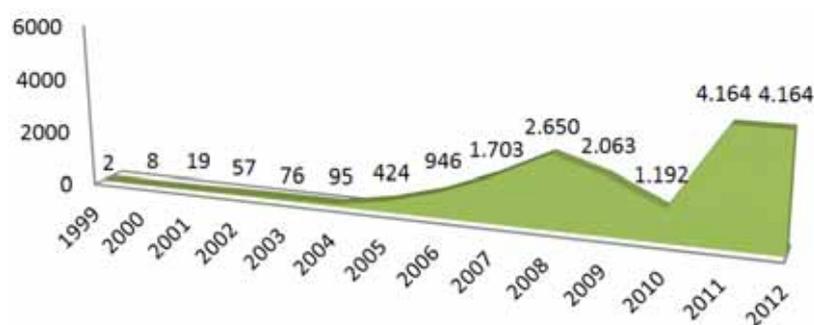
Fonte: Adaptado de EBB (2012).

O programa de biodiesel dos Estados Unidos é baseado em pequenos produtores, cuja matéria-prima empregada é a soja e os óleos de fritura. Entre 1992 e 1997 foram desenvolvidos cerca de 350 projetos de pesquisa sobre biodiesel, relacionados à produção, comercialização, uso e suas implicações (BIODIESELBR, 2011).

A indústria de biodiesel nos Estados Unidos iniciou-se na década de 90, por produtores de soja. Em 2010 existiam mais de 170 plantas de biodiesel com capacidade de produção estimada em 2,86 bilhões de litros (THINKING AHEAD, 2011).

A Figura 64 representa a produção estimada de biodiesel nos Estados Unidos em milhões de litros, entre os anos de 1999 e 2012, de acordo com o Conselho Nacional de Biodiesel (*National Biodiesel Board – NBB*).

Figura 64 - Produção de biodiesel nos EUA (em milhões de litros).

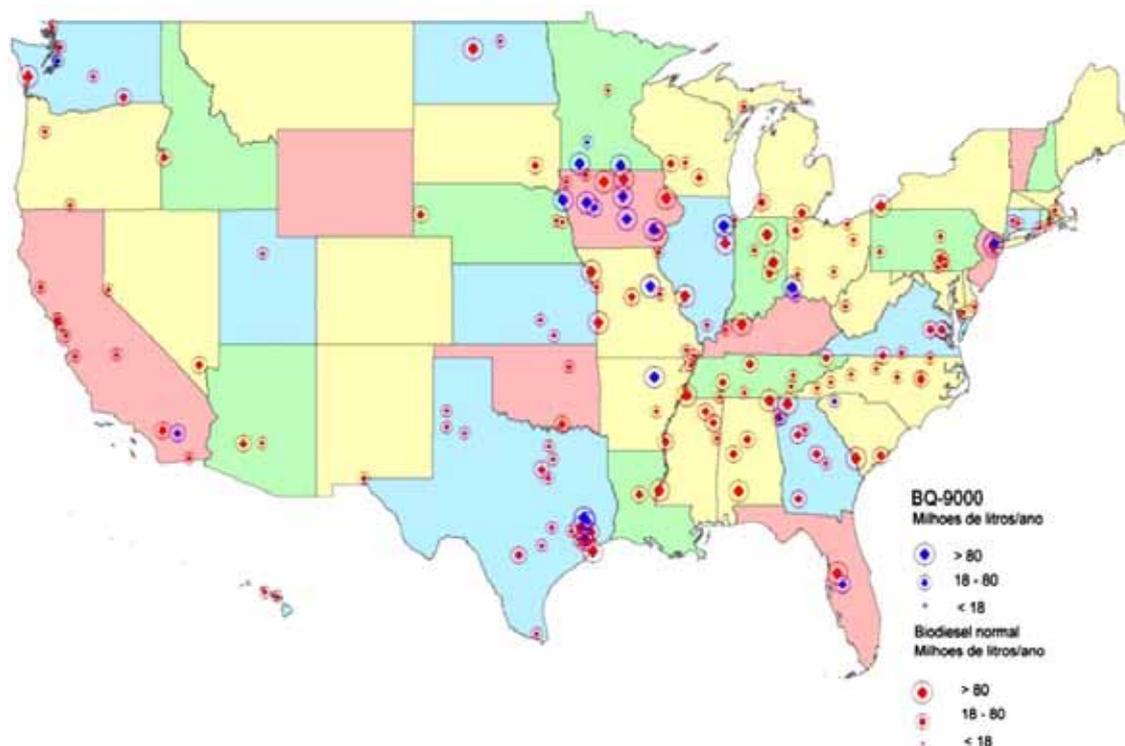


Fonte: Adaptado de Biodiesel (2013).

Existe também um programa voluntário, denominado BQ-9000, que é coordenado pela NBB e que combina as especificações da ASTM para o biodiesel (ASTM D-6751) com um sistema de controle de qualidade que inclui estocagem, testes, mistura, embarque, distribuição e práticas de manejo de combustíveis. A Figura 65 representa o mapa das usinas de biodiesel nos Estados Unidos, com as respectivas faixas de capacidades de produção.

Para tornar possível a exportação do biodiesel, é necessário torná-lo uma *commodity*, tendo como primeiro passo a padronização do produto de modo a criar um tipo de biodiesel que se torne referência internacional.

Figura 65 - Unidades de produção de biodiesel nos Estados Unidos.



Fonte: NBB (2012), citado por Gazzoni (2010).

A dificuldade para transformar o biodiesel em uma *commodity* no mercado mundial é devida, principalmente, a dois fatores: restrições quanto às especificações físico-químicas do bicomcombustível e pressões internas da UE e EUA para proteção da agricultura local (PRATES et al., 2007, citado por RIBEIRO; PEIXOTO; SOUZA, 2008).

Para abrir os mercados mundiais ao biodiesel, será necessária uma habilidade de diplomacia destes países para negociar reduções na barreira comercial. Além disso, EUA e UE pretendem aumentar o consumo de biocombustíveis de modo a reduzir a dependência em relação a fornecedores de petróleo instáveis, como países do Oriente Médio e Venezuela (CLEMENTE et al., 2007, citado por RIBEIRO; PEIXOTO; SOUZA, 2008).

Quanto à competitividade do biodiesel no mercado mundial, o preço deste dependerá diretamente do custo da matéria-prima, que representa cerca de 85 % do valor do biodiesel, quando produzido em plantas de grande escala, ou seja, acima de 100 milhões de litros por ano (PRATES et al., 2007, citado por RIBEIRO; PEIXOTO; SOUZA, 2008).

## APÊNDICE F – BIODIESEL NO BRASIL

No Brasil, a trajetória do biodiesel começou a ser delineada com as iniciativas de estudos pelo Instituto Nacional de Tecnologia na década de 20 (SEBRAE, 2011).

Nos anos 60, as Indústrias Matarazzo buscavam produzir óleo com grãos de café e, no processo de lavagem, utilizou-se o álcool de cana-de-açúcar. A reação entre o álcool e o óleo de café resultou na liberação de glicerina e de éster etílico, produto que hoje é chamado de biodiesel (BIODIESELBR, 2011).

Na década de 70, a Universidade Federal do Ceará desenvolveu pesquisas com o intuito de encontrar fontes alternativas de energia. As experiências acabaram por revelar um novo combustível originário de óleos vegetais e com propriedades semelhantes ao óleo diesel convencional, o biodiesel (HOLANDA, 2004, citado por QUESSADA, 2008).

Em 1975, aconteceu o lançamento do Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para fins energéticos (CÂMARA, 2006), com o objetivo de gerar um excedente de óleo vegetal capaz de torná-los competitivos com o óleo diesel de petróleo, sendo prevista inicialmente uma mistura de 30 % de óleo vegetal no óleo diesel, com perspectiva para sua substituição integral em longo prazo (BIODIESELBR, 2011).

Com o envolvimento de outras instituições de pesquisa, Petrobrás e Ministério da Aeronáutica, foi criado o PRODIESEL em 1980 (GÓES, 2006).

O Brasil desenvolveu pesquisas sobre o biodiesel, promoveu iniciativas para usos em testes e teve a primeira patente para a produção de biodiesel e de querosene vegetal de aviação requerida pelo Professor Expedito Parente, em 1980 (BARROSO; ALVES, 2008).

Ao longo de 1981 e 1982 foram remetidos cerca de 300 mil litros de biodiesel para os fabricantes de motores diesel e veículos do ciclo diesel operando no Brasil. Para agilizar a produção sistemática do novo combustível foi criada uma empresa em Fortaleza, cuja razão social era PROERG – Produtora de Sistemas Energéticos Ltda., que implantou uma planta piloto industrial com capacidade produtiva de 200 litros por hora de biodiesel (PARENTE, 2003).

Diversas matérias-primas foram empregadas na produção do diesel vegetal, incluindo os óleos de soja, de babaçu, de amendoim, de algodão, de colza, de girassol, de dendê, de semente de maracujá e até o óleo de peixe.

No final de 1982, o querosene vegetal para aviões à jato estava pronto, recebendo a denominação de PROSENE, tendo sido homologado pelo Centro Tecnológico Aeroespacial. Em 23 de outubro de 1983, no Dia do Aviador, uma aeronave nacional do tipo Bandeirante decolou de São José dos Campos e pousou em Brasília, abastecida somente com o querosene vegetal.

Neste mesmo ano, devido à alta nos preços do petróleo, o governo federal lançou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG), no qual foi testada a utilização de biodiesel de soja, amendoim, colza ou girassol e misturas em veículos, com a coordenação da Secretaria de Tecnologia Industrial e a participação de institutos de pesquisas, de indústrias automobilísticas e de óleos vegetais, de fabricantes de peças e de produtores de lubrificantes e combustíveis (BIODIESELBR, 2011).

Contudo, o alto custo de produção do biodiesel e a queda nos preços do petróleo a partir de 1985 determinaram a desaceleração deste programa (BARROSO; ALVES, 2008).

Em janeiro de 2005, por meio da Lei 11.097, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), com o objetivo de implementar de modo sustentável, técnico e econômico, a produção e o uso do biodiesel no Brasil, com destaque na inclusão social e no desenvolvimento regional, por meio de geração de emprego e de renda (LIMIRO, 2007).

A Lei nº 11.097, estabeleceu os percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel de petróleo, conforme o cronograma inicial do PNPB, representado na Figura 66, observando os seguintes critérios:

- A disponibilidade de oferta de matéria-prima e a capacidade industrial para produção de biodiesel;
- A participação da agricultura familiar na oferta de matérias-primas;
- A redução das desigualdades regionais;
- O desempenho dos motores com a utilização do combustível;
- As políticas industriais e de inovação tecnológica.

Figura 66 - Cronograma inicial do PNPB.



Fonte: PNPB (2011).

De acordo com a Figura 66, de 2005 a 2007 foi autorizada a mistura de 2 % de biodiesel ao diesel, prevendo-se um mercado consumidor de 800 milhões de litros por ano; de 2008 a 2012 seria obrigatória a mistura de 2 %, havendo uma previsão de 1 bilhão de litros ao ano.

A meta do PNPB de misturar 5 % de biodiesel ao diesel foi antecipada em três anos, pois a partir de janeiro de 2010 o B5 começou a ser usado. Para tanto, foi necessária uma produção de aproximadamente 2,4 bilhões de litros (ZIMMERMAN, 2010).

