

**UNIVERSIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO E DA REGIÃO
DO PANTANAL - UNIDERP**

LAURO CORREA CRUZ

**SISTEMA MICROPROCESSADO PARA MEDIÇÃO DE RENDIMENTO
ENERGÉTICO DE BIODIESEL UTILIZANDO UMA PLANTA GERADORA DE
ENERGIA.**

CAMPO GRANDE – MS

2007

LAURO CORREA CRUZ

**SISTEMA MICROPROCESSADO PARA MEDIÇÃO DE RENDIMENTO
ENERGÉTICO DE BIODIESEL UTILIZANDO UMA PLANTA GERADORA DE
ENERGIA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em nível de Mestrado Profissionalizante em Produção e Gestão Agroindustrial da Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção e Gestão Agroindustrial.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Prof. Dr. Francisco de Assis Rolim Pereira

Prof. Dr. Fernando César Bauer

Prof. Dr. Celso Correia de Souza

CAMPO GRANDE – MS

2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UNIDERP

C955s Cruz, Lauro Correa.
Sistema microprocessado para medição de rendimento energético de biodiesel utilizando uma planta geradora de energia / Lauro Correa Cruz. -- Campo Grande, MS, 2007.
70 f. : il. color.

Dissertação (mestrado)- Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, 2007.
“Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Rolim Pereira”.

1. Sistema microprocessado 2. Energia elétrica - Medição 3. Biodiesel
4. Oleaginosas I. Título.

CDD 21.ed. 621.3745
662.669

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: **Lauro Corrêa Cruz**

Dissertação defendida e aprovada em 16 de outubro de 2007 pela Banca Examinadora:

Prof. Doutor **Francisco de Assis Rolim Pereira (Orientador)**

Prof. Doutor **Luiz Henrique Viana (UFMS)**

Prof. Doutor **José Wanderley Scucuglia (UNIDERP)**

Prof. Doutor **Luiz Eustáquio Lopes Pinheiro**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Produção e Gestão Agroindustrial

Prof. Doutor **Raimundo Martins Filho**
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da UNIDERP

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado com muito carinho à minha amada esposa Maraíza, meus queridos filhos Alexandre, Lauro Jr, Mauro Neto, meus maravilhosos netos Lucas e Mavi, meu irmão muito especial Thadeo e aos meus fantásticos pais Naná e Mauro (em memória).

AGRADECIMENTOS

- A DEUS pela sua imensa sabedoria e amor;
- Ao meu irmão Thadeo, pela amizade e apoio, mesmo estando tão longe (Portugal);
- Ao Prof. Dr. Francisco de Assis Rolim Pereira, orientador, incentivador, e mestre dedicado durante o desenvolvimento deste trabalho;
- Ao Prof. Dr. Luis Eustáquio e Prof. Dr. Francisco de Assis Rolim Pereira, coordenadores do mestrado, pela atenção e dedicação aos mestrandos e em especial à compreensão das dificuldades dos mesmos;
- Aos professores Dr. Fernando César Bauer e Dr. Celso Correia de Souza participantes do comitê de orientação;
- Aos demais professores pelo entusiasmo e dedicação ao longo de todo o curso de Mestrado;
- Aos meus colegas mestrando pela convivência, troca de experiências, dificuldades e alegrias compartilhadas, e principalmente pelas amizades conquistadas de Gilvanci, Elaine e Daniela (integrantes do grupo de trabalho), da maravilhosa Vera (incansável amiga e eficiente mestranda), dos alegres companheiros Kennedy, Marcelo e Aldo e em especial ao meu estimado amigo Luís Braga, do qual tenho as melhores recordações e sempre me presenteando com sua sabedoria, experiências e amizade;
- Aos meus colegas de trabalho do NEAC, professor Antonio Marcos Reis, Professor Dr. Uender, Donato Almeida Costa pela grande contribuição a este trabalho;
- Ao Professor Dr. José Wanderley Scucuglia, gerente do NEAC, participativo, sempre presente e atento às solicitações e necessidades, para a perfeita construção do sistema microprocessado;
- A equipe do Departamento de Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (Laboratório de Combustíveis), cuja participação foi muito importante, pelo fornecimento dos biodiesel de óleo soja e girassol do laboratório da própria Universidade Federal, e principalmente meu muito obrigado ao Prof. Dr. Luiz Henrique Viana pela sua grandiosa contribuição.

- Ao meu filho Lauro Jr, em especial, muito obrigado pela paciência, amizade, dedicação, competência e fundamentalmente por ser o autor intelectual deste projeto, já que, sem o seu apoio constante, suporte, e supervisão geral, jamais eu conseguiria concluir este trabalho e o curso de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS	x
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Biodiesel	16
2.1.1. Definição	16
2.1.2. Histórico	17
2.1.3. Vantagens.....	19
2.1.4. Matéria-Prima para Produção de biodiesel	20
2.1.5. Investimentos no biodiesel.....	20
2.1.6. Selo Combustível Social	21
2.1.7. Propriedades Físicas e Químicas	22
2.1.8. Obtenção do biodiesel - Processo de Transesterificação.	23
2.1.9. Potencialidade Brasileira	24
2.1.10. Usinas de biodiesel.....	25
2.1.11. Matérias-Primas de Destaque.....	26
2.1.12. A Matriz Energética.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1. Idealização da Solução do Processo de Construção do Sistema Microprocessado.....	31
3.2. Desenvolvimentos do Hardware	31
3.3. Desenvolvimento de Circuitos de Interface	32
3.3.1. Circuitos de Interface com Sensores	32
3.3.2. Circuito de Comunicação Serial com o Computador.....	32
3.3.3. Interface RS232 e Conversão de Níveis	33
3.3.4. Circuitos de Interface com Usuário	34
3.3.5. Circuito de Alimentação.....	34
3.3.6. Circuito de Armazenamento de dados em Memórias de Massa (Mm) e Circuito de Sincronização Temporal com Relógio em Tempo Real	34

3.3.7. Circuito de Medição de Energia	35
3.3.8. Desenvolvimento do Firmware	36
3.3.9. Desenvolvimento do Software e Confeção do Protótipo	37
3.3.10. Calibração do Sistema Microprocessado	38
3.4. Materiais e Métodos de Campo	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. Sistema Microprocessado	43
4.2. Desenvolvimentos do Hardware	45
4.3. Desenvolvimento de Circuitos de Interface	45
4.3.1. Circuitos de Interface com Sensores	46
4.3.2. Circuito de Comunicação Serial com o Computador e Interface RS232	47
4.3.3. Conversão de Níveis	47
4.3.4. Circuitos de Interface com Usuário	47
4.3.5. Circuito de Alimentação	48
4.3.6. Circuito de Armazenamento de dados em Memórias de Massa (Mm).....	49
4.3.7. Circuito de Sincronização Temporal com Relógio em Tempo Real	50
4.3.8. Circuito de Medição de Energia	50
4.3.9. Desenvolvimento do Firmware	51
4.3.10. Desenvolvimento do Software.....	52
4.3.11. Confeção do Protótipo	53
4.3.12. Calibração do Sistema Microprocessado	54
4.4. Testes em Campo – Metodologia Operacional	57
5. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Processo de produção de biodiesel - simplificado.....	23
Figura 2.	Cadeia de produção de biodiesel no Brasil	24
Figura 3.	Etapas do óleo vegetal: desenvolvimento, diversas oleaginosas e óleos vegetais	25
Figura 4.	Unidades com capacidade para 1000 L/h	25
Figura 5.	Matriz Energética Brasileira	28
Figura 6.	Matriz Atual de Combustíveis veiculares	29
Figura 7.	Ilustração de comunicação serial	33
Figura 8.	Topologia típica de aplicação com integrador desligado	36
Figura 9.	Gerador de Energia elétrica (PGEE).	38
Figura 10.	Topologia Geral do sistema	39
Figura 11.	Tela operacional de resultados de quantidades de energia produzida (acumulada e instantânea) e tempo decorrido	41
Figura 12.	Diagrama interno do Sistema Microprocessado (SM)	44
Figura 13.	Diagrama interno do Sistema Microprocessado e respectivas conexões com PGEE e PCEE.....	44
Figura 14.	Ilustração do microcontrolador PIC18F452	45
Figura 15.	Desenvolvimento dos circuitos de comunicação no protoboard para minimizar erros na confecção de placas	46
Figura 16.	Circuito equivalente simplificado do transformador de corrente	46
Figura 17.	Demonstração do MAX232.	47
Figura 18.	Display de cristal líquido utilizado para visualização de dados do Sistema Microprocessado	48
Figura 19.	Topologia de comunicação de dados utilizando protocolo I2C.....	48
Figura 20.	Circuito de alimentação chaveado para o SM.	49
Figura 21.	Diagrama de funcionamento interno em blocos da memória AT45DB161	49
Figura 22.	Interface com memória flash serial.....	49
Figura 23.	Diagrama de interface com relógio em tempo real DS1337	50
Figura 24.	Microcontrolador máster e periféricos	51
Figura 25.	Pinos de utilização do protocolo SPI	51
Figura 26.	Aplicativo para desenvolvimento de soluções microcontroladas.....	52

Figura 27. Funcionalidades e ilustrações do software LabView	53
Figura 28. Layout da placa após roteamento utilizando software CAD	53
Figura 29. Placa microprocessada.	54
Figura 30. Os componentes soldados na placa do sistema	54
Figura 31. Equipamento de calibração Fluke-196C	56
Figura 32. Gráfico das quantidades de energia instantânea gerada para o consumo de 1, 50 litros de óleo diesel em função do tempo.....	60
Figura 33. Gráfico das quantidades de energia instantânea gerada para o consumo de 1, 50 litros biodiesel de óleo de soja em função do tempo	60
Figura 34. Gráfico das quantidades de energia instantânea gerada para o consumo de 1, 50 litros de biodiesel de óleo de girassol em função do tempo.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução histórica do biodiesel	18
Tabela 2. Características físicas do óleo diesel e de alguns óleos vegetais	23
Tabela 3. Indicativos e sinalizações para rotas adequadas para extração de óleos vegetais	26
Tabela 4. As principais características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel.	27
Tabela 5. Características mínimas para os sistemas de medição de BT (baixa tensão) de acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).	55
Tabela 6. Tabela comparativa de erros obtidos entre o SM e o Fluke-196C (quantidade de energia elétrica instantânea em Watt por minuto)	56
Tabela 7. Quantidade de energia gerada (acumulada) e tempo decorrido para o consumo de 1,50 litros de combustível (óleo diesel, biodiesel de soja e biodiesel de girassol) para uma carga constante de 1800W.	57

LISTA DE SIGLAS

- Abimaq - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
- ADC - Conversores analógico/digital
- ANP - Agência Nacional de Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural
- B5 - Combustível comercial, composto de 95%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 5% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;
- B10 - Combustível comercial, composto de 90%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 10% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;
- B20 - Combustível comercial, composto de 80%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 20% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;
- B20 - Combustível comercial, composto de 50%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 50% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- BGM - Biodiesel de girasol médio
- BOG - Biodiesel de óleo de girassol
- BOS - Biodiesel de óleo de soja
- BSM - Biodiesel de soja médio
- CAD - Computer Aided Design
- CEI - Comissão Executiva Interministerial
- CNI - Confederação Nacional da Indústria
- Cofins - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
- D - Óleo Diesel
- DG - Display gráfico