O Brasil, devido à grande extensão territorial e condições climáticas favoráveis, é considerado um dos países mais propícios para a exploração de biomassa para fins energéticos, e dispõe ainda milhões de hectares agriculturáveis para expandir a produção para os mais variados fins, incluindo a de oleaginosas. A confirmação veio também da divulgação dos estudos da NBB, afirmando que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, possibilitando a substituição de 60 % da demanda mundial de óleo diesel (GÓES, 2006).

O Decreto nº5.297, criou o selo Combustível Social, o qual é concedido ao produtor de biodiesel para promover a inclusão social dos agricultores familiares, enquadrados no PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento Familiar), que lhe forneçam matéria-prima e que comprovem regularidade perante o Sistema Integrado de Cadastro de Fornecedores – SICAF (LIMA, 2007).

A vantagem de ter o Selo Combustível Social é que, o produtor de biodiesel tem algumas condições especiais (MDA, 2011):

- Diferenciação/isenção nos tributos PIS/PASEP e COFINS;
- Participação assegurada de 80 % do biodiesel negociado nos leilões públicos da ANP;
- Acesso às melhores condições de financiamento junto aos bancos que operam o Programa (ou outras instituições financeiras que possuam condições especiais de financiamento para projetos);
- Possibilidade de uso do Selo Combustível Social para promover sua imagem no mercado.

Para tanto, os produtores de biodiesel precisam obedecer algumas regras e cumprir algumas tarefas para com o agricultor familiar, que são:

- Firmar contratos com os agricultores familiares negociados com a participação de uma entidade representativa dos mesmos (sindicatos, federações). A agricultura familiar organizada na forma de sindicatos ou federações terá que dar anuência por meio de carta para validar o que foi acordado entre as partes;
- Repassar cópia dos contratos devidamente assinados pelas partes para o agricultor familiar contratado e para a entidade representativa (sindicato, federação, outros);
- Assegurar assistência técnica gratuita aos agricultores familiares contratados;
- Capacitar os agricultores familiares para a produção de oleaginosa(s), de forma compatível com a segurança alimentar da família e com os processos de geração de renda em curso, contribuindo para a melhor inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel e para o alcance da sustentabilidade da propriedade.
- Repassar ao agricultor familiar assistido pelo técnico, cópia do laudo de visita devidamente assinado;
- Adquirir um percentual mínimo de matéria prima da agricultura familiar, que varia de região para região, de acordo com a normativa vigente do MDA.

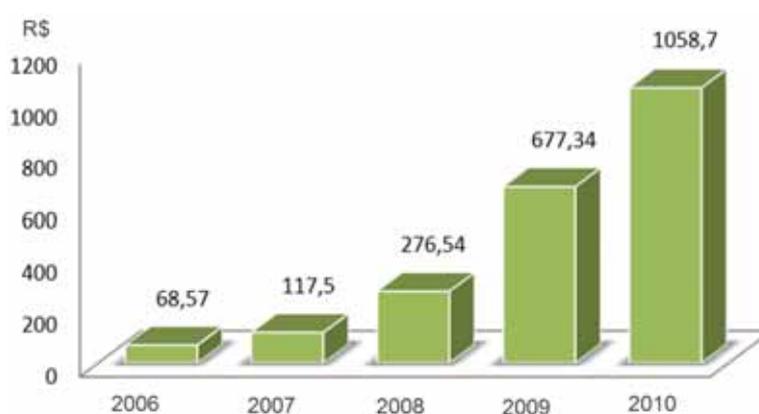
As aquisições da agricultura familiar realizadas por empresas detentoras do Selo Combustível Social apresentam um comportamento ascendente. Em 2006, 2007, 2008 e 2009 as empresas compraram da agricultura familiar, em

todo país R\$ 68,5 milhões, R\$ 117,5 milhões, R\$ 276,5 milhões, e R\$ 677,34 milhões, respectivamente.

Já no ano de 2010, as aquisições da agricultura familiar apresentaram um crescimento de mais de 56 % em relação ao ano anterior com uma marca de R\$ 1,058 bilhão em compras de matérias primas.

A Figura 67 mostra a evolução dos recursos destinados à aquisição de matéria-prima, oriunda da agricultura familiar, para a produção de biodiesel, no período de 2006 a 2010.

Figura 67 - Evolução dos recursos destinados à aquisição de matéria-prima, oriunda da agricultura familiar, para a produção de biodiesel (R\$ milhões).



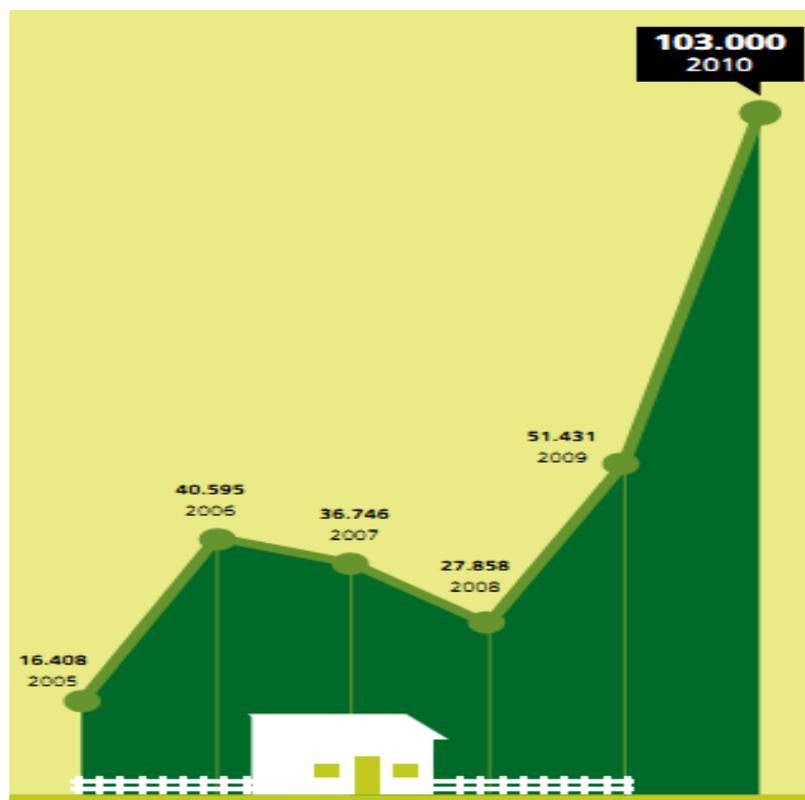
Fonte: Adaptado de MDA (2011).

O valor de aquisições totais de 2010 representa aproximadamente 26 % de todo montante de matéria prima adquirido por empresas detentoras do Selo Combustível Social em 2010 (R\$ 4,043 bilhões).

Em 2010, cerca de 20 % do biodiesel produzido no país teve origem da agricultura familiar e cerca de 90 % desse volume refere-se à soja cultivada por agricultores familiares, notoriamente na região Sul. A Figura 68 representa a evolução do número de famílias fornecedoras de matéria-prima.

Se for considerado um sistema de produção familiar, com geração de um emprego a cada dez hectares, conclui-se que serão criados 154 mil empregos diretos com a adoção do B10 em 2014, total que chegará a 531 mil empregos em 2020, com a adoção do B20. Se, adicionalmente, forem levados em conta os empregos indiretos gerados ao longo da cadeia, esse valor ultrapassará os 6 milhões de postos de trabalho (FGV, 2010).

Figura 68 - Evolução do número de famílias fornecedoras de matéria-prima para produção de biodiesel no Brasil.



Fonte: FGV (2010).

As misturas B10 e B20 impactam de forma muito positiva o ambiente e a saúde humana em razão dos lançamentos de poluentes evitados. A adoção do B10 permitiria evitar a emissão de 65 mil toneladas de monóxido de carbono por ano, ao passo que o B20 impediria o lançamento de aproximadamente 100 mil toneladas do poluente. As reduções de emissões para os hidrocarbonetos (HC) também são animadoras: menos 12.500 toneladas do poluente na atmosfera em um cenário B10, e em uma realidade de B20, observam-se emissões evitadas do poluente na ordem de 25.000 mil toneladas.

Os benefícios ambientais tornaram o Brasil um dos poucos países com condições de expandir a produção agrícola sem comprometer sua biodiversidade.

Além dos benefícios mensurados, existem as dimensões qualitativas dos benefícios à saúde, associados ao aumento das misturas de biodiesel ao diesel fóssil, que reduz a emissão de poluentes.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição atmosférica tem sido citada como causadora de efeitos à saúde e estima-se a ocorrência de cerca de 2 milhões de mortes prematuras por ano no mundo.

A Tabela 4 indica o número de internações, custos e óbitos decorrentes da poluição pela queima do diesel de petróleo em 6 capitais brasileiras, em 2007.

Tabela 4 - Internações, custos e óbitos da poluição pelo uso de óleo diesel no Brasil em 2007.

Capital	Internações	Custos (R\$)	Óbitos ocorridos
Belo Horizonte	4.078	4.521.933	579
Fortaleza	5.352	4.587.265	760
Brasília	4.332	2.745.502	615
Salvador	2.378	2.275.672	338
Rio de Janeiro	4.555	3.907.131	647
São Paulo	16.514	17.957.506	2.345
<b>Total</b>	<b>37.209</b>	<b>35.995.009</b>	<b>5.284</b>

Fonte: FGV (2010).

A Tabela 5 representa uma estimativa de internações, custos e óbitos que poderiam ter sido evitados com o uso do B10 e B20, nas principais capitais brasileiras em 2007.

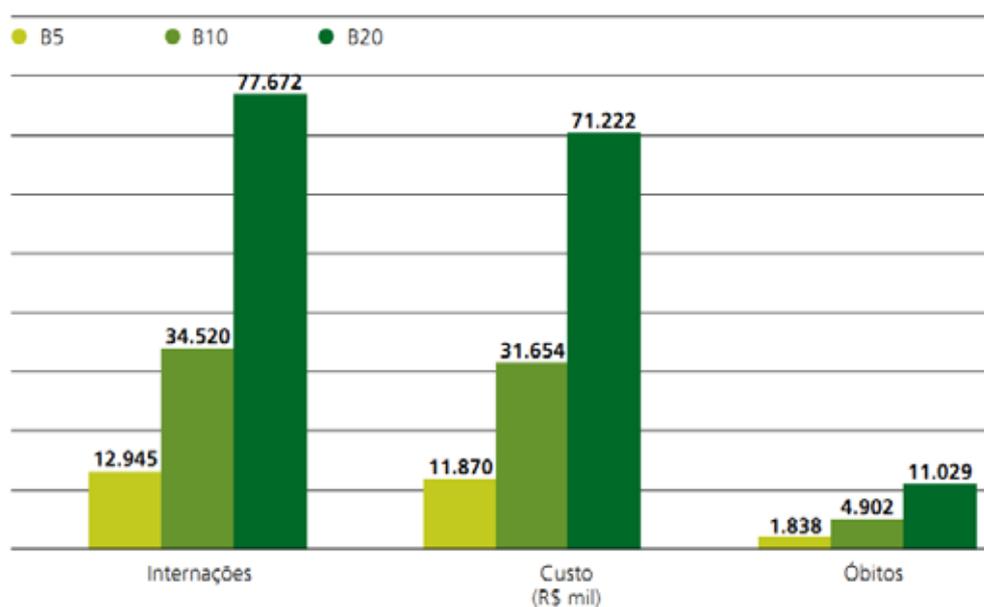
Tabela 5 - Internações, custos e óbitos que seriam evitados nas capitais brasileiras com o uso do biodiesel em substituição ao diesel em 2007.