DIC -	Delineamento inteiramente casualizados
DM -	Óleo diesel médio
D.O.U -	Diário Oficial da União
EE -	Energia elétrica
GC -	Grupo Gestor
IEL -	Instituto Euvaldo Lodi
LCD -	Display gráfico de cristal líquido
MDA -	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MME -	Ministério das Minas e Energia
MS -	Mato Grosso do Sul
NBB -	National Biodiesel Board
NEAC -	Núcleo de Energia, Automação e Controle
OG -	Óleo de girassol
OS -	Óleo de soja
PC -	Personal computer
PCE -	Planta de carga de energia
PGA -	Programable Gain Stage
PGGE -	Planta geradora de energia elétrica
PIS/PASEP -	Programa de Integração Social
PM -	Processador matemático
RTC -	Real Time Clock
SESI -	Serviço Social da Indústria
SENAI -	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SPI -	Serial Peripheral Interface
SM -	Sistema microprocessado
SMD -	Surface Mount Device
SRF -	Secretaria da Receita Federal
TC -	Transformador de corrente
TTL -	Níveis de tensão
UFMS -	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UNIDERP -	Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema microprocessado (SM) para medição de rendimento energético de biodiesel utilizando uma planta geradora de energia elétrica (PGEE). O SM contempla as medições de corrente e tensão por fase, cálculo da potência aparente, ativa e reativa, através de circuitos de armazenamento de memória de massa, e apresentação das variáveis amostradas em um display colorido de cristal líquido e perfeitamente adaptado para conexão a um computador (PC), informando a quantidade de energia elétrica produzida por tempo ou volume de óleo combustível (KW/L), gerando relatórios que apresentam a quantidade de energia elétrica produzida por tempo ou volume de óleo de diferentes espécies oleaginosas, identificando qual tipo de espécie mais adequada à região de operação, de forma a atender as comunidades do Pantanal. Para a construção do SM foram utilizados equipamentos calibrados, tecnologias de ponta, materiais e componentes de comprovada qualidade técnica. As oleaginosas utilizadas foram a soja e o girassol, além do óleo diesel (D). Os testes e a determinação das quantidades de energia (KW/h) produzida pelo D e pelos biodieseis de óleo de soja (BOS) e de óleo de girassol (BOG) foram realizados no NEAC. Foram realizados ensaios com 03 tratamentos e 07 repetições com os BOS e BOG e o óleo diesel, com volumes constantes de 1,50 litros para cada amostra. Os resultados encontrados demonstraram que a utilização do óleo diesel como combustível para PGEE apresenta maior duração de tempo para consumo de 1,50 litros de combustível em comparação aos BOS e BOG, e produzindo maior quantidade de energia elétrica. Os BOS e BOG se equivaleram. Os resultados demonstraram também confiabilidade no SM construído.

PALAVRAS-CHAVE: Transesterificação; oleaginosas; medição de energia elétrica; biocombustível.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a microprocessed system (SM) for energy income measurement of generating plant of electric energy (PGEE) by using the biodiesel. The SM contemplates the chain measurements and the phase tension, the apparent potency calculation, active and reactive, through circuits of mass memory storage, and storage of the showed variables in a liquid crystal colorful display or perfectly adjusted for the computer connection (PC), informing the amount of electric energy produced by time or volume of combustible oil (KW/L), generating reports that indicate the amount of electric energy produced by time or volume of different greasy species of oils, identifying the most adjusted species to the operation region, in order to take into consideration the Pantanal communities. It had been used calibrated equipments, top technologies, proven quality technique materials and components for the construction of the SM. The greasy species used were the soybean and the sunflower. Metropolitan diesel oil was used (DM). The tests and the determination of the energy amounts(KW/h) produced by the DM and the biodieseis from soybean oil (BOS) and sunflower oil (BOG) were accomplished at the NEAC. It was performed an assay with 3 treatments and 07 repetitions with BOS and BOG and the diesel oil, with constant volumes of 1,50 liters for each sample. The found results demonstrated that the utilization of diesel oil as combustible for PGEE presents longer time duration for 1,50 liters consumption of fuel in comparison to BOS and BOG, and producing bigger amount of electric energy. The BOS and the BOG were equivalent themselves. The results also demonstrated trustworthiness on the constructed SM.

KEY-WORDS: Transterilization; greasy; electric energy measurement; biocombustible.

1. INTRODUÇÃO

A energia é a base de desenvolvimento do mundo. As necessidades básicas energéticas atualmente são cada vez maiores para a produção de alimentos, bens de consumo, serviço, produção e lazer, e conseqüentemente para promover os desenvolvimentos econômicos, sociais e culturais. A importância da energia não é só no contexto das grandes nações industrializadas, mas principalmente naquelas em via de desenvolvimento e subdesenvolvidas, cujas necessidades energéticas são ainda mais dramáticas e prementes.

O mundo enfrenta uma grave crise energética, e a consciência globalizada de que o petróleo é finito, apresenta-se como uma grande realidade. Assim as responsabilidades políticas e científicas convergem esforços para as energias alternativas.

Fontes alternativas como a Energia Solar, Energia Eólica, Biomassa, PCH's (pequenas centrais elétricas), Energia Hidráulica, Energia Geotérmica, Maré-Motriz, Células Combustíveis, e principalmente o Biodiesel vêm se destacando e se tornando cada vez mais relevantes nas comunidades científicas pela sua disponibilidade (presente e futura) garantida, para dar suporte ao crescimento populacional e a conseqüente necessidade de consumo nos diversos segmentos, tais como residencial, comercial, industrial entre outros.

No Brasil a consciência política já se faz bastante presente e o governo federal através de medidas, atos, leis e incentivos fiscais, têm dado apoio e incremento aos investimentos tecnológicos, para a viabilização de tecnologia em energias alternativas. O posicionamento do Brasil como produtor de energia no

mercado mundial e líder em inovação tecnológica e a sua constante inter-relação entre as necessidades energéticas da sociedade e a exigência de conservação do meio ambiente, se reflete pela sua destacada presença perante aos países mais industrializados do mundo.

No Brasil parte de sua população mais pobre não tem acesso à energia elétrica, pois vive em regiões onde o atendimento através de redes de energia elétrica é totalmente inviável devido ao alto custo de implementação das mesmas. Estas regiões típicas do Nordeste, Centro-Oeste e Norte abrigam pequenos núcleos populacionais com baixa densidade demográfica e distantes. O desenvolvimento e os incentivos à produção de biodiesel proporcionarão vantagens econômicas (redução da dependência externa de combustível), ambientais (redução de emissão de CO₂ na atmosfera), tecnológicas (melhoramento acentuado da mistura óleo diesel - biodiesel), e sociais (sendo renovável gera um grande número de empregos na área rural).

O biodiesel é o substituto natural do óleo diesel, possuindo características físicas e químicas quase idênticas a este, e com a vantagem de ser oriundo de biomassa. Fundamentalmente o biodiesel está nas prioridades governamentais dos países mais desenvolvidos do mundo e principalmente do Brasil, que pelas suas dimensões continentais e biodiversidade, explicam sua riqueza em oleaginosas, portanto se faz mister identificar dentro das diferentes oleaginosas, qual a espécie mais adequada a uma determinada região de operação conforme sua capacidade energética (quantidade de energia elétrica-EE produzida por determinado volume de combustível), de forma à atender as comunidades como as do Pantanal, distantes das redes de EE sendo robusto e de fácil manuseio.

Assim o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um Sistema Microprocessado (SM) para medição de rendimento energético de biodiesel utilizando uma Planta Geradora de Energia Elétrica (PGEE), que apresenta a quantidade de EE gerada e o tempo decorrido para o consumo de um determinado volume de combustível.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Biodiesel

2.1.1. Definição

De acordo com Parente (2003), a definição de biodiesel:

É um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP tem a sua própria definição, que é a utilizada para todos os efeitos legais e de Controle de Qualidade:

a) Biodiesel - B100: combustível composto de alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2004, parte integrante desta Resolução;

b) Mistura óleo diesel/biodiesel - B2: combustível comercial, composto de 98%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 2% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;

c) Mistura autorizada óleo diesel / biodiesel: combustível composto de biodiesel e óleo diesel, em proporção definida quando da autorização concedida

para testes e uso experimental, conforme previsto pela Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003;

A definição americana do biodiesel, aceita pelo National Biodiesel Board-NBB, através da especificação ASTM D6751/2002, item 3 (“Terminology”), segundo a revista Biodiesel (2007), estabelece:

Biodiesel é um combustível composto de mono-álquil-éster de cadeia longa de ácidos graxos, derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100. Biodiesel é tipicamente produzido através da reação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcool, como metanol ou etanol, na presença de catalisadores, para se produzirem mono-álquil ésteres e glicerina, que é removida. O biodiesel resultante é derivado, em 10% de sua massa, do álcool reagido. O álcool utilizado na reação poderá ser proveniente de fontes renováveis.

É importante conceituar também o que não é biodiesel:

- a) Qualquer óleo vegetal puro: soja, girassol, canola, mamona, palma, babaçu, algodão e outros;
- b) Óleo vegetal misturado ao diesel em qualquer quantidade;
- c) Óleo vegetal misturado a qualquer outro combustível ou produto, sem seguir o método científico da transesterificação.

2.1.2. Histórico

Conforme Oliveira (2001), o uso de óleos vegetais em motores de combustão interna começou com Rodolf Diesel (1900) utilizando óleo de amendoim. Razões de natureza econômica levaram ao completo abandono dos óleos vegetais como combustíveis à época. Entretanto, na década de 70, o mercado de petróleo foi marcado por dois súbitos desequilíbrios entre oferta e demanda mundial, conhecidos como 1º e 2º choques do petróleo. Em resposta a estas crises, o mercado sentiu a necessidade de diminuir a dependência do petróleo, através de investimentos no desenvolvimento de tecnologia de produção e uso de fontes alternativas de energia.

De acordo com Parente *at al* (2003), entre 1983 e 1985, o aumento da produção do petróleo conduziu a uma acentuada queda do preço do petróleo no mercado internacional. Como consequência, vários países, inclusive o Brasil, tiveram diversos projetos para produção e uso de energias alternativas desarticulados.

A Tabela 1 apresenta um histórico completo e bem detalhado da evolução do desenvolvimento do biodiesel no Brasil e no mundo.

TABELA 1: Evolução histórica do biodiesel.