Capital	Internações evitadas		Custos evitados (mil R\$)		Óbitos evitados	
	B10	B20	B10	B20	B10	B20
Belo Horizonte	326	530	361,8	587,9	46	75
Fortaleza	428	696	367,0	596,3	61	99
Brasília	347	563	219,6	356,9	49	80
Salvador	190	309	182,0	295,8	27	44
Rio de Janeiro	364	592	312,6	507,9	52	84
São Paulo	1.321	2.147	1.436,6	2.334,5	188	305
<b>Total</b>	<b>2.977</b>	<b>4.837</b>	<b>2.879,6</b>	<b>4.679,4</b>	<b>423</b>	<b>687</b>

Fonte: Adaptado de FGV (2010).

A Figura 69 representa os recursos financeiros que podem ser economizados em internações e óbitos evitáveis por ano no Brasil, com o uso do biodiesel.

Figura 69 - Benefícios à saúde com o uso do B5, B10 e B20.

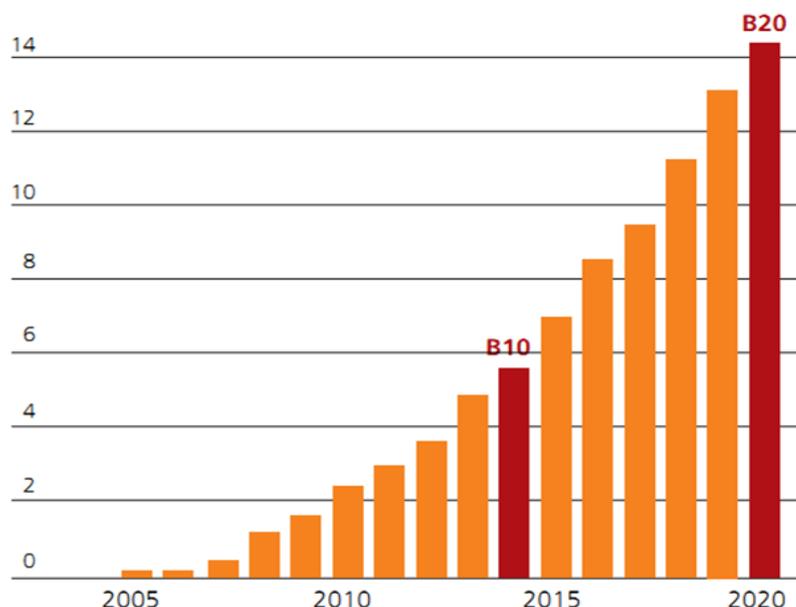


Fonte: FGV (2010).

Ao que diz respeito aos benefícios tecnológicos, o PNPB é o principal agente para o desenvolvimento de diversas culturas oleaginosas, além de programas de assistência técnica e extensão rural. O parque industrial nacional é altamente desenvolvido, com mais de 60 indústrias produtoras que poderiam atender imediatamente a meta B10.

Os benefícios mercadológicos também foram estimulados com o desenvolvimento do PNPB, que investiu de 2005 a 2010 cerca de R\$ 4 bilhões na indústria do biodiesel. Ademais, para aumentar a capacidade instalada, de maneira a atender a demanda projetada para B20 em 2020 (14,3 milhões de m<sup>3</sup>), será necessário um acréscimo de mais de 9,2 milhões de m<sup>3</sup>, o que envolveria um investimento total de aproximadamente R\$ 7,36 bilhões (FGV, 2010).

A Figura 70 representa a projeção de produção de biodiesel no Brasil, de 2010 até 2020, em milhões de m<sup>3</sup>.

Figura 70 - Projeção de produção de biodiesel no Brasil (milhões de m<sup>3</sup>).

Fonte: FGV (2010).

De acordo com as projeções apresentadas na Figura 70, em 2014 seria alcançada a mistura B10, com aproximadamente 5,5 milhões de m<sup>3</sup> de consumo de biodiesel, podendo também antecipar o B20 metropolitano.

A substituição do biodiesel pelo petróleo, ainda que parcial, poderá proporcionar ao Brasil a redução das emissões de gases do efeito estufa, que pode ser convertido em créditos de carbono e originar Certificados de Emissões Reduzidas – CERs, os quais poderão ser comercializados no mercado internacional com os países industrializados que necessitam desses créditos para cumprir suas metas junto ao Protocolo de Kyoto (LIMIRO, 2007).

Análises das séries de preço da tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> indicam tendência de aumento do preço no mercado. No entanto, para as estimativas, considerou-se o valor estagnado em US\$ 10. Nessa perspectiva conservadora, ao longo de dez anos, apenas com o uso do B10, o Brasil geraria aproximadamente US\$ 1 bilhão. Já com o uso do B20, esse valor seria de US\$ 2,9 bilhões. Ressalta-se que não há ainda uma definição concreta a respeito dos reais beneficiados com os créditos, mas, de maneira geral, os créditos pertencem ao investidor, que no caso seriam os donos das frotas que utilizariam caminhões abastecidos com a mistura e evitariam as emissões de CO<sub>2</sub> (FGV, 2010).

De acordo com o MME (2011), desde o início do PNPB, o Brasil já importou 29,3 milhões de m<sup>3</sup> de diesel fóssil, tendo produzido, nesse período, 5,6 milhões de m<sup>3</sup> de biodiesel.

Em 2009, a demanda nacional de diesel mineral foi de 44,7 milhões de m<sup>3</sup>. Desse total, o Brasil importou um volume de 3,5 milhões de m<sup>3</sup>, ou seja, 7,86 % da demanda. O volume de produção de biodiesel em 2009 foi cerca de 1,6 milhões de m<sup>3</sup>, ou seja, aproximadamente 3,6 % do total de diesel consumido no Brasil (FGV, 2010). A Figura 71 representa a relação entre a importação de diesel mineral e a produção de biodiesel no Brasil.

Figura 71 - Importação de Diesel x Produção de biodiesel no Brasil.

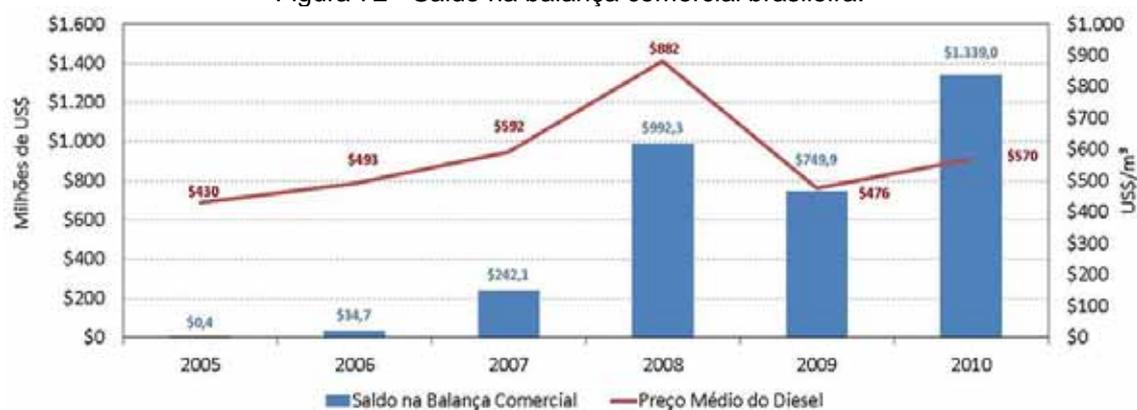


Fonte: MME (2011).

Para zerar as importações de diesel do país, a produção de biodiesel teria que incrementar mais 7,86 % do total do diesel consumido, ou seja, com o uso da mistura B10 o Brasil praticamente não necessitaria realizar mais importações de diesel mineral, o que contribuiria contra o déficit atual decorrente da importação de diesel que foi recorde no primeiro semestre de 2010 (US\$ 2,2 bilhões ou 3,8 milhões de m<sup>3</sup> de janeiro a junho), com reflexos diretos nas contas nacionais no balanço de pagamentos (FGV, 2010).

Além de reduzir a emissão de poluentes e fortalecer as cadeias das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel (incluindo a agricultura familiar), os 5,6 milhões de m<sup>3</sup> de biodiesel produzidos internamente durante os 6 primeiros anos do PNPB geraram um saldo na balança comercial brasileira de US\$ 3,3 bilhões, conforme representado na Figura 72 (MME, 2011).

Figura 72 - Saldo na balança comercial brasileira.

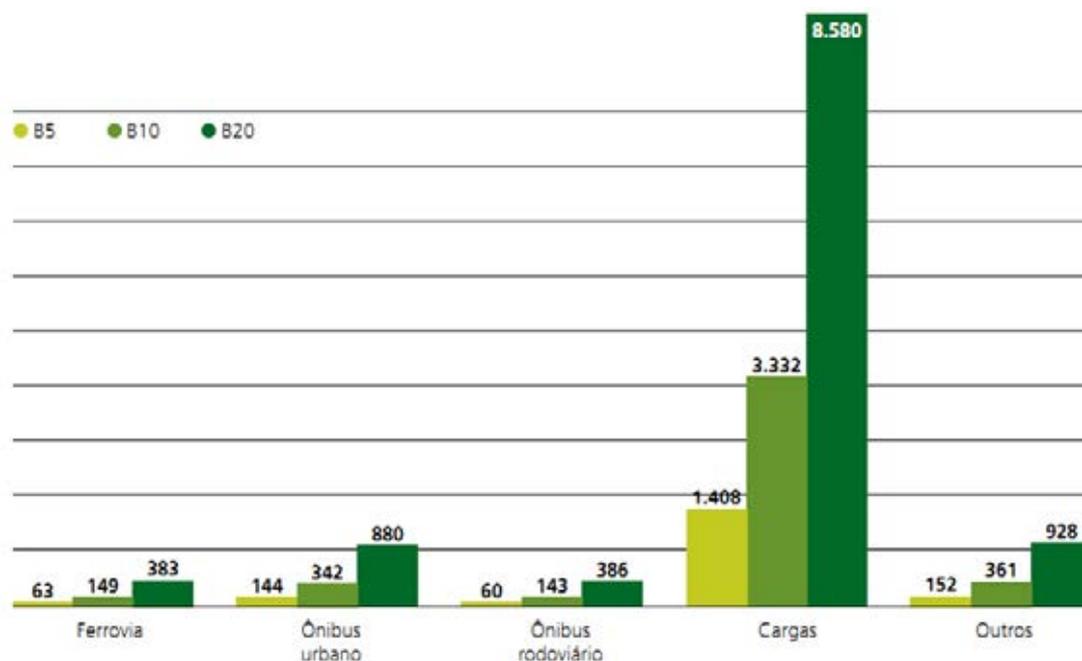


Fonte: MME (2011).

Com uma mistura de 10 % de biodiesel ao diesel, o país teria tido uma economia de U\$ 2,2 bilhões somente de janeiro a junho de 2010 por não importar diesel (FGV, 2010).

Na Figura 73 é apresentado o consumo projetado de biodiesel por subsetores de transporte no Brasil para 2010, 2014 e 2020.

Figura 73 - Consumo de biodiesel por subsetores de transporte no Brasil.



Fonte: FGV (2010).

Atualmente existem 65 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 20.568 m<sup>3</sup>/dia, sendo que destas 65 plantas, 61 possuem

autorização para comercialização do biodiesel produzido, correspondendo a 19.009 m<sup>3</sup>/dia de capacidade autorizada para comercialização. Há ainda 9 novas plantas de biodiesel autorizadas para construção e 12 plantas autorizadas para ampliação de capacidade que após finalizadas as obras a capacidade total autorizada poderá ser aumentada em 4.626 m<sup>3</sup>/dia (ANP, 2012).

A Tabela 6 apresenta o *ranking* dos maiores produtores de biodiesel no Brasil, de acordo com o boletim de novembro de 2011 da ANP.

Tabela 6 - Maiores produtores de biodiesel no Brasil.

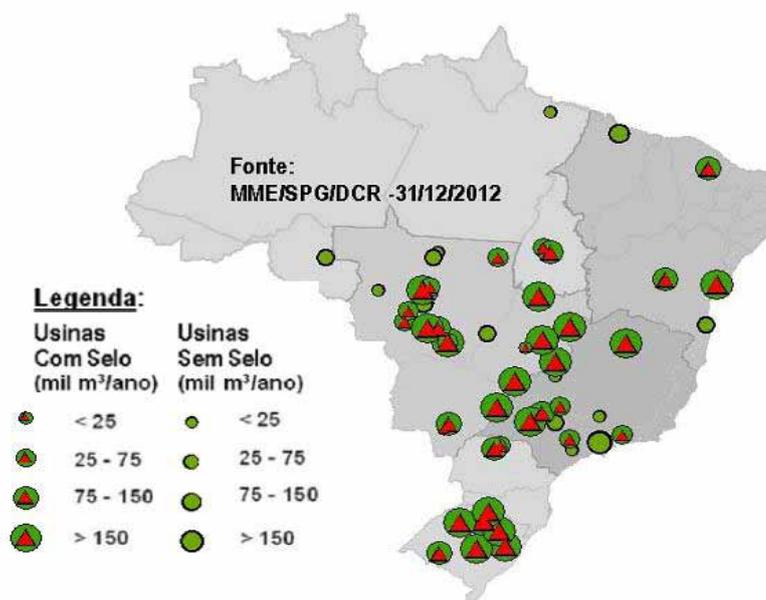
<b>Ranking</b>	<b>Empresa</b>	<b>Município</b>	<b>UF</b>	<b>Capacidade (m<sup>3</sup>/dia)</b>
1	ADM	Rondonópolis	MT	1352
2	OLEOPLAN	Veranópolis	RS	1050
3	GRANOL	Anápolis	GO	1033
4	GRANOL	Cachoeira do Sul	RS	933,33
5	BIANCHINI	Canoas	RS	900
6	CARGILL	Três Lagoas	MS	700
7	AGRENCO	Alta Araguaia	MT	660
8	BIONASA	Porangatu	GO	653
9	CAMERA	Ijuí	RS	650
10	CARAMURU	São Simão	GO	625

Fonte: Adaptado de ANP (2012).

A Figura 74 representa a localização das unidades produtoras de biodiesel no Brasil, segundo os dados do Ministério de Minas e Energia (MME) de novembro de 2011.

A região centro-oeste é a maior produtora, possui 27 usinas e capacidade instalada de 3.072.000 m<sup>3</sup>/ano, o equivalente a 45 % da produção nacional; a região sul do país possui 9 usinas e é capaz de produzir 1.948.000 m<sup>3</sup>/ano, o que significa 28 % de toda a produção; em seguida tem-se o sudeste com 11 usinas e uma capacidade de produção de 890.000 m<sup>3</sup>/ano, ou seja, 19 % do produção total; o nordeste possui 6 usinas com capacidade de produzir 741.000 m<sup>3</sup>/ano de biodiesel, o equivalente a 11 % da produção nacional e, por fim, a região norte, com 4 usinas, é capaz de produzir 3 % da produção total, cerca de 202.000 m<sup>3</sup>/ano (MME, 2013).

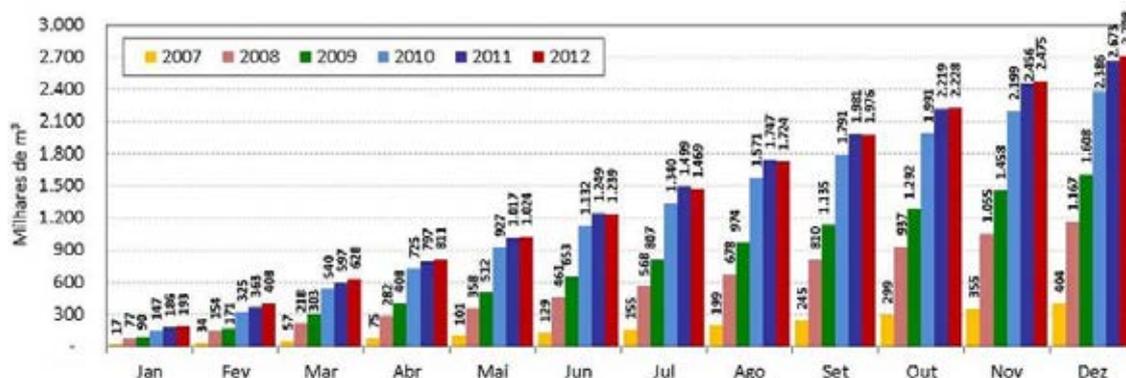
Figura 74 - Localização das unidades produtoras de biodiesel no Brasil.



Fonte: MME (2013).

De acordo com o Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia e baseado nos dados preliminares com base nas entregas dos leilões promovidos pela ANP, em dezembro de 2012 a produção estimada foi de 233 mil m<sup>3</sup>. No acumulado do ano a produção atingiu 2.708 mil m<sup>3</sup>, um aumento médio de 1,3 % em relação ao mesmo período de 2011 (2.673 mil m<sup>3</sup>). A Figura 75 representa a produção acumulada de biodiesel no Brasil e a respectiva evolução desta entre janeiro de 2007 a dezembro de 2012.

Figura 75 - Evolução da produção e da capacidade produtiva mensal de biodiesel no Brasil.

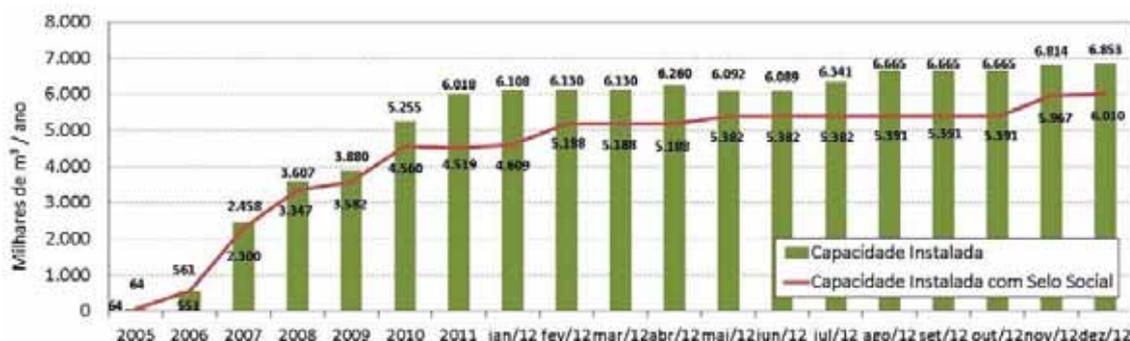


Fonte: MME (2013).

A capacidade instalada, em dezembro de 2012 alcançou 6.853 mil m<sup>3</sup>/ano (571 mil m<sup>3</sup>/mês), sendo que 88 % são referentes às

empresas detentoras do Selo Combustível Social (MME, 2013). A Figura 76 representa a capacidade de produção de biodiesel instalada no Brasil.

Figura 76 - Capacidade de produção de biodiesel instalada no Brasil.



Fonte: MME (2013).

A Figura 77 apresenta a oferta de biodiesel resultante das entregas nos leilões públicos da ANP para abastecimento regular do mercado e nos leilões para formação de estoques, bem como a demanda estimada.

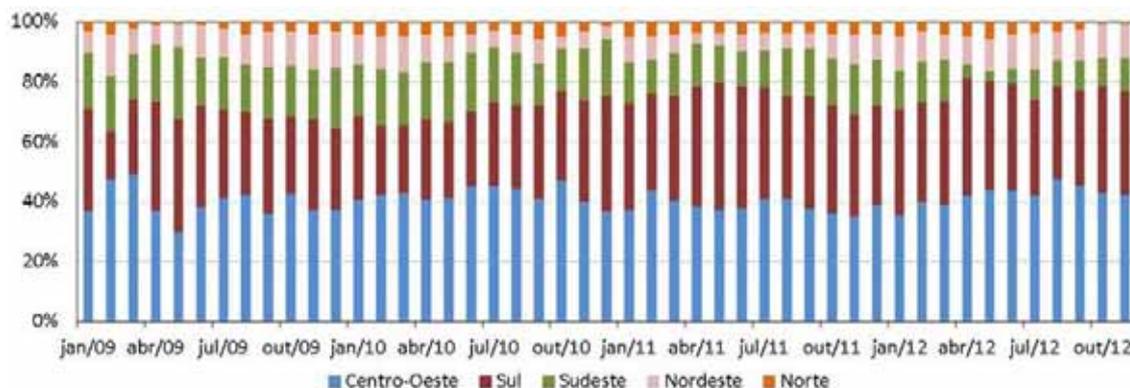
Figura 77 - Entregas nos leilões e demanda de biodiesel no Brasil de 2008 a 2010.



Fonte: MME (2013).

A produção regional, em novembro de 2012, apresentou a seguinte distribuição: 42,5 % (Centro-Oeste), 34,6 % (Sul), 11,1 % (Sudeste), 11,5 % (Nordeste) e 0,4 % (Norte). Na Figura 78 é mostrada a participação regional na produção de biodiesel no Brasil, de janeiro de 2009 a outubro de 2012.

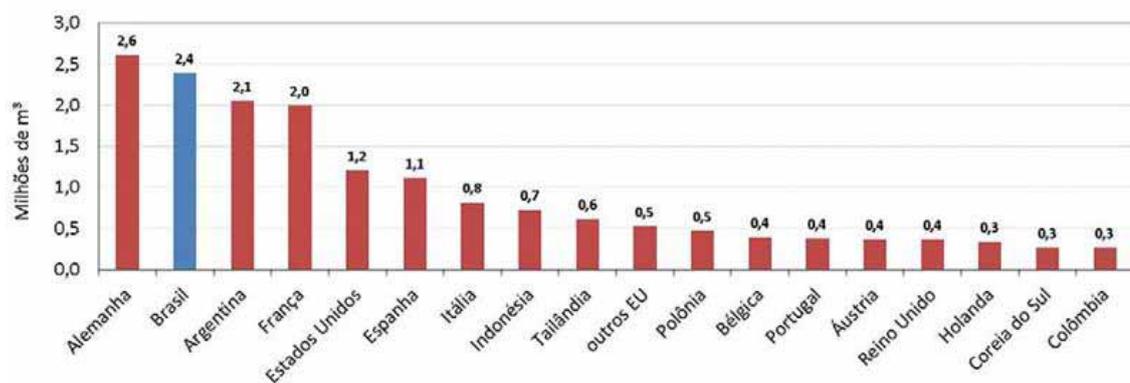
Figura 78 - Distribuição regional da produção de biodiesel no Brasil.