ANO	EVOLUÇÃO
1900	Primeiro ensaio por Rudolf Diesel, em Paris, de um motor movido a óleos vegetais.;
1937	Concessão da primeira patente a combustíveis obtidos a partir de óleos vegetais (óleo de palma), a G. Chavanne, em Bruxelas/Bélgica. Patente 422.877.
1938	Primeiro registro de uso de combustível de óleo vegetal para fins comerciais: ônibus de passageiros da linha Bruxelas-Lovaina/BEL.
1939-1945	Inúmeros registros de uso comercial na "frota de guerra" de combustíveis obtidos a partir de óleos vegetais.
1975	Lançamento do programa PRO-ÁLCOOL.
1980	Depósito da 1ª Patente de Biodiesel no Brasil - Dr. Exedito Parente.
1988:	Início da produção de biodiesel na Áustria e na França e primeiro registro do uso da palavra "biodiesel" na literatura.
1997	EUA aprovam biodiesel como combustível alternativo.
1998	Setores de P&D no Brasil retomam os projetos para uso do biodiesel.
2002	Alemanha ultrapassa a marca de 1 milhão ton/ano de produção.
2003	Portaria ANP 240 estabelece a regulamentação para a utilização de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não especificados no País.
2003:	DECRETO do Governo Federal Institui a Comissão Executiva Interministerial (CEI) e o Grupo Gestor (GG), encarregados da implantação das ações para produção e uso de biodiesel.
2004	Publicadas as resoluções 41 e 42 da A.N.P, que instituem a obrigatoriedade de autorização deste órgão para produção de biodiesel, e que estabelece a especificação para a comercialização de biodiesel que poderá ser adicionado ao óleo diesel, na proporção 2% em volume.
2004	Lançamento do Programa de Produção e Uso do biodiesel pelo Governo Federal.
2005	Publicação no D.O.U. da lei 11.097 que autoriza a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. (13/01/2005)
2005	Instrução Normativa SRF nº 516, a qual dispõe sobre o Registro Especial a que estão sujeitos os produtores e os importadores de biodiesel, e dá outras providências.
2005	Instrução Normativa da SRF nº 526, a qual dispõe sobre a opção pelos regimes de incidência da Contribuição para o PIS/PASEP e da Cofins, de que tratam o art. 52 da Lei nº 10.833, de 29 de dezembro de 2003, e o art. 4º da Medida Provisória nº 227, de 6 de dezembro de 2004.
2005	Inauguração da primeira usina e posto revendedor de Biodiesel no Brasil (Belo Horizonte/MG).
2005	A medida provisória foi à sanção do presidente.

Fonte: Plá (2002); Knothe (2001); Presidência da República (2005); ANP (2005)

Conforme Oliveira (2001), no início de 2000, houve uma nova alta do petróleo no mercado internacional e ao final deste ano, o preço se estabilizou em níveis ainda altos. Por isso, as fontes de energias renováveis devem assumir papel crescente na matriz energética mundial com técnicas mais avançadas e preocupadas com a sustentabilidade ambiental.

Sant'anna (2003) diz que o biodiesel é obtido a partir de misturas de óleos vegetais e álcool e a reação é catalisada por soda cáustica, ou outros catalisadores alcalinos. O produto obtido apresenta-se contaminado por glicerol, e por isso torna-se necessária uma purificação apropriada da mistura resultante.

2.1.3. Vantagens

Segundo a Revista Biodiesel (2007), as vantagens do biodiesel no Brasil são:

a) Estratégicas

Biodiesel é um sucedâneo do óleo diesel, principal combustível consumido pelo País, podendo gerar a substituição de um combustível fóssil (diesel) por um renovável (biodiesel).

A utilização do biodiesel reduz a dependência externa do Brasil em relação ao seu combustível de maior consumo (cerca de 20% do óleo diesel consumido é importado diretamente como derivado). Podendo, também, viabilizar a distribuição de biodiesel em regiões isoladas que possam produzi-lo, fortalecendo o agronegócio e promovendo o crescimento regional sustentado.

b) Econômicas e sociais

O biodiesel é um combustível renovável, cujo processo produtivo gera um grande número de empregos na área rural.

A redução das emissões de CO₂ com o uso do biodiesel, principalmente nas grandes cidades, representa significativa melhoria para a saúde pública.

c) Ambientais e energéticas

A utilização do biodiesel representa ganho ambiental significativo, tanto no que se refere à redução das emissões, ao uso em motores ciclo diesel, quanto

ao balanço de CO₂ emitido na queima e absorvido pela biosfera. Apresenta redução de emissões de CO₂, reduzindo o efeito estufa (01 tonelada (t) de biodiesel significa reduzir 2,5 t de CO₂).

d) Tecnológicas

O biodiesel quando misturado com o óleo diesel tende a melhorar as características deste derivado de petróleo, aumentando a lubricidade, reduzindo o teor de enxofre, e elevando o número de cetano.

2.1.4. Matéria-Prima para Produção de biodiesel

Segundo a Revista Biodiesel (2007) no Brasil existem dezenas de alternativas para a produção de biodiesel, como demonstram experiências realizadas em diversos Estados com oleaginosas como a mamona, dendê, soja, girassol, pinhão manso, caroço de algodão, nabo forrageiro, amendoim, babaçu, etc. É muito importante ter conhecimento avançado sobre a matéria-prima a ser utilizada como: sua origem, clima adequado, os cuidados, as possíveis doenças, os tratamentos, a produtividade, o teor de óleo, as características da oleaginosa para o biodiesel.

2.1.5. Investimentos no Biodiesel

De acordo com a Revista Biodiesel (2007), apesar da matriz energética brasileira ainda estar em fase de implementação, vai receber, em 2007, investimentos importantes na construção de fábricas para aumentar a capacidade instalada dos atuais 123 milhões para 589 milhões de litros por ano.

Os bancos estatais devem investir nesta área cerca de R\$ 430 milhões até o final do ano de 2007, sendo R\$ 250 milhões por meio do Banco do Brasil e R\$ 180 milhões do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Os produtores do Biocombustível também poderão contar com investimentos de capital próprio, já anunciado por diversas empresas.

Foram diversos os estímulos governamentais para a concretização destas fábricas, tais como a obrigatoriedade de adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel mineral a partir de janeiro de 2008 e também o incentivo à inclusão de

famílias de agricultores na produção de sementes de oleaginosas, em especial nas regiões Norte e Nordeste. Os empresários também têm demonstrando, por meio de investimentos anunciados e em estudos, que vão participar ativamente da produção do biodiesel.

Conforme dados do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), uma família de pequenos agricultores pode aumentar sua renda anual entre R\$ 1,3 mil e R\$ 16 mil, dependendo da região do país, tipo de cultura e área plantada.

Segundo o Sistema Indústria (CNI/SESI/SENAI/IEL), outro setor da economia beneficiado com o biodiesel é o de indústrias que fabricam máquinas e equipamentos agrícolas, tanto para usinas, quanto para os plantadores. Estes esperam lucrar cerca de R\$ 4 bilhões nos próximos três anos. Para o Vice-Presidente da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq), Rubens Dias de Moraes, se a mistura de biodiesel no diesel mineral subir para 5% antes do prazo previsto (janeiro de 2013), os investimentos podem crescer rapidamente para R\$ 10 bilhões nos mesmos três anos, para o país poder fabricar 2,4 bilhões de litros por ano.

2.1.6. Selo Combustível Social

Segundo o MDA, 13 empresas possuem o selo social do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) como produtoras de biodiesel.

As empresas recebem esse selo por promoverem a inclusão social e o desenvolvimento regional por meio da geração de emprego e de renda aos agricultores familiares do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. Juntos, esses 13 empreendimentos possui uma capacidade instalada total de 744,91 milhões de litros, beneficiando aproximadamente 64 mil agricultores familiares.

Através do Selo de Combustível Social, o produtor de biodiesel recebe a redução diferenciada no pagamento das alíquotas PIS/Pasep e Confins, melhores condições de financiamento junto ao BNDES e a instituições financeiras credenciadas. O selo é concedido para produtores que compram a matéria prima da agricultura familiar dentro de um percentual mínimo que varia de região para

região. São exigidas a assistência técnica e capacitação dos familiares por parte dos produtores.

2.1.7. Propriedades Físicas e Químicas

Segundo a Revista Biodiesel (2007), as características físicas e químicas do biodiesel são semelhantes entre si, independentemente de sua origem. Essas características são quase idênticas, independentes da natureza da matéria-prima e do agente de transesterificação. Pelas semelhanças de propriedades fluidodinâmicas e termodinâmicas, o biodiesel e o óleo diesel de petróleo possuem características de completa equivalência, especialmente vistas sob os aspectos de combustibilidade em motores do ciclo diesel. Pela equivalência de suas propriedades físico-químicas e como o biodiesel e o óleo diesel mineral são completamente miscíveis, as misturas de biodiesel com o óleo diesel podem ser empregadas em qualquer proporção.

Algumas das propriedades físicas e químicas do biodiesel mais importantes relacionadas às do óleo diesel são:

a) Poder Calorífico

O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel situa-se em torno de 5%. Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao óleo diesel.

b) 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.

c) Teor de Enxofre

Como os óleos vegetais e as gorduras de animais não possuem enxofre, o biodiesel é completamente isento desse elemento.

A Tabela 2 apresenta algumas das características físicas do óleo diesel e de alguns óleos vegetais.

TABELA 2: Características físicas do óleo diesel e de alguns óleos vegetais

Características/óleos	Diesel	Amendoim	Soja	Algodão	girassol	Babaçu	Dendê	Mamona
Densidade relativa	0,828	0,919	0,920	0,919	0,923	0,921	0,915	0,959
Visc. Cinemática	1,6-6,0	38	36	40	37	32	39	297
Início destilação	165	173	152	-	211	-	-	-
Resíduo de carbono	0,3 (máx)	0,42	0,45	0,42	0,42	0,22	-	0,18
Número de cetano	45 (min)	33	36	40	39	38	42	-
Poder calorífico Kcal/l	Inf. 8.400	7.900	7.850	8.050	7.950	7.800	8.330	8.000
Água por destilação	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	0,20
Ponto de névoa	9-19	19,0	13,0	9,0	-	26,0	-	-
Enxofre	1,3	<0,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia Química - Centro de Tecnologia (2003)

2.1.8. Obtenção do Biodiesel - Processo de Transesterificação

O processo de produção de biodiesel é realizado através de uma reação química com a presença de um catalisador básico ou ácido de alguns óleos vegetais ou de gorduras animais com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol (Revista Biodiesel, 2007).

A Figura 1 apresenta o processo simplificado de transesterificação de produção do Biodiesel.

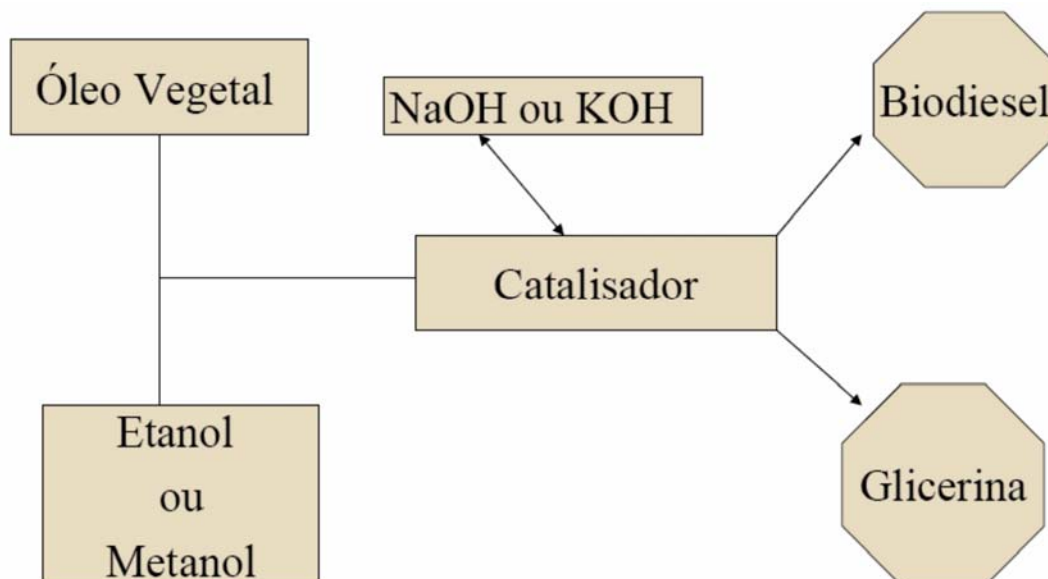


Figura 1. Processo de produção de biodiesel - simplificado

A Cadeia de produção de biodiesel no Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) apresenta-se como na Figura 2.