Fonte: MME (2013).

Apenas seis anos após o lançamento do PNPB, o Brasil se consolidou como o segundo maior produtor de biodiesel do mundo, atrás apenas da Alemanha. A produção brasileira no ano de 2010 foi de 2,4 milhões de m<sup>3</sup>, enquanto que a Alemanha produziu 2,6 milhões de m<sup>3</sup> (uma diferença de 8 %). A Argentina ficou na terceira posição, com uma produção de 2,1 milhões de m<sup>3</sup> em 2010, conforme representado na Figura 79.

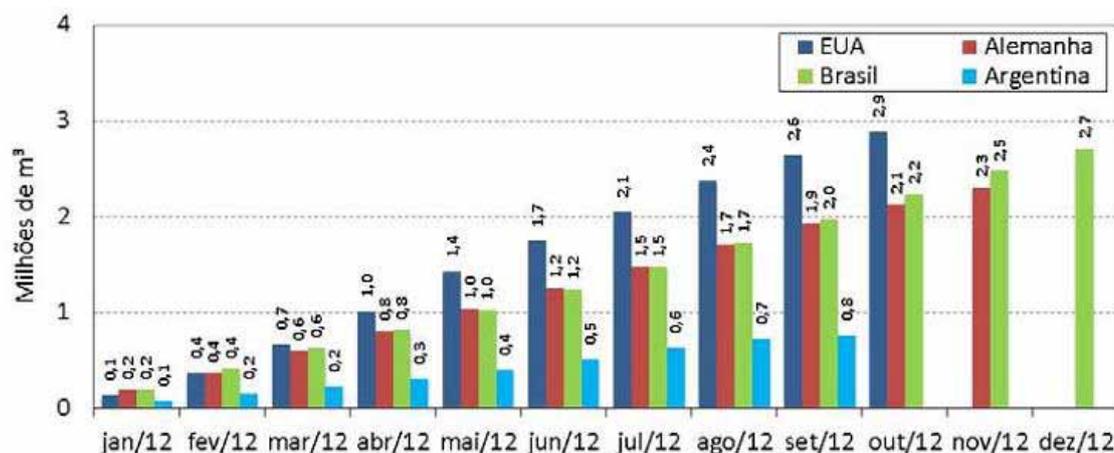
Figura 79 - Produção de biodiesel no mundo em 2010.



Fonte: MME (2011).

Além desse ótimo resultado em 2010, deve ser ressaltado que o Brasil já se tornou um dos principais mercados consumidores de biodiesel no mundo devido ao crescimento da demanda doméstica, *vis a vis* uma pequena redução do consumo de biodiesel na Alemanha. O consumo acumulado nos Estados Unidos, Brasil, Alemanha e Argentina para o ano de 2012 pode ser observado na Figura 80.

Figura 80 - Consumo acumulado de biodiesel em 2012 em alguns países.



Fonte: Adaptado de MME (2012).

A metodologia de organização da base produtiva desenvolvida pelo MDA, implantado em 2006 foi denominada Projeto Pólos de Biodiesel, que é uma das principais estratégias para contribuir, com foco microrregional ou territorial, com a promoção da inclusão social de agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel, por meio da produção de oleaginosas (MDA, 2010).

Os Pólos de Produção de Biodiesel são espaços geográficos compostos por diversos municípios, com a presença de agricultores familiares, produtores ou potenciais produtores de matérias primas para fins de produção de biodiesel nos termos do PNPB (MDA, 2010).

A formação de um pólo leva em consideração:

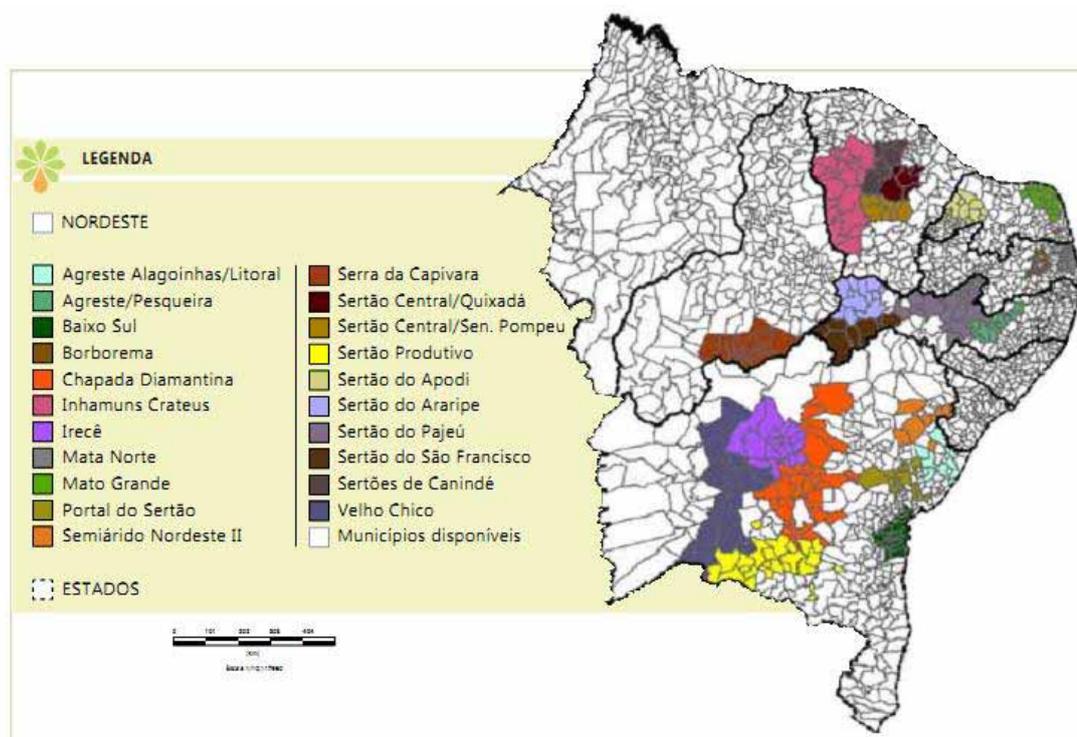
- A presença de agricultores familiares com vocação para o plantio de oleaginosas;
- A identidade coletiva territorial;
- A presença de áreas consideradas aptas para o plantio com zoneamento agrícola;
- A atuação e/ou interesse de atuação de empresas detentoras do Selo Combustível Social;
- A presença de atores sociais políticos e econômicos interessados no desenvolvimento desta cadeia produtiva.

Em 2010 o trabalho foi realizado em 63 pólos em todo o Brasil, que abrangem 1.091 municípios. Esta ação tem favorecido importantes avanços no PNPB, como:

- Maior adensamento das áreas de produção de oleaginosas;
- Menor custo de logística na fase agrícola da cadeia produtiva;
- Maior diversificação de oleaginosas;
- Maior qualidade e intensidade da assistência técnica;
- Aumento da produtividade;
- Ampliação da renda dos agricultores familiares;
- Aumento do capital social desses territórios;
- Maior acesso às políticas públicas e à tecnologia.

A região nordeste do Brasil, mostrada na Figura 81, foi a primeira região de atuação, que associado a uma maior demanda de organização da base, faz com que seja a região com a maior quantidade de polos e técnicos do MDA mobilizados, comparado a outras regiões.

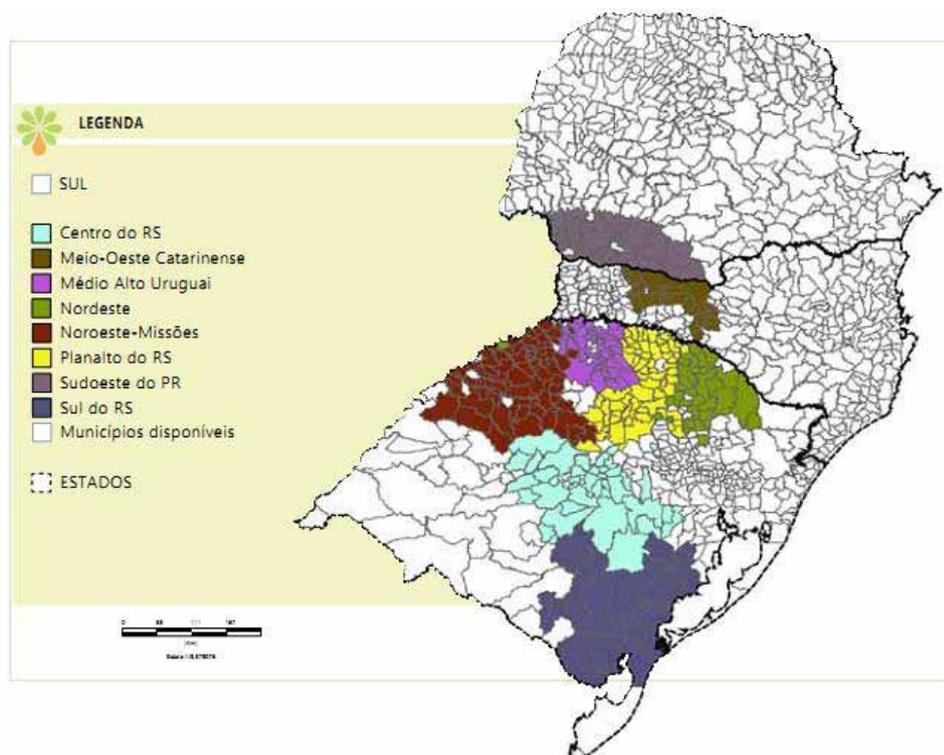
Figura 81 - Polos de produção de biodiesel na região nordeste do Brasil.



Fonte: MDA (2010).

A região sul do Brasil possui uma grande quantidade de polos de produção de oleaginosas, sendo que, pelas características históricas de força e solidez da agricultura familiar, especialmente no Rio Grande do Sul, é registrado um grande número de agricultores familiares alcançados, que se organizam principalmente em cooperativas. Na Figura 82 estão representados os polos de produção de biodiesel na região sul do Brasil.