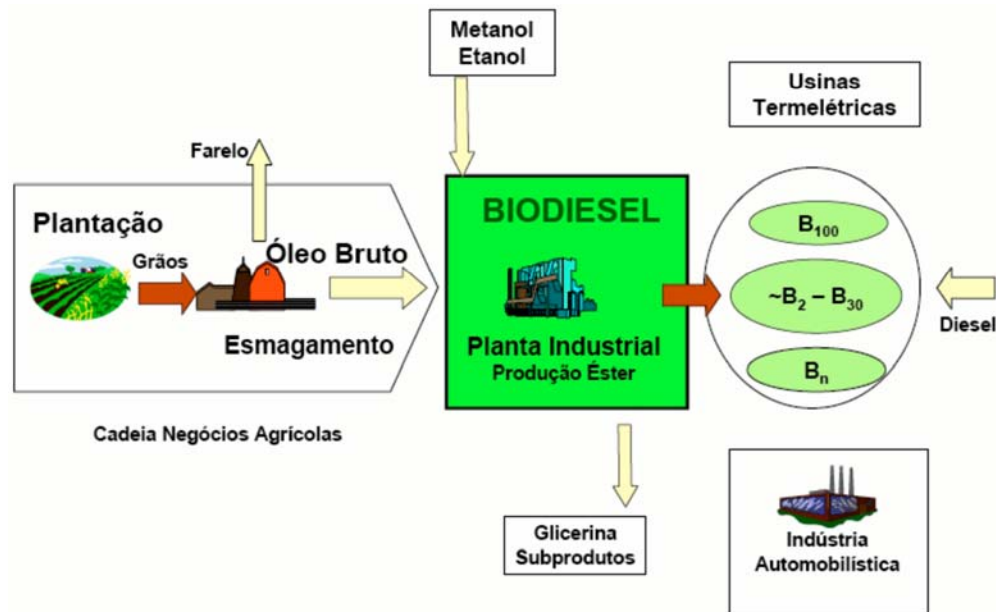


Figura 2: Cadeia de produção de biodiesel no Brasil

Fonte: MME (2004)

2.1.9. Potencialidade Brasileira

O Brasil pela sua imensa extensão territorial, associada às excelentes condições edafo-climáticas, é considerado um país, por excelência, para a exploração da biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos.

Estudos divulgados pelo National Biodiesel Board (NBB), órgão que se ocupa com a implementação do biodiesel nos Estados Unidos, afirma categoricamente que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição de, pelo menos, 60% da demanda mundial atual de óleo diesel mineral. Acrescenta-se que tais estudos são revestidos de extrema confiabilidade, pois foram realizados utilizando recursos com base em altas tecnologias, enfim o Brasil é um país tropical de dimensões continentais.

No campo das oleaginosas, as matérias primas potenciais para a produção de óleo vegetal (Figura 3), as vocações são bastante diversificadas, dependentemente da região considerada.



Figura 3. Etapas do óleo vegetal: desenvolvimento, diversas oleaginosas e óleos vegetais

Segundo Parente (2003), por outro lado, as diversidades sociais, econômicas e ambientais geram distintas motivações regionais para a produção e consumo de combustíveis da biomassa, especialmente quando se trata do biodiesel.

2.1.10. Usinas de biodiesel

As usinas de biodiesel (Figura 4), através dos processos de transesterificação, transformam os óleos de diversas oleaginosas em biodiesel.



Figura 4. Unidades com capacidade para 1000 L/h

Segundo Parente (2003) os tipos de usinas são divididos em usinas de extração mecânica, extração por solvente e mistas, conforme Tabela 3.

TABELA 3: Indicativos e sinalizações para rotas adequadas para extração de óleos vegetais

Tipos de usinas	Situações recomendadas	Matérias primas típicas
Usinas de Extração Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> · Pequenas e médias capacidades, normalmente abaixo de 200 ton. de grãos/dia. · Oleaginosas de alto teor de óleo, acima de 35%. 	Mamona Amendoim Babaçu
Usinas de Extração por Solvente	<ul style="list-style-type: none"> · Grandes capacidades, normalmente acima de 300 ton. por dia de matéria-prima. · Oleaginosas com baixo teor de óleo, abaixo de 25%. 	Soja
Usinas Mistas	<ul style="list-style-type: none"> · Médias e grandes capacidades, acima de 200 ton. de grãos/dia. · Oleaginosas de médio e grande teor de óleo, acima de 25%. 	Algodão Mamona Amendoim Babaçu Girassol

Fonte: Parente (2003)

2.1.11. Matérias-Primas de Destaque

Como matérias primas para a obtenção do biodiesel optaram-se pelas oleaginosas soja e girassol.

Segundo Parente et al (2003), entre as culturas temporárias pode-se destacar a soja, o amendoim, o girassol, a mamona e a canola. A soja, apesar de ser maior fonte de proteína que de óleo, pode ser uma importante matéria-prima no esforço de produção de biodiesel, uma vez que quase 90% da produção de óleo no Brasil provêm dessa leguminosa. O amendoim, por ter mais óleo que proteína, poderá voltar a ser produzido com grande vigor nessa era energética dos óleos vegetais. De fato, caso se desejar expandir a produção de óleos em terras do cerrado brasileiro, com absoluta certeza o amendoim poderá ser a melhor opção, pois é uma cultura totalmente mecanizável, produzindo um farelo de excelente qualidade nutricional para rações e para alimentos, e ainda possuindo, em sua casca, as calorias para a produção de vapor.

O girassol situa-se numa posição intermediária entre a soja e o amendoim. As características alimentares de seu óleo poderão dificultar o seu emprego na produção energética. No entanto, poderão favorecer um deslocamento de parte expressiva do óleo de soja para a produção de biodiesel.

O girassol, produzido em safrinhas, na rotação de culturas, pode render 800 litros de óleo por hectare, rendimento próximo ao da soja.

De acordo com Parente *et al* (2003), outra cultura temporária de destaque é a da mamona. Essa cultura pode vir a ser a principal fonte de óleo para produção de biodiesel no Brasil. Estudos multidisciplinares recentes sobre o agronegócio da mamona concluíram que a mamona constitui, no momento, a cultura de sequeiro mais rentável em certas áreas do semi-árido nordestino. A Tabela 4 apresenta as principais características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel

TABELA 4: As principais características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel.

Espécie	Origem do óleo	Conteúdo do óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em óleo (t/há)
Dendê (<i>Elaeis Guineensis</i> N.)	Amêndoa	26	12	3,0-6,0
Babaçu (<i>Attalea speciosa</i> M.)	Amêndoa	66	12	0,4-0,8
Girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	Grão	38-48	3	0,5-1,5
Colza ou Canola (<i>Brassica napus</i>)	Grão	40-48	3	0,5-0,9
Mamona (<i>Ricinus communis</i>)	Grão	43-45	3	0,5-1,0
Amendoim (<i>Arachis Hipogae</i>)	Grão	40-50	3	0,6-0,8
Soja (<i>Glycine max</i>)	Grão	17	3	0,2-0,6

Fonte: Cadernos NAE (2006)

2.1.12. A Matriz Energética

Segundo Pires (2004) a necessidade de abundância energética revela-se marcante ao se analisarem as séries históricas de consumo de petróleo no século XX. Essas séries revelam uma tendência de crescimento contínuo de consumo, a uma taxa média de 3% ao ano no mundo desde 1985.

Conforme Ramos (2003), inúmeras pesquisas sugerem a utilização de biomassa para fins energéticos, principalmente para fins de uso como combustíveis. É importante ressaltar que biomassa são todos os organismos biológicos que podem ser aproveitados como fontes de energia: a cana-de-açúcar, o eucalipto, a beterraba (dos quais se extrai álcool), o biogás (produzido pela biodegradação anaeróbica existente no lixo e dejetos orgânicos), lenha e carvão vegetal, alguns óleos vegetais (amendoim, soja, dendê, mamona).

Segundo Fischer (2001), estudos já apontam que, a utilização da biomassa para fins energéticos, vem tendo uma participação crescente perante

matriz energética mundial, levando as estimativas de que até o ano de 2050 deverá dobrar o uso mundial de biomassa disponível. Uma alternativa que apresenta crescente interesse é a utilização de combustíveis obtidos da agricultura (etanol, biodiesel, etc).

Segundo Peres *et al* (2005), a atual matriz energética mundial é composta de fontes não renováveis de carbono fóssil, como petróleo (35%), carvão (23%) e gás natural (21%). A possibilidade de esgotamento e escassez dessas fontes, ainda nesse século, é uma das problemáticas a serem questionadas, além de outras questões, como a poluição decorrente da emissão de gases pelos combustíveis fósseis, agravando o efeito estufa (CO_2 , NO_2 , SO_2 , etc.) e conseqüentemente, causando problemas de desastres ambientais.

Vieira (2006) diz que, com o aquecimento global alguns fenômenos estão acontecendo no mundo, tais como o agravamento das catástrofes climáticas, as crises políticas no Oriente Médio e o crescimento econômico da China, o que têm colocado em xeque o modelo de desenvolvimento adotado pelas civilizações modernas, baseado no petróleo como principal fonte de energia.

No Brasil, a matriz energética, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) apresenta-se conforme Figura 5.

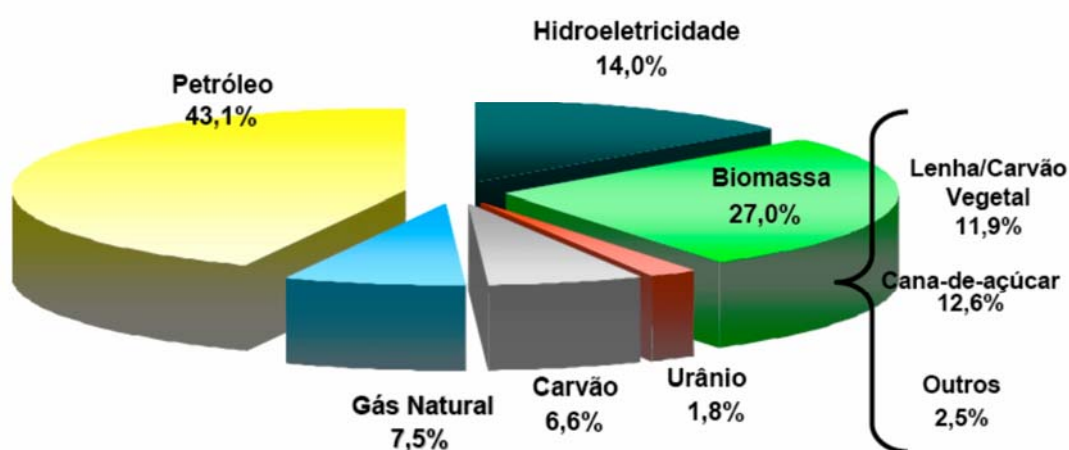


Figura 5. Matriz Energética Brasileira (MME-2004)

A matriz atual de combustíveis veiculares, segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), apresenta uma distribuição do mercado de combustíveis conforme Figura 6.

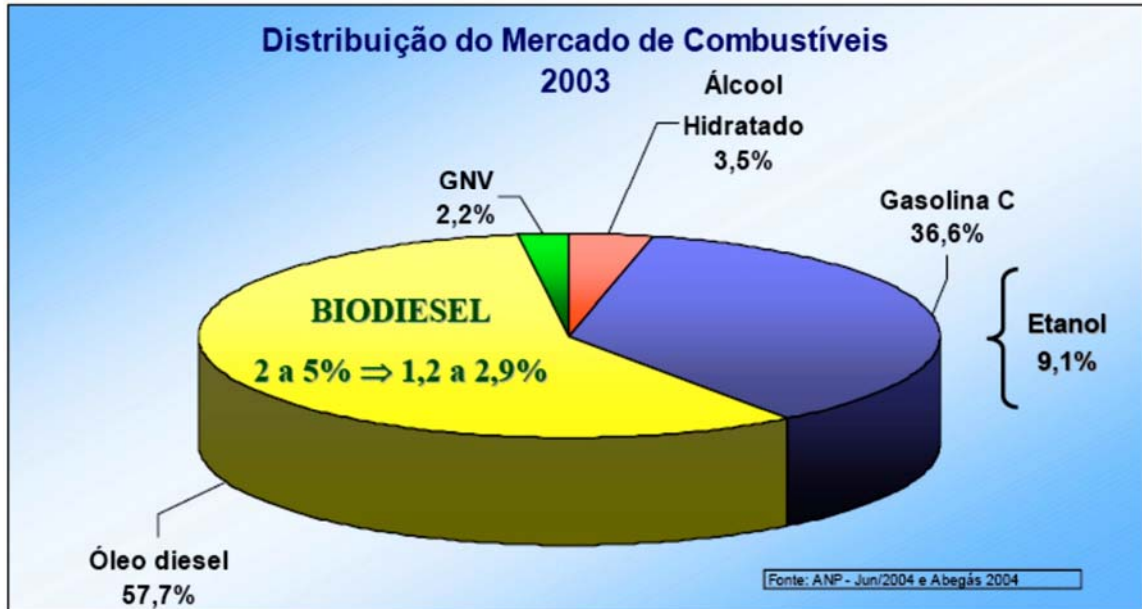


Figura 6. Matriz atual de combustíveis veiculares (ANP, 2004)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a construção do SM foi de desenvolvimento. Quanto ao delineamento (forma) foi de pesquisa experimental e explicativa.

Os procedimentos para desenvolvimento do SM construído foram de consulta aos datasheets dos fabricantes de circuitos integrados, montagem no protoboard das aplicações típicas dos circuitos selecionados, testes elétricos, verificação de compatibilidade de níveis de tensão, desenvolvimento das rotinas e microprogramas, finalizando com a avaliação e calibração do funcionamento das rotinas desenvolvidas.

Os principais materiais utilizados no desenvolvimento do SM foram: protoboard, circuitos analógicos, circuitos conversores, microcontroladores, display e outros acessórios.

Os equipamentos utilizados para o desenvolvimento do SM foram equipamentos disponíveis em laboratórios de eletrônica, multímetros, osciloscópios, analisadores de protocolo, calibradores, transformadores de corrente, fontes de tensão, e gerador de sinais entre outros.

Após a definição e compreensão das características técnicas do SM, foi necessário avaliar as tecnologias mais adequadas para iniciar a construção do SM.

O desenvolvimento do SM foi dividido nas seguintes etapas: idealização da solução, desenvolvimentos do hardware, desenvolvimento do Firmware, desenvolvimento do *Software*, testes e compilação dos resultados, descritos detalhadamente abaixo.

3.1. Idealização da Solução do Processo de Construção do Sistema Microprocessado

No desenvolvimento do SM foram utilizados circuitos analógicos, circuitos conversores e tecnologias de definição de microcontroladores. Nas demais etapas foram definidas com exatidão as características do SM, ou seja, quais tipos de variáveis medidas, as interfaces de comunicação, os protocolos de transmissão e a logística de armazenamento de dados.

3.2. Desenvolvimento do Hardware

O microcontrolador é o cérebro do SM, responsável pelo controle e gerenciamento das atividades inerentes às tarefas atribuídas. Segundo Schunk e Luppi (2001) um microcontrolador é um computador de um só chip, possuindo em um único encapsulamento, uma unidade central de processamento, memória de programa, memórias auxiliares, sistemas de entradas e saídas e vários outros periféricos que variam entre os modelos (por exemplo: conversores A/D, comparadores analógicos e outros).

Atualmente, existem milhares de microcontroladores disponíveis no mercado, portanto a escolha deve ser baseada na necessidade do projeto, principalmente de acordo com os seguintes aspectos: custo, velocidade de processamento, número de bits, periféricos internos, número de portas entrada/saída disponíveis, disponibilidade de documentação do fabricante, dimensões, capacidade de armazenamento de dados e acessibilidade a ferramentas de desenvolvimento.

De acordo com Schunk e Luppi (2001), para selecionar a tecnologia utilizada é importante definir os requisitos mínimos que o microcontrolador necessita apresentar, para realizar com eficácia as tarefas atribuídas, selecionando diversos fabricantes de circuitos integrados e a melhor solução oferecida por cada empresa. Em seguida pesquisaram-se os custos de cada solução apresentada, assim como os custos das ferramentas de desenvolvimento. Outra variável importante para o desenvolvimento do SM foi o fator Time to Market que indica o nível de complexidade da ferramenta, pois quanto menor for esse coeficiente, mais fácil será para utilizar esta tecnologia e mais rapidamente ela estará disponível para comercialização.

3.3. Desenvolvimento de Circuitos de Interface

Uma vez que o SM apresenta funções diversas e circuitos distintos, foi necessário desenvolver cada circuito separadamente, montar em placa experimental (protoboard) e testar, até alcançar resultados satisfatórios.

Os testes no protoboard são importantes para validação das etapas de comunicação com os circuitos integrados, de forma a minimizar os erros na confecção de placas.

3.3.1. Circuitos de Interface com Sensores

Para que o SM seja sensível às variações dos sensores, é necessário conhecer seu funcionamento, verificando suas características elétricas para que a interface eletrônica seja adaptada de forma apropriada.

Devido a isso foi necessário pesquisar os padrões industriais de saída de tensão (V) e corrente (I), desenvolvendo circuitos de interface para que o SM seja capaz de interpretar os sinais gerados pelos sensores de corrente e tensão.

De acordo com Simões e Farret (2005), os transformadores de corrente (TC) devem ser utilizados para reduzir a corrente para valores seguros de medição, isolar o circuito primário do secundário. Devido à necessidade de medir a corrente em níveis seguros e isolar os circuitos é necessário desenvolver uma interface utilizando um transformador de corrente (TC).

3.3.2. Circuito de Comunicação Serial com o Computador

Para que o sistema possibilite a comunicação com o PC, é necessário desenvolver um circuito de comunicação serial de interface devido à incompatibilidade de níveis de tensão. Os dados são enviados pelo computador através dessa configuração, sendo recebidos no *buffer* de entrada serial do microcontrolador.

Analogamente, o microcontrolador utiliza essa configuração para enviar dados para o PC, que através de um *software* específico (que apresenta uma biblioteca de comunicação serial) recebe estes dados, e os interpreta de maneira desejada.

Segundo Horowitz e Hill (1989), os sinais ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) podem ser transmitidos de várias maneiras. O método original, criado há várias décadas, consiste do chaveamento de uma corrente de 20mA (ou às vezes 60mA) na taxa seleccionada de *Baud – Rate*. Este termo *Baud-Rate* teve sua origem na telegrafia e significa velocidade de transmissão, sendo medida em bits por segundo (bps).

Esse chaveamento de corrente é conhecido como “sinalização de loop de corrente”. O padrão RS232 especifica as propriedades dos receptores e dos transmissores.

3.3.3. Interface RS232 e Conversão de Níveis

A comunicação utilizada foi assíncrona, então o sinal de clock não é utilizado no cabo. Cada byte é sincronizado por um bit de “start” e o sistema reconhece automaticamente o clock pelo sinal recebido, e no fim do byte, por um bit de “stop”. (Figura 7)

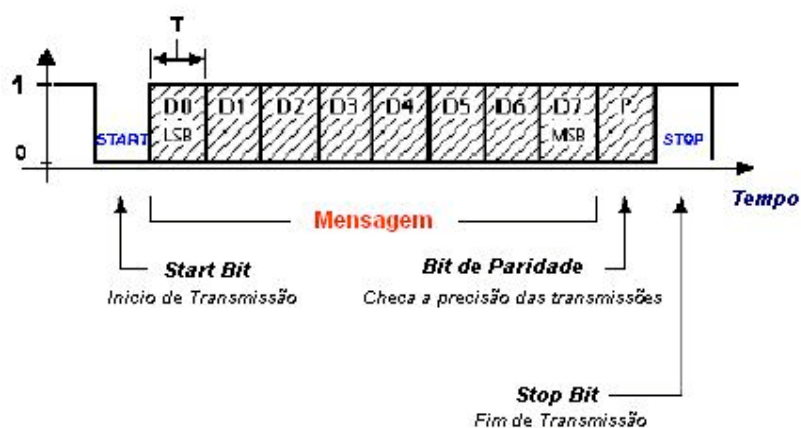


Figura 7. Ilustração de comunicação serial.

Na figura 7, ilustra-se o caso de uma comunicação serial com 1 bit de *start*, 8 bits de dados, 1 de paridade e 1 bit de *stop*. Segundo Nicolosi (2002), a comunicação RS232 quando está em espera (*Idle*) tem nível lógico “1”. A transmissão começa quando o bit de start aparece com o nível lógico “0”. Em seguida cada bit de dado é recebido/enviado, sendo que o bit menos significativo é enviado primeiro, e assim sucessivamente. No final do quadro vem o bit de *stop*, tem nível lógico “1” e que finaliza a transmissão do byte em questão.

Os microcontroladores em geral operam com níveis de tensão TTL, ou seja, “0” e “5V”.

3.3.4. Circuitos de Interface com Usuário

Para que o SM possibilite a interface com usuários, é necessário desenvolver circuitos de interface com display gráfico (DG) de cristal líquido LCD (*Liquid Cristal Display*) e teclado. O objetivo desta interface é disponibilizar as medições instantâneas para usuários próximos às instalações deste equipamento.

Segundo Nicolosi (2002), um DG é um “periférico inteligente”, que tem outro microprocessador dentro dele, “fala” com o mundo externo em 8 bits (existem alguns de 4 bits) e tem um pino intitulado “RS”, para dizer se o que estamos apresentando para o display é um dado ou uma “instrução de programação”. Temos sempre que iniciar o DG “programando-o”, isto é, fazendo com que ele “entenda” o que vai receber em seguida a sua ligação, e como vão se apresentar no seu visor (que ocorrerá em seguida à programação realizada) os dados da escrita.

O DG é responsável em mostrar as informações para o usuário na ausência de um computador (PC) de acordo com as informações recebidas pelo protocolo I2C.