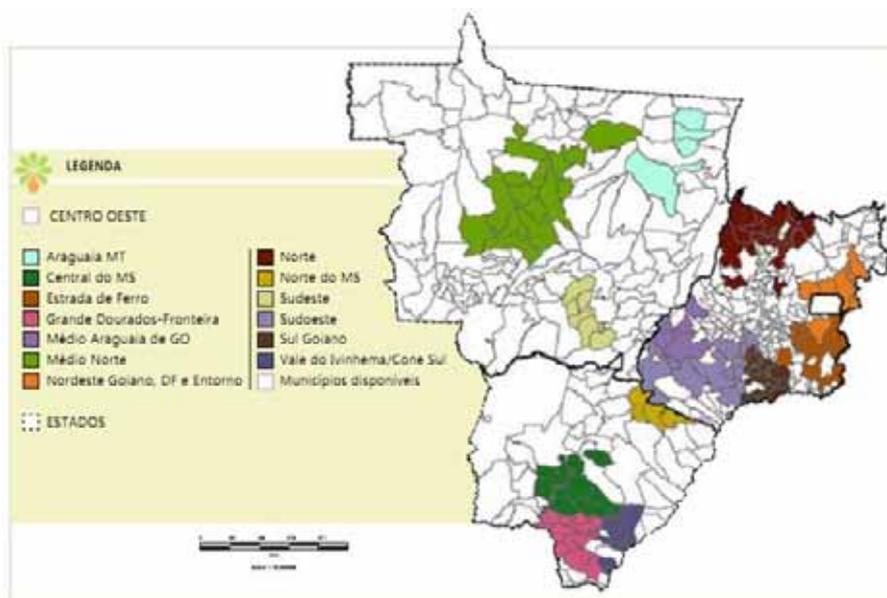
Figura 82 - Polos de produção de biodiesel na região sul do Brasil.



Fonte: MDA (2010).

A região centro-oeste do Brasil é a maior produtora de biodiesel e possui um número razoável de polos organizados. Seus estados, caracterizados pela tradição de força da agricultura patronal e voltada à exportação, naturalmente apresentam menores potenciais comparativos de organização da agricultura familiar. Porém, é uma região de destaque em novas iniciativas cooperativistas e em iniciativas de fomento à diversificação, como por exemplo, a produção de gergelim nos estados de Goiás e do Mato Grosso, assim como a produção de canola no estado do Mato Grosso do Sul (MDA, 2010). A Figura 83 mostra os polos de produção de biodiesel na região centro-oeste do Brasil.

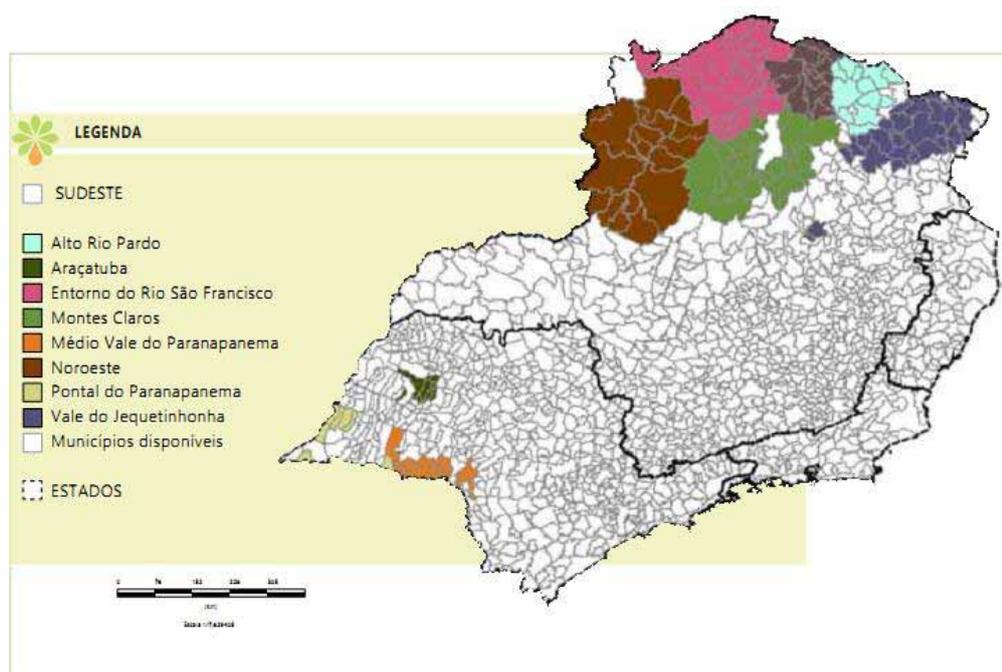
Figura 83 - Polos de produção de biodiesel na região centro-oeste do Brasil.



Fonte: MDA (2010).

A região sudeste do Brasil, apesar de registrar uma baixa participação em número de polos organizados, tem gerado uma demanda crescente por agricultores familiares e por matéria prima, com a instalação de uma unidade produtora de biodiesel em meados de 2009 em Minas Gerais. A Figura 84 representa os polos de produção de biodiesel na região sudeste do Brasil.

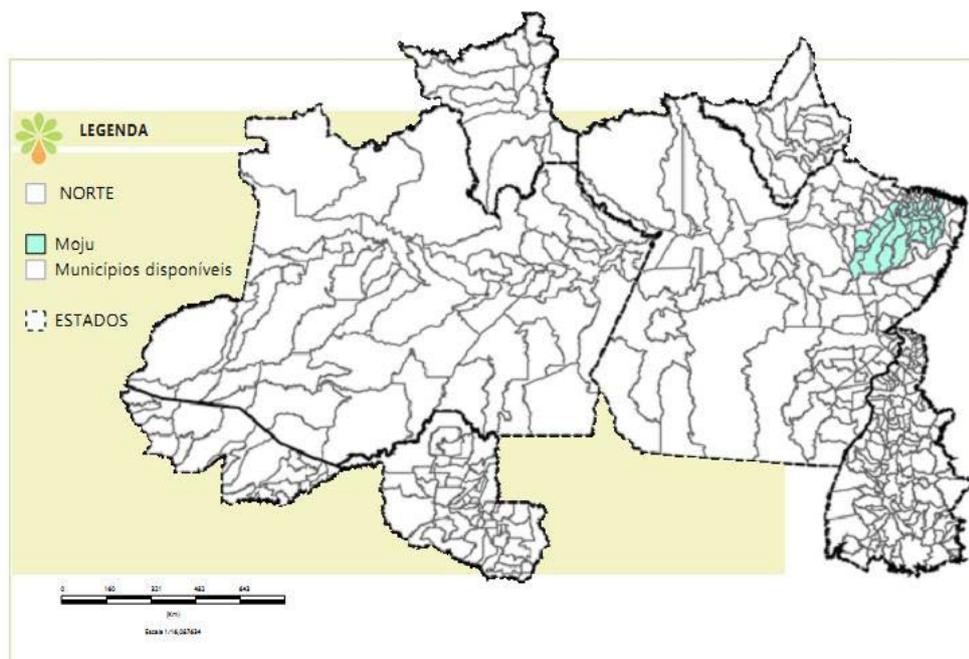
Figura 84 - Polos de produção de biodiesel na região sudeste do Brasil.



Fonte: MDA (2010).

Por fim, a região norte do Brasil apresenta apenas um pólo organizado, localizado no Estado do Pará e caracterizado como pólo do dendê, conforme representado na Figura 85.

Figura 85 - Polos de produção de biodiesel na região norte do Brasil.



Fonte: MDA (2010).

Mas, a partir de 2010, impulsionadas pela potencialidade da cultura e pelo lançamento do Programa Nacional de Produção Sustentável de Óleo de Palma, várias empresas sinalizam a entrada na região norte, especialmente nos Estados do Pará e de Roraima (MDA, 2010).

## APÊNDICE G – MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Todos os óleos vegetais, enquadrados na categoria de óleos fixos ou triglicéridicos, podem ser transformados em biodiesel. Dessa forma, poderiam constituir matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos das seguintes espécies vegetais: grãos de amendoim; amêndoas de cocos de dendê, de praia e de babaçu; caroços de algodão e oiticica; sementes de girassol, de colza, de maracujá e de tomate; polpas do dendê e do abacate; baga de mamona; entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas (PARENTE, 2003).

Os chamados óleos essenciais constituem outra família de óleos vegetais, não podendo ser utilizados como matérias-primas para a produção de biodiesel. Tais óleos são voláteis, sendo constituídos de misturas de terpenos, terpanos, fenóis e outras substâncias aromáticas (PARENTE, 2003).

No entanto, vale à pena ressaltar que uma grande parte dos óleos essenciais pode ser utilizada, *in natura*, em motores diesel, especialmente em mistura com o óleo diesel mineral e/ou com o biodiesel. Constituem exemplos de óleos essenciais os seguintes óleos: de pinho, da casca de laranja, de andiroba, de marmeleiro, da casca da castanha de caju e outros óleos que se encontram originariamente impregnando os materiais ligno-celulósicos como as madeiras, as folhas e as cascas de vegetais, com a finalidade de lubrificar suas fibras (PARENTE, 2003).

Tecnicamente os óleos vegetais podem ser usados na forma *in natura* ou modificados por processos físicos e químicos. Na forma *in natura*, uma opção de uso é a queima em motores multicomcombustíveis para geração de eletricidade. Através do processo de esterificação, os óleos vegetais podem ser transformados em ésteres, gerando como subproduto a glicerina.

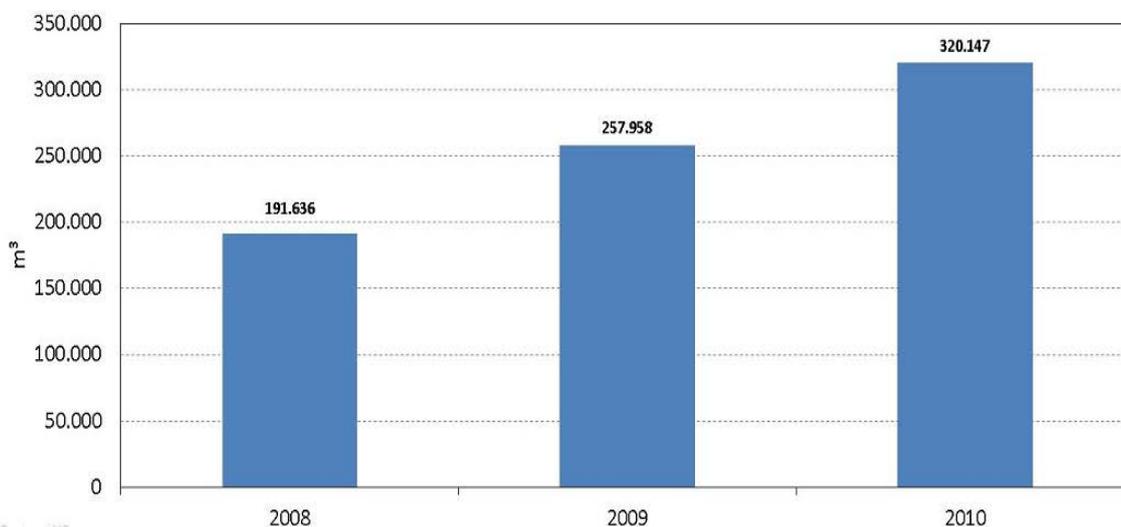
Existem experiências brasileiras e internacionais que comprovam a viabilidade técnica e ambiental da utilização de ésteres de óleos vegetais, puros ou misturados com óleo diesel, em motores automotivos. Quanto ao aspecto técnico os motores trabalharam normalmente apesar do registro de pequeno aumento de consumo de combustível, e quanto ao aspecto ambiental, registrou-se significativa diminuição das emissões de poluentes (INFOENER, 2012).

São surpreendentes os volumes ofertados de sebo de animais, especialmente de bovinos, nos países produtores de carnes e couros, como é o caso do Brasil. Tais matérias-primas são ofertadas, em quantidades substantivas, pelos curtumes e pelos abatedouros de animais de médio e grande porte (PARENTE, 2003).