3.3.5. Circuito de Alimentação

Para o SM apresentar funcionamento confiável foi necessário pesquisar as melhores configurações de fonte de alimentação, assim como topologias com maior eficiência de conversão, fator este que influencia a temperatura de operação, que no caso de medição de energia elétrica deverá ser monitorada adequadamente.

3.3.6. Circuito de Armazenamento de Dados em Memórias de Massa (MM) e Circuito de Sincronização Temporal com Relógio em Tempo Real

Para o SM apresentar capacidade de armazenamento de dados foi necessário desenvolver circuitos de interfaces com memórias de massa (flash),

desenvolvendo funções de escrita e leitura.

Segundo Tocci *at all* (2000) memórias flash são memórias para armazenamento de dados com capacidade de retenção permanente, não voláteis, ou seja, não dependem de energia elétrica para armazenamento dos dados.

Devido a essas características é necessário incluir memórias que apresentem confiabilidade e que mantenham os dados gravados por um período suficiente.

Para sincronização das medidas, o SM utiliza um relógio em tempo real (RTC) para que as informações sejam armazenadas nas memórias flash, vinculando o valor das medidas com os respectivos horários de medição.

3.3.7. Circuito de Medição de Energia

Para medir a energia elétrica instantânea é necessário realizar medições temporais de \underline{V} e \underline{I} , calculando a \underline{P} aparente, ativa e reativa.

O circuito de medição de energia foi acoplado na saída da planta (PGEE), utilizando para medição das correntes por fase, um transformador de corrente (TC). O objetivo do transformador de corrente é de isolar a saída da planta (PGEE) da entrada de medição, utilizando uma amostra para digitalização do sinal.

Através de estágios de ganhos programáveis (PGA - Programmable Gain Stage), o ADE7758 é conectado diretamente no transformador de corrente (TC), para os dados serem digitalizados pelos conversores analógico/digitais (ADC).

Após a digitalização dos sinais, o circuito integrado calcula matematicamente as potências ativa, reativa e aparente de cada fase, e em seguida transmite os resultados processados em uma saída SPI (Serial Peripheral Interface).

Segundo o datasheet do fabricante, o circuito típico para aplicações em medição de energia apresenta topologia conforme ilustrado na Figura 8.

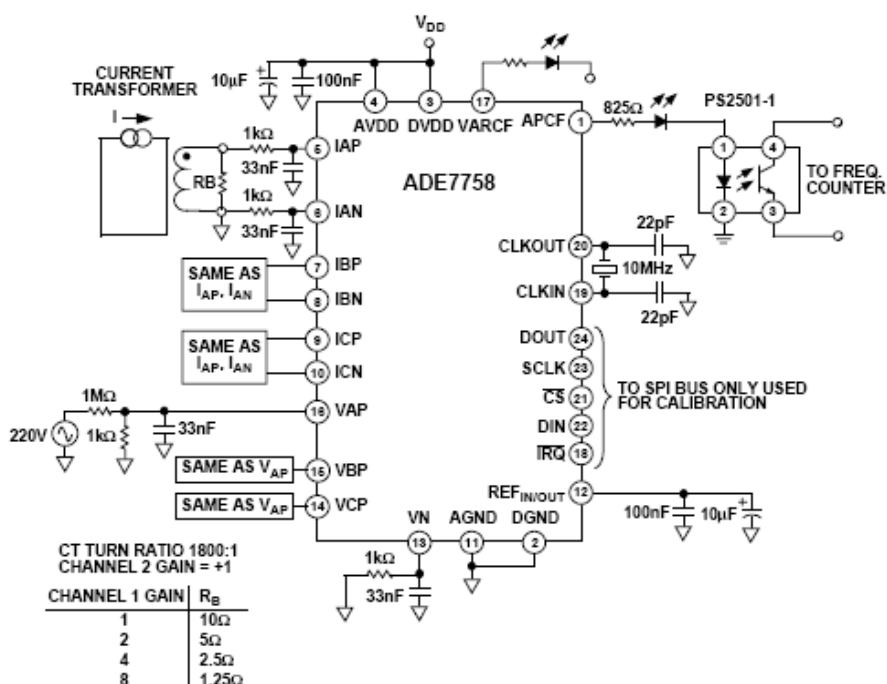


Figura 8. Topologia típica de aplicação com integrador desligado.

Para realizar a leitura das informações digitalizadas pelo circuito integrado ADE7758 é necessário utilizar um microprocessador que disponibilize interface SPI (Serial Peripheral Interface). O protocolo SPI tem capacidade de comunicação de até 3 megabits por segundo, e o tamanho da palavra é de oito bits, possibilitando suspensão durante a transmissão e os dados transmitidos podendo ser interpretados em blocos ou páginas [Predko: Myke Predko – Programming and Customizing the 8051 Microcontroller].

O protocolo SPI utiliza quatro pinos. Além disso, é necessário que o SM disponibilize pinos suficientes de entrada e saída.

3.3.8. Desenvolvimento do *Firmware*

Um “firmware” é um programa executado dentro de um microprocessador. O termo “firmware” está relacionado com o microprocessador assim como o termo *software* está relacionado com o computador.

Após o desenvolvimento do hardware na placa experimental (Protoboard) foi necessário desenvolver um programa para a medição de energia elétrica instantânea e acumulada, assim como o tempo decorrido para o consumo de

1,50l de combustível.

Antes de iniciar a “escrita” propriamente dita, foi desenvolvido um fluxograma indicando todas as possibilidades e funcionalidades do sistema proposto. O fluxograma facilita a organização dos pensamentos otimizando o tempo de desenvolvimento.

Após o desenvolvimento do programa é necessário comentar as linhas de programação para facilitar as atualizações e manutenções posteriores.

3.3.9. Desenvolvimento do *Software* e Confecção do Protótipo

Após o término do *firmware*, foi iniciada a etapa do desenvolvimento do *software*, que possibilita acessar todas as funções de programação em um PC, através de uma interface "amigável".

O objetivo do *software* é prover a interface entre o PC e o microcontrolador. Além disto, o *software* também disponibiliza todas as facilidades de programação do hardware, que ao invés de serem através de "números", são através de imagens e opções em botões.

O *software* apresenta biblioteca de comunicação serial que enviam e recebem dados serialmente através de uma saída serial (COM) disponibilizada em um PC.

O *software* foi desenvolvido utilizando linguagem de programação LabView, que é uma ferramenta destinada à criação de programas para interface com equipamentos eletrônicos. O nome Labview significa ferramenta de engenharia para instrumentação virtual (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) e é utilizada para desenvolvimento de soluções de instrumentações em computadores.

Após o término do *firmware* e do *software*, foi confeccionada a placa prototipal para testes e validações. A placa foi desenvolvida utilizando *softwares* CAD – *Computer Aided Design*. Em seguida os arquivos de roteamento de placa foram enviados para uma empresa terceirizada de fabricação de placas de circuito impresso, que fabricaram unidades de placa idênticas as do projeto desenvolvido.

3.3.10. Calibração do SM

Após a confecção do protótipo, foi necessário calibrar o SM. Este procedimento é fundamental para garantir a validade e a confiabilidade dos resultados.

O SM foi calibrado utilizando um equipamento comercial para medição de energia, e através do processo de calibração garantir a confiabilidade dos resultados apresentados.

3.4. Materiais e Métodos de Campo

Para medir o potencial de energia elétrica gerada por diferentes combustíveis utilizou-se um equipamento capaz de gerar energia elétrica. Segundo Zocholl (2004), o equipamento apropriado é um gerador de energia elétrica (PGEE), que converte a energia química retirada dos combustíveis em energia elétrica, em tensões padronizadas de 127 e 220 Volts. A Figura 9 ilustra a PGEE que foi selecionada para realização do trabalho.



Figura 9. Gerador de energia elétrica (PGEE).

De acordo com a manutenção de tensão e corrente na saída do PGEE é possível medir a quantidade de energia produzida (W), e ao integrar a energia produzida em função do tempo, obtém-se a quantidade relacional de energia gerada por volume de combustível utilizado. Para haver transferência de energia e variação no volume de combustível é necessário adicionar carga ao sistema, como por exemplo, lâmpadas incandescentes. A Figura 10 ilustra a topologia do sistema de automação da PGEE.

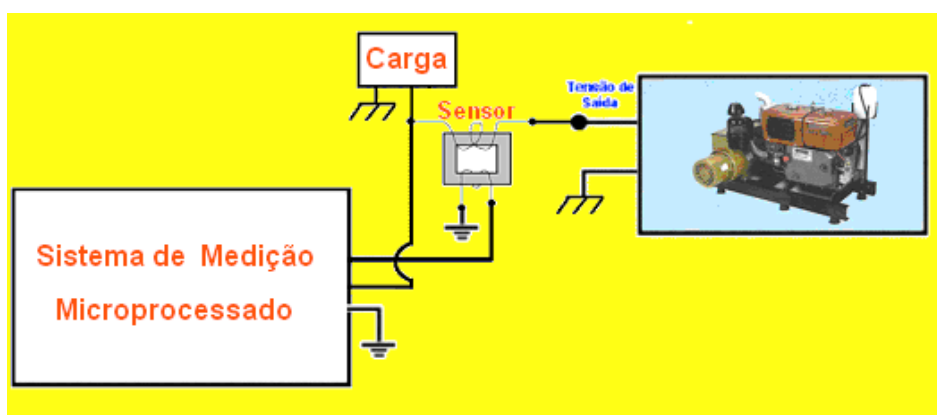


Figura 10. Topologia geral do sistema

Após o término da confecção do protótipo, foram iniciados os testes de campo e a calibração do SM. Estes testes são fundamentais para garantir a estabilidade e a confiabilidade do equipamento, pois somente através destes é possível identificar falhas e corrigi-las adequadamente.

Para alcançar maior eficiência nos testes, é adicionado ao SM, um registro digital de todas as operações e horários nos quais os mesmos estão sendo executados. Estas operações são armazenadas em arquivos de texto e indicam as tarefas executadas e os valores medidos a cada segundo, minuto e hora do dia. Com isso é possível identificar erros e comportamentos anormais e principalmente possibilitar o rastreamento do erro. O rastreamento do erro significa o percurso que o *software* (firmware neste caso) percorreu para resultar no erro.

Após a calibração do SM iniciaram-se os testes de campo para análise das quantidades de energia gerada pelos diversos combustíveis, assim como os tempos decorridos para o consumo de 1,50 litros de combustível.

Os testes foram realizados separadamente, nas dependências dos laboratórios do NEAC (UNIDERP), utilizando os seguintes combustíveis:

- Óleo diesel;
- Biodiesel de óleo de soja;
- Biodiesel de óleo de girassol.

Inicialmente procedeu-se às escolhas das oleaginosas (soja e o girassol), que foram transformadas em óleo de soja e girassol, a partir dos quais se produziram os biodieseis de soja e girassol no laboratório de Química da UFMS, e em seguida procedeu-se à obtenção do combustível óleo diesel metropolitano, adquirido em posto de combustível da cidade de Campo Grande. Como amostras separaram-se 10,50 litros do óleo diesel, e em seguida 10,50 litros de cada biodiesel, totalizando 21 amostras de 1,50 litros cada combustível.

Os testes foram realizados utilizando um Grupo Gerador (PGEE) 15 KV e uma planta de carga (PCE) de 1800 W constituída de 09 lâmpadas de 200 W cada uma, com proteção de um disjuntor trifásico de 15 A. Os dados obtidos pelo SM foram armazenados em um PC.

Para comparar as quantidades de energia elétrica gerada por volume de combustível adotou-se um volume padrão, amostrando a energia gerada pelo volume adotado e o tempo total decorrido e comparando os resultados com os diferentes tipos de combustíveis utilizados.

O volume adotado foi de 1,50 litros para cada combustível. No início de cada teste o tanque de combustível da PGEE foi esvaziado, em seguida foi adicionado 1,50 litros de combustível e assim sucessivamente até completar o total de amostras, respeitando-se os intervalos. Em seguida deu-se partida na PGEE, sendo conectadas as cargas no circuito para que o SM iniciasse as medições e os armazenamentos dos dados.

Durante a medição o SM envia para o PC o consumo de energia instantânea, que é integrado em intervalos de 1 minuto (Watt/min), assim o consumo total é incrementado de acordo com o tempo decorrido em minutos. Ao término do combustível, o SM através do registro do horário inicial e final, calcula a duração do experimento (minutos), e a energia total gerada (Watts). Assim o SM calcula a quantidade de energia gerada (acumulada e instantânea) de determinado combustível por volume, assim como o tempo decorrido e apresenta os mesmos na tela do display (LCD) ou do PC (digital e analógico), conforme Figura 11.



Figura 11. Tela operacional (PC) de resultados de quantidades de energia produzida (acumulada e instantânea) e tempo decorrido

Os resultados das quantidades de energia elétrica produzida assim como os tempos decorridos para o consumo de 1,50 litros de combustível do SM desenvolvido foram avaliados utilizando-se delineamento inteiramente casualizados (DIC), com um único SM, através de 03 tratamentos, com tempos de aferição de 12h, 24h, 36h, 48h, 60h, 72horas e 84h, ou seja, 07 repetições para cada biodiesel e para o óleo diesel, cujos dados foram processados em tabelas para as devidas análises estatísticas de aferição dos resultados, processados pelo SM desenvolvido, para a avaliação das medições objetivadas, ou seja, a medição em tempo real da quantidade de energia produzida instantânea (W/h) e acumulada (kW/h) e conseqüente medição da relação kW/h / L de óleos gerados, assim como os tempos decorridos (minuto) para o consumo de 1,50 litros de combustível.

Os dados foram tabulados, em seguida realizou-se a análise de variância segundo Gomes (1990), e posteriormente realizou-se o teste de comparação de médias, utilizando o Método de Tukey a 5% de probabilidade.

A construção do SM não se enquadra em um delineamento específico (não experimental). No entanto a calibração do SM assim como seus resultados foram avaliados mediante delineamento inteiramente casualizado (DIC).

Foram analisadas, ainda, através de coeficientes de proporcionalidade (K_{EE} e K_{TEMPO}), as comparações entre as quantidades médias de energia produzida entre o óleo diesel e os biodieseis, entre os biodieseis, assim como entre os tempos médios decorridos para o consumo de combustível entre os mesmos, através das seguintes expressões:

K_{EE} = Quantidade média de energia gerada para um volume de biodiesel / Quantidade média de energia gerada para o mesmo volume de óleo diesel ou outro biodiesel.

K_{TEMPO} = Tempo médio decorrido de consumo para um volume de biodiesel / Tempo médio de corrido de consumo do mesmo volume de óleo diesel ou outro biodiesel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão são apresentados abaixo divididos em sub-itens (SM e Testes de Campo) para melhor visualização e entendimento.

4.1. SM

O SM construído tem capacidade de medir a tensão (V) e corrente elétrica (I) e assim realizar as medições instantâneas e acumuladas, e através de um processador matemático (PM) calcular as potências (W) efetivamente dissipadas em determinadas cargas submetidas. Além disso, o SM apresenta capacidade de armazenamento de dados em memórias não voláteis (memórias flash), relógio em tempo real (RTC – Real Time Clock) para sincronização dos dados amostrados, comunicação com computador (PC) através de saída serial RS232 e display gráfico (DG) para visualização dos resultados em casos de não utilização de um PC. A figura 12 ilustra o diagrama interno do SM desenvolvido.

4.2. Desenvolvimentos do Hardware

O microcontrolador escolhido foi o PIC18F452 devido a sua robustez e confiabilidade, conforme especificações técnicas do fabricante (Microchip, 2007). Este microcontrolador possui conversor A/D interno de 10 bits, 10 MIPS (milhões de instruções por segundo), baixo consumo de energia e 32 Kbytes de memória de programa.

A Figura 14 ilustra o dispositivo descrito.

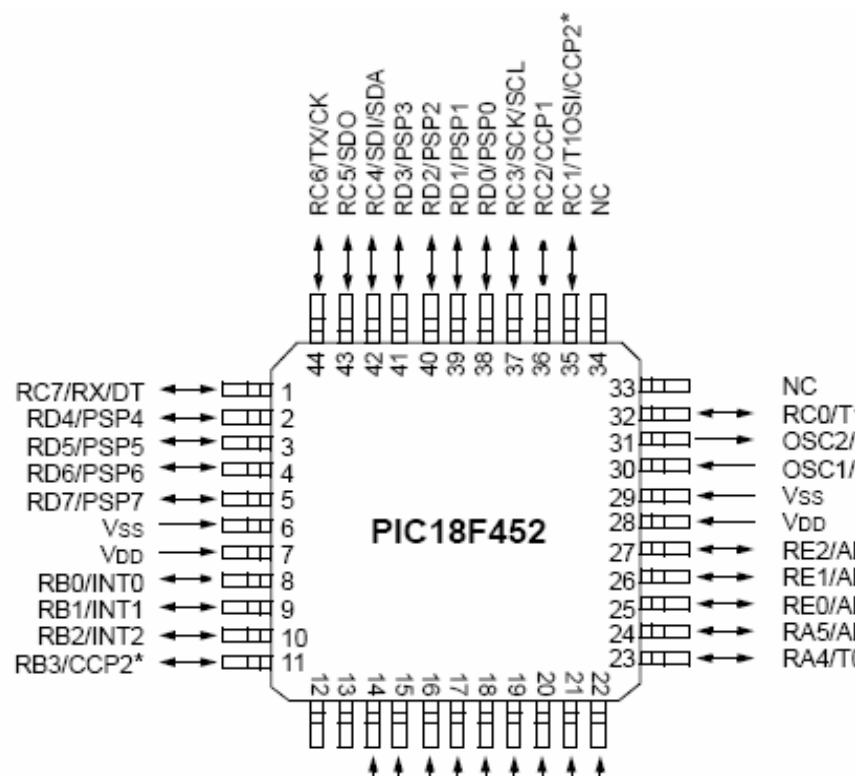


Figura 14. Ilustração do microcontrolador PIC18F452

4.3. Desenvolvimento de Circuitos de Interface

O SM apresenta funções diversas e circuitos distintos, assim desenvolveu-se cada circuito separadamente, montou-se em uma placa experimental (protoboard) e testou-se até alcançar resultados satisfatórios.

Os testes no protoboard são importantes porque minimizam os erros na confecção das placas. A Figura 15 ilustra a montagem do SM no protoboard.

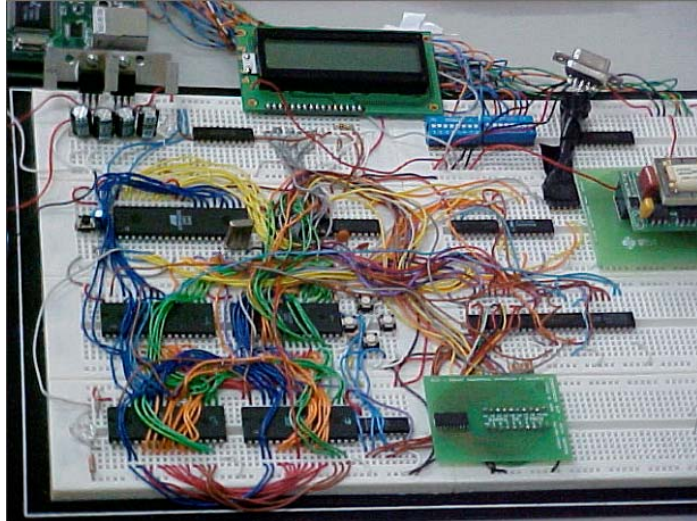


Figura 15. Desenvolvimento dos circuitos de comunicação no protoboard para minimizar erros na confecção de placas.

4.3.1. Circuitos de Interface com Sensores

Devido à necessidade de medição de corrente em níveis seguros e isolamento de circuitos desenvolveu-se uma interface utilizando um transformador de corrente. A Figura 16 ilustra o circuito equivalente simplificado do transformador de corrente.

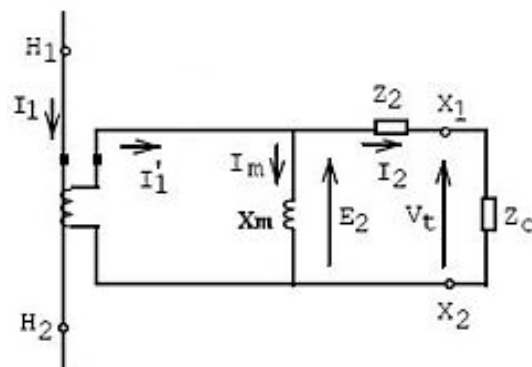


Figura 16. Circuito equivalente simplificado do transformador de corrente.

4.3.2. Circuito de Comunicação Serial com o Computador e Interface RS232

Devido à incompatibilidade de níveis de tensão desenvolveu-se um circuito de interface que possibilita a comunicação com o PC, o qual enviou os dados configurados, para o *buffer* de entrada serial do microcontrolador.

A comunicação utilizada no SM foi assíncrona, então o sinal de clock não é utilizado no cabo.

4.3.3. Conversão de Níveis

Para converter os níveis TTL em níveis RS232 utilizou-se o chip MAX232. A Figura 17 apresenta configuração utilizada.

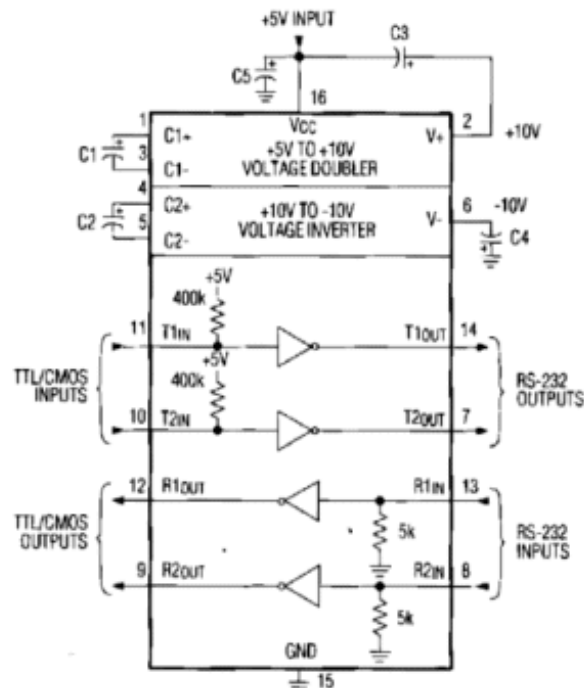


Figura 17. Demonstração do MAX232.