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos comerciais do mundo, produzindo cerca de 8 milhões de toneladas por ano. A cada animal abatido, obtém-se cerca de 15 kg de sebo, o qual é destinado à indústria alimentícia, à indústria cosmética (sabões), à produção de ração animal e, também, à produção de biodiesel (MME, 2011).

Atualmente, o sebo bovino apresenta participação significativa na produção de biodiesel no Brasil, com uma participação média em 2010 de 13,8 %. A Figura 86 representa a produção de biodiesel com sebo bovino, na qual pode se observar o um crescimento de mais de 67 % de 2008 até 2010.

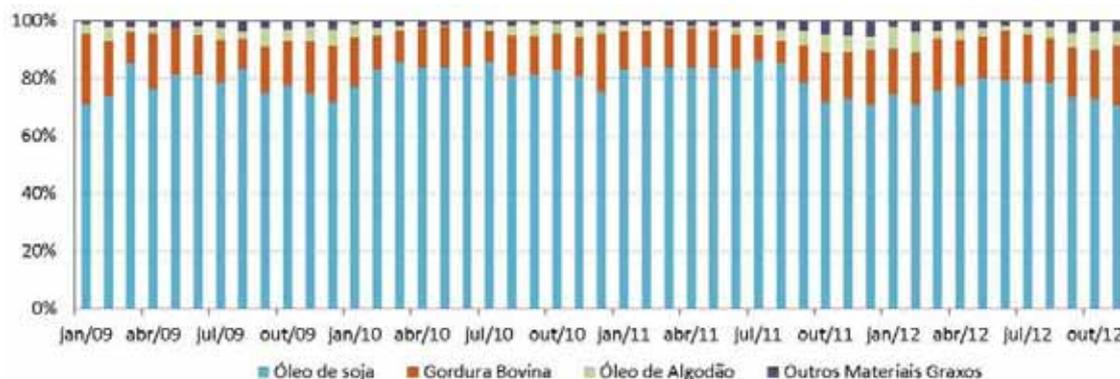
Figura 86 - Produção de biodiesel de sebo bovino no Brasil.



Fonte: MME (2011).

A Figura 87 representa as matérias-primas usadas na produção de biodiesel no Brasil, de janeiro de 2009 a outubro de 2012.

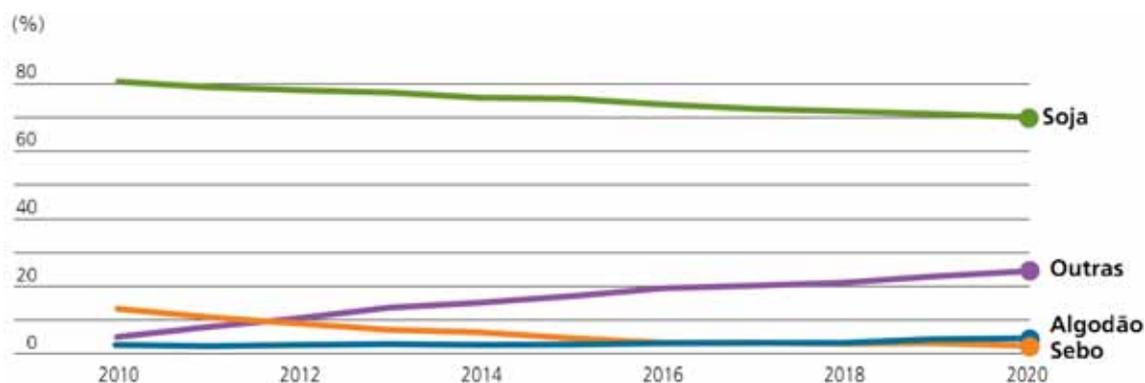
Figura 87 - Matérias-primas usadas na produção do biodiesel no Brasil.



Fonte: MME (2012).

A Figura 88 representa a evolução do uso das matérias-primas para produção de biodiesel no Brasil até 2020, quando, segundo projeções do PNPB, serão misturados 20 % de biodiesel no diesel de petróleo.

Figura 88 - Fontes de matérias-primas para produção de biodiesel no Brasil até 2020.



Fonte: FGV Projetos (2010).

A produção de óleo para produção de biocombustíveis pode ter um avanço e aumentar consideravelmente com o desenvolvimento de pesquisas com microalgas, que produz até 90 mil quilos por hectare, enquanto que a soja produz de 400 a 600 quilos e o girassol de 630 a 900 quilos por hectare (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2008).

As algas também podem ser aplicadas na solução de outro problema das grandes cidades que é o tratamento de esgoto, pois são capazes de decompor matéria orgânica e podem ser cultivadas em estações de tratamento. Além da limpeza da água, o cultivo produziria biodiesel e absorveria uma boa parte do CO<sub>2</sub> da atmosfera. De acordo com o pesquisador Richard Sayre,

como exemplo, o tratamento de esgoto de uma cidade como Nova Iorque produziria 10 milhões de litros de biodiesel de algas por ano e absorveria 40% do CO<sub>2</sub> emitido por uma termelétrica de 200 MWh movida a carvão (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010).

No que diz respeito às matérias-primas, projeta-se um grande aumento na produção de oleaginosas, que inclui a diversificação de fontes, expansão de áreas de plantio, geração de empregos e distribuição de renda. A Tabela 7 representa uma estimativa da necessidade de óleos e gorduras no Brasil para atender a produção de B10 e B20.

Tabela 7 - Volumes de óleos e gorduras necessários para a produção de B10 e B20 no Brasil.

<b>Oleaginosa</b>	<b>B10 (2014)</b>	<b>B20 (2020)</b>
Soja	4227	10.025
Sebo	336	414
Algodão	161	501
Outras	837	3.381
<b>Total</b>	<b>5561</b>	<b>14.321</b>

Fonte: FGV (2010).

Com relação à circulação monetária, estima-se que haverá um potencial de R\$ 28 bilhões com investimentos e R\$ 23,6 bilhões com a venda de óleo até 2020, distribuídos em todo o território nacional, principalmente em regiões menos desenvolvidas atualmente (FGV, 2010).

## APÊNDICE H – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO BIODIESEL

No Brasil, a especificação dos padrões de qualidade do biodiesel foi realizada segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e normas internacionais como a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *International Organization for Standardization* (ISO) e *Comité Européen de Normalisation* (CEN), sendo as mesmas regulamentadas pela ANP em 2008. Várias propriedades físicas e químicas foram padronizadas, tais como: massa específica, viscosidade cinemática, ponto de fulgor, teor de enxofre, número de cetano, teor de glicerina livre e total, teor de acilgliceróis, dentre outras.

A seguir serão descritas as principais propriedades físicas e químicas do biodiesel, através das quais, podem ser observadas suas vantagens e desvantagens em relação ao diesel convencional de petróleo de acordo com Knothe, Gerpen e Krahl (2006):

- **Viscosidade e Densidade:** Tais propriedades fluidodinâmicas de um combustível exercem grande influência na circulação e injeção do combustível em motores. Afortunadamente, as propriedades fluidodinâmicas do biodiesel, independentemente de sua origem, assemelham-se as do óleo diesel mineral, significando que, deste ponto de vista, não seja necessária qualquer adaptação ou regulagem no sistema de injeção dos motores.
- **Lubricidade:** A lubricidade é uma medida do poder de lubrificação de uma substância, sendo uma função de várias de suas propriedades físicas, destacando a viscosidade e a tensão superficial. Diferentemente dos motores movidos a gasolina, os motores a óleo diesel exigem que o combustível tenha propriedades de lubrificação, especialmente, em razão do funcionamento da bomba, exigindo que o líquido que escoar lubrifique adequadamente as suas peças em movimento.
- **Ponto de Névoa e de Fluidez:** O ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo, e o ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não mais escoar livremente. Tanto o ponto de fluidez como o ponto de névoa do biodiesel variam segundo a matéria prima que lhe deu origem e, também, de acordo com o álcool

utilizado na reação de transesterificação. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura do ambiente onde o combustível deva ser armazenado e utilizado. Todavia, no Brasil as temperaturas não apresentam nenhum problema de congelamento do combustível, sobretudo porque se pretende usar o biodiesel em mistura com o óleo diesel mineral.

- **Ponto de Fulgor:** É a temperatura em que um líquido torna-se inflamável em presença de uma chama ou faísca. Esta propriedade somente assume importância no que diz respeito à segurança nos transportes, manuseios e armazenamentos. O ponto de fulgor do biodiesel, se completamente isento de metanol ou etanol, é superior à temperatura ambiente, significando que o combustível não é inflamável nas condições normais onde ele é transportado, manuseado e armazenado, servindo inclusive para ser utilizado em embarcações.
- **Poder Calorífico:** O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5 %. Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao diesel mineral.
- **Índice de Cetano:** O índice de octano ou octanagem dos combustíveis está para motores do ciclo Otto, da mesma forma que o índice de cetano ou cetanagem está para os motores do ciclo Diesel. Portanto, quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão desse combustível num motor diesel. O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral a cetanagem situa-se entre 48 a 52, sendo esta a razão pela qual o biodiesel apresenta uma ignição mais controlada e queima melhor no motor do que o próprio óleo diesel mineral.

Dentre as propriedades químicas do biodiesel podem ser destacadas as seguintes:

- **Teor de Enxofre:** Como os óleos vegetais e as gorduras de animais não possuem enxofre, o biodiesel é completamente isento desse elemento. Os produtos derivados do enxofre são bastante danosos ao meio ambiente (os  $\text{SO}_x$  são responsáveis pela chuva ácida), ao motor e seus componentes.
- **Teor de Óxidos Nítricos (NOx):** Em relação ao diesel mineral, o biodiesel apresenta um aumento nas emissões de NOx. Um dos fatores relacionados à este aumento pode ser atribuída à matéria-prima ou à formulação empregada para produção do biodiesel.
- **Poder de Solvência:** O biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo-se as resinas que compõem as tintas. Dessa forma, cuidados especiais com o manuseio do biodiesel devem ser tomados para evitar danos à pintura dos veículos, nas proximidades do ponto ou bocal de abastecimento.
- **Biodegradabilidade e Toxicidade:** O biodiesel se mostrou altamente biodegradável em uma simulação de derramamento no solo. Um solo contaminado com biodiesel pode promover a germinação de sementes após a biodegradação do óleo depois de 4 a 6 semanas. Porém, durante o processo de biodegradação pode haver um rápido crescimento de microorganismos que, de alguma forma, podem prejudicar o crescimento do vegetal neste solo. Quanto ao fato de ser tóxico, foram feitos estudos em ratos para analisar os malefícios causados ao ingerir o biodiesel e comparado aos efeitos do diesel mineral, resultando que o biodiesel apresenta menos toxicidade, pois provocou uma quantidade inferior de óbitos dos animais.
- **Estabilidade Oxidativa:** O biodiesel é susceptível à oxidação quando exposto ao ar. Esta propriedade pode ser associada à existência das ligações insaturadas nas cadeias carbônicas provenientes dos ácidos graxos, fato este que pode comprometer a armazenagem e uso desse biocombustível. Porém, este problema pode ser superado pela utilização de aditivos que melhoram a conservação do biodiesel.

Atualmente, existem diversas especificações do biodiesel aceitas no Brasil: a americana, a europeia e a brasileira, conforme representado na Tabela 8 (RIBEIRO; PEIXOTO; SOUZA, 2008).

Tabela 8 - Limites para certificação/especificação do biodiesel no Brasil.

Características	Unid.	Limite	Método		
			ABNT	ASTM	EN / ISO
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	850 – 900	7148/14065	1298/4052	3675/12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 - 6,0	10441	445	3104
Teor de Água, máx.	mg/kg	500	-	6304	12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	12662
Ponto de fulgor, mín.	°C	100,0	14598	93	3679
Teor de éster, mín.	% massa	96,5	15342	-	14103
Resíduo de carbono	% massa	0,050	-	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	50	-	5453	20846/20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554/15555 15553/15556	-	14108/14109 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553/15556	-	14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	14107
Corrosividade ao Cu, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	2160
Número de Cetano	-	Anotar	-	613/6890	5165
Ponto entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19	14747	6371	116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448	664	14104
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341	6584	14105/14106
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	15344	6584	14105
Mono, di, triacilglicerol	% massa	Anotar	15342/15344	6584	14105
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	-
Índice de lodo	g/100g	Anotar	-	-	14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.	h	6	-	-	14112

Fonte: Adaptado de ANP (2008).

## APÊNDICE I – MANUAL PARA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A seguir será apresentada cada uma das partes do painel do sensor, e também, como realizar a gravação do microcontrolador utilizando a comunicação USB.

A Figura 89 representa a parte superior do painel.

Figura 89 - Parte superior do painel.



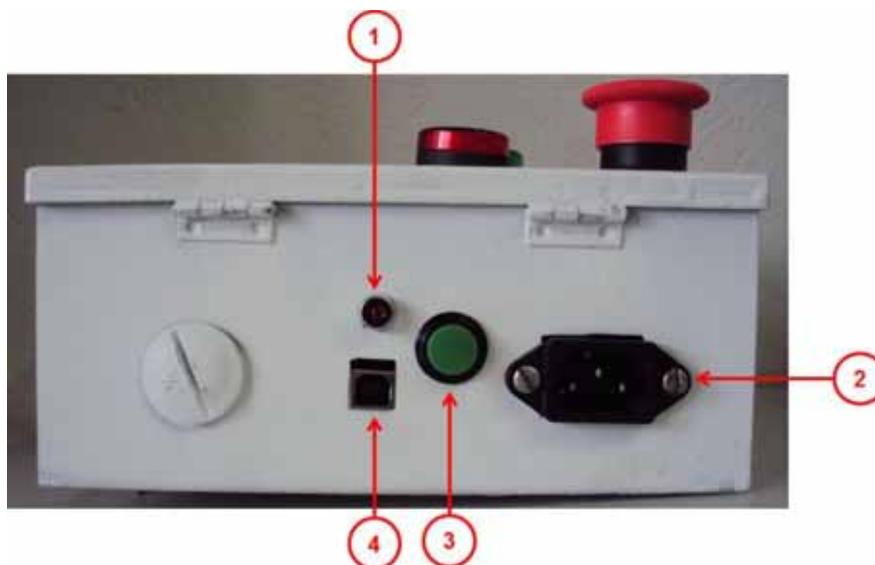
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Sendo:

- 1: visor de LCD de 2 linhas por 16 colunas;
- 2: sinal luminoso da glicerina;
- 3: chave liga/desliga;
- 4: sinal luminoso do biodiesel;
- 5: botão de emergência;
- 6: sinal luminoso de emergência.

Na Figura 90 é mostrada a lateral esquerda do painel.

Figura 90 - Lateral esquerda do painel.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Sendo:

- 1: led vermelho da comunicação USB;
- 2: porta USB tipo B fêmea;
- 3: botão para gravação do microcontrolador;
- 4: conector para alimentação 127 VCA do painel.

Na Figura 91 é representada a lateral direita do painel a posição da chave comutadora.

Figura 91 - Lateral direita do painel.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Sendo:

- 1: Posição da chave comutadora usando USB do computador. Esta deve ser usada somente para a gravação do microcontrolador;
- 2: Posição da chave comutadora, quando não fornece alimentação alguma para o painel;
- 3: Posição da chave comutadora usando a alimentação 127 VCA;

A Figura 92 representa a parte inferior do painel, com os conectores XLR.

Figura 92 - Parte inferior do painel.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Sendo:

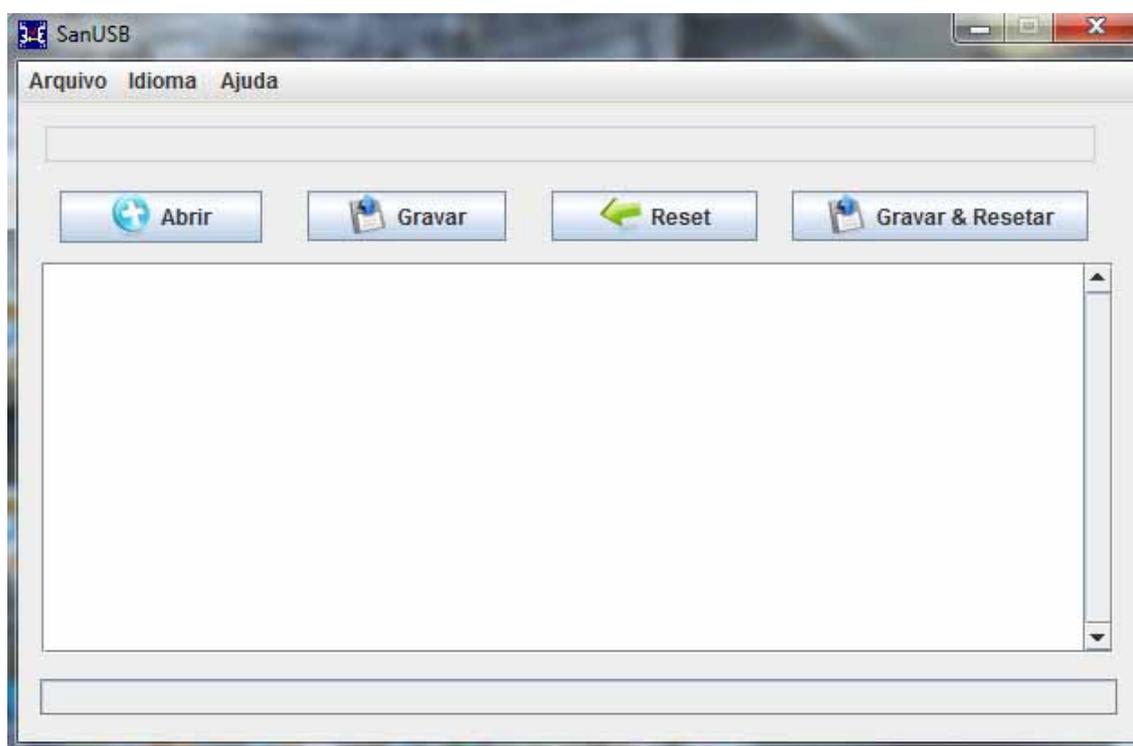
- 1: Válvula solenoide para o biodiesel;
- 2: Válvula solenoide para a glicerina;
- 3: Sensor.

Para o processo de gravação do microcontrolador utilizando a comunicação USB o botão liga/desliga deve ficar na posição desligado e a chave comutadora na posição 1, que utiliza a alimentação da porta USB do computador.

No momento em que o a chave comutadora é direcionada para a posição 1, o botão de gravação deve estar acionado para que, assim, o microcontrolador entre no modo de gravação, acionando o led vermelho.

Para inserir um novo programa é necessário ter instalado no computador a ferramenta San USB, que é um *software* livre. A Figura 93 representa a tela inicial desse programa.

Figura 93 - Tela inicial da ferramenta SanUSB.

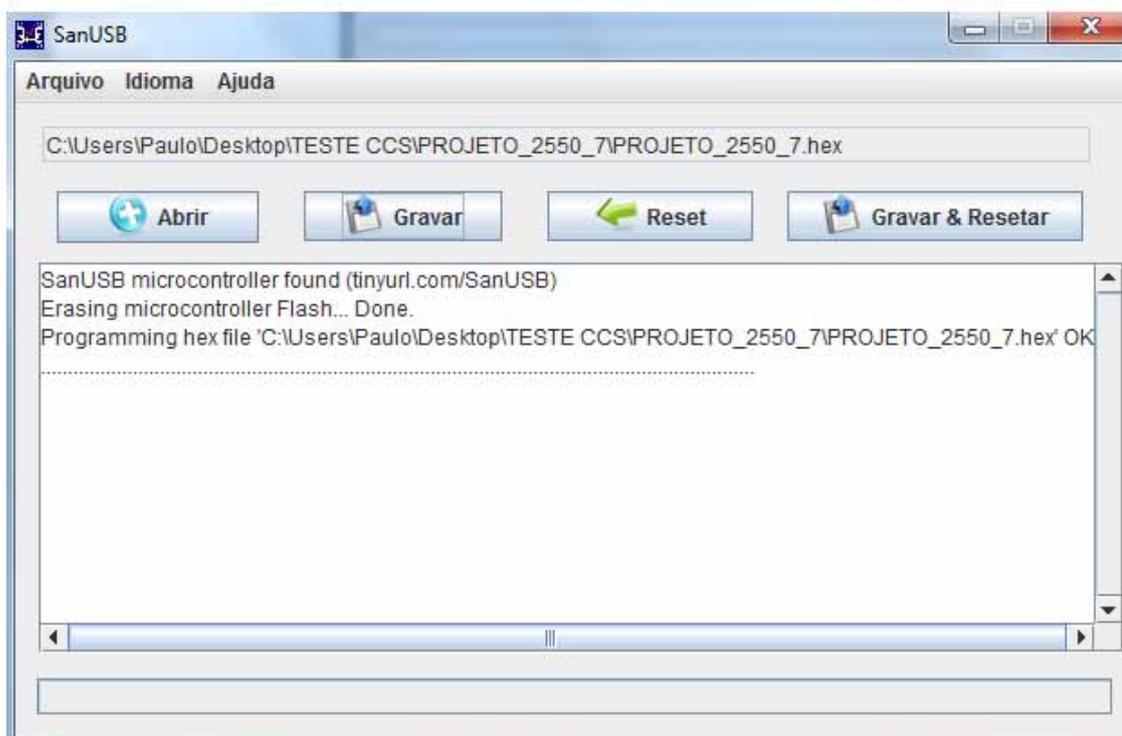


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para buscar o novo código hexadecimal para inserir no microcontrolador, deve-se clicar no menu “Abrir” da Figura 93 e para concluir a gravação deve-se clicar em “Gravar”. Se a gravação for realizada com êxito, aparecerá uma mensagem de confirmação, conforme representado na Figura 94.

Depois de inserido o novo programa no microcontrolador, a chave comutadora deve ser colocada na posição 3, para alimentar o painel com a tensão 127 VCA, e, em seguida, a chave geral do painel ligada, para que o equipamento possa ser utilizado, conforme proposto.

Figura 94 - Mensagem de confirmação da gravação no microcontrolador.



Fonte: Elaboração do próprio autor.