4.3.4. Circuitos de Interface com Usuário:

O DG selecionado foi o EZLCD da EARTHLCD que possui 512 cores, 240x160 pixels. Para comunicação com o display foi utilizado o protocolo I2C (Inter-Integrated-Circuit), um protocolo de comunicação entre microcontroladores, memórias, celulares, entre outros dispositivos, sendo um tipo de protocolo multi-

master, ou seja, vários periféricos podem iniciar a comunicação. A figura 18 ilustra o display utilizado.



Figura 18. Display de cristal liquido utilizado para visualização de dados do SM.

No SM proposto o microcontrolador PIC17F452 é o dispositivo principal (master) que transmite as informações para o display gráfico (DG) conforme necessário. A Figura 19 ilustra a topologia de comunicação utilizando os protocolos I2C.

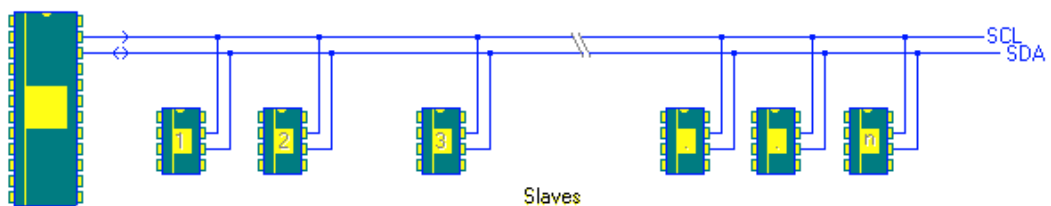


Figura 19. Topologia de comunicação de dados utilizando protocolo I2C.

4.3.5. Circuito de Alimentação

O SM apresenta funcionamento confiável porque foram utilizadas as melhores configurações de fonte alimentação, assim como topologias com maior eficiência de conversão. A Figura 20 apresenta a configuração utilizada.

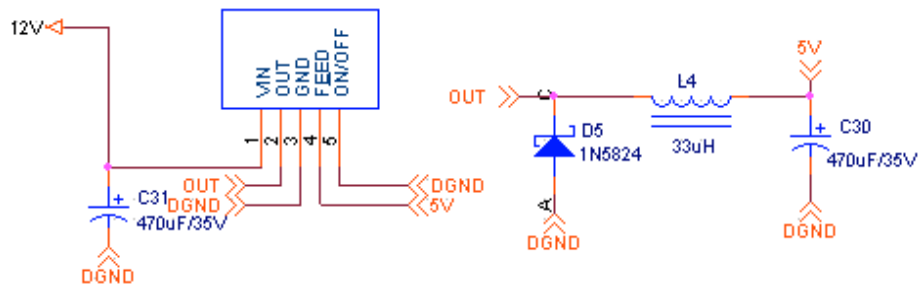


Figura 20. Circuito de alimentação chaveado para o SM.

4.3.6 Circuito de Armazenamento de Dados em Memórias de Massa (MM)

A memória selecionada foi a AT45DB161 de 16 mega-bit com interface elétrica de 2.7 volts. A figura 21 ilustra o funcionamento interno em blocos da memória em questão.

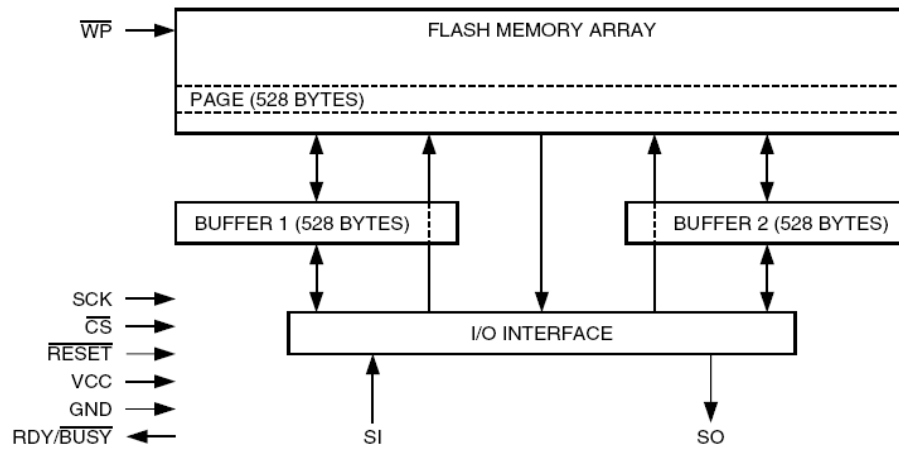


Figura 21. Diagrama de funcionamento interno em blocos da memória AT45DB161.

O diagrama da Figura 22 ilustra o circuito de interface com a memória flash selecionada.



Figura 22. Interface com memória flash serial

4.3.7. Circuito de Sincronização Temporal com Relógio em Tempo Real

O RTC utilizado foi o DS1337, um relógio em tempo real de baixo consumo de energia, com calendário embutido e com programação distinta de até dois tipos de alarmes. O protocolo de comunicação é o I2C, que foi conectado ao barramento diretamente no microcontrolador, conforme especificação do fabricante Maximic (2006). O relógio em tempo real continua operando mesmo que o microcontrolador seja reinicializado. A Figura 23 ilustra o circuito de interface com o RTC descrito.

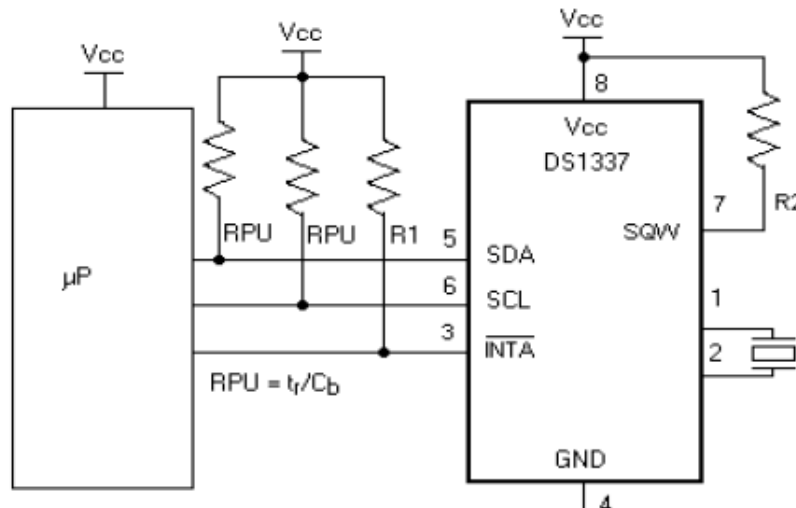


Figura 23. Diagrama de interface com relógio em tempo real DS1337.

4.3.8. Circuito de Medição de Energia

A leitura das informações digitalizadas foi realizada pelo circuito integrado ADE7758 que utiliza um microprocessador que disponibiliza interface SPI (Serial Peripheral Interface). O SPI pode ser utilizado para comunicação com vários periféricos simultaneamente, conforme a figura 24.

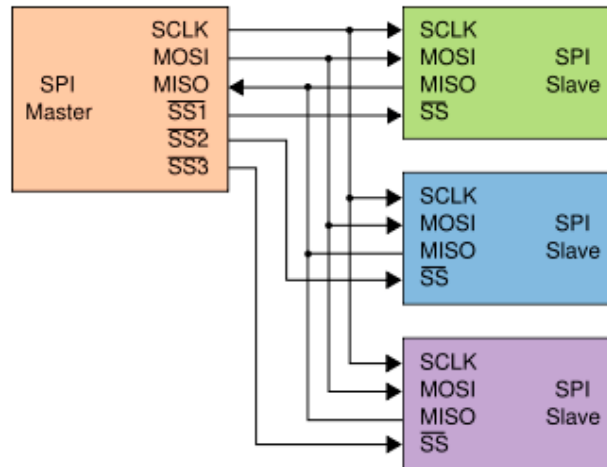


Figura 24. Microcontrolador máster e periféricos.

O protocolo SPI utiliza quatro pinos, MISO (Máster Out), MOSI (Máster IN), SPICLK (Clock) e SS (Slave Select), O SM disponibiliza pinos suficientes de entrada e saída conforme Figura 25.

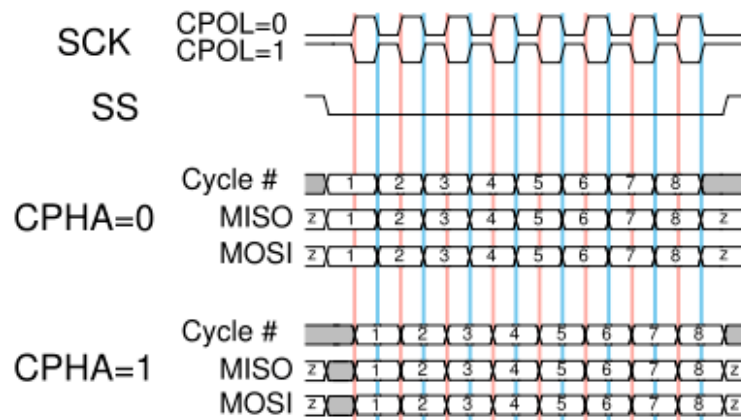


Figura 25. Pinos de utilização do protocolo SPI.

4.3.9. Desenvolvimento do Firmware

As funções do Firmware foram desenvolvidas separadamente, e depois de testadas com sucesso, estas foram encapsuladas para que seu funcionamento dependa exclusivamente das variáveis de entrada e saída, fator este que elimina a necessidade de compreensão de todas as linhas do programa durante todo tempo de desenvolvimento.

Com o programa desenvolvido é necessário comentar as linhas de programação para facilitar atualizações e manutenções posteriores. (Figura 26).

```

1  /*#####
2  #####
3  ##### Automação Planta Geradora EE #####
4  #####
5  #####
6
7  // Desenvolvedor: Lauro Corrêa Cruz
8  |
9
10         /*#####
11         ##### DIRETIVAS DE CONFIGURAÇÕES #####
12         #####*/
13
14 #include <aduc84x.h>
15 #include <intrpt.h>
16 #include <stdlib.h>
17 #include <stdio.h>
18 #include <ctype.h>
19 #include <string.h>
20
21 // #####
22 // ##### Definição dos Registradores de Escrita - Write Only Registers #####
23 // #####
24 // #####
25
26 #define SoftwareVersion      "Versão 3.08"
27 #define MyAddress            1
28 #define Reset                0x01
29 #define Analog_Gain          0xb0
30 #define Signal_Routing       0xb1
31 #define ADC_Thresholds       0xb2
32 #define ADC_COntrol          0xb3
33 #define Power_Down           0xc0
34 #define Mode_COntrol         0xc1
35 #define Audio_Control        0xc2
36 #define TX_tone              0xc3

```

Figura 26. Aplicativo para desenvolvimento de soluções microcontroladas

4.3.10. Desenvolvimento do Software

O *software* apresenta biblioteca de comunicação serial que enviam e recebem dados serialmente através de uma saída serial (COM) disponibilizada em um PC.

O *software* desenvolvido utiliza linguagem de programação LABVIEW, A Figura 27 ilustra funcionalidades do LABVIEW.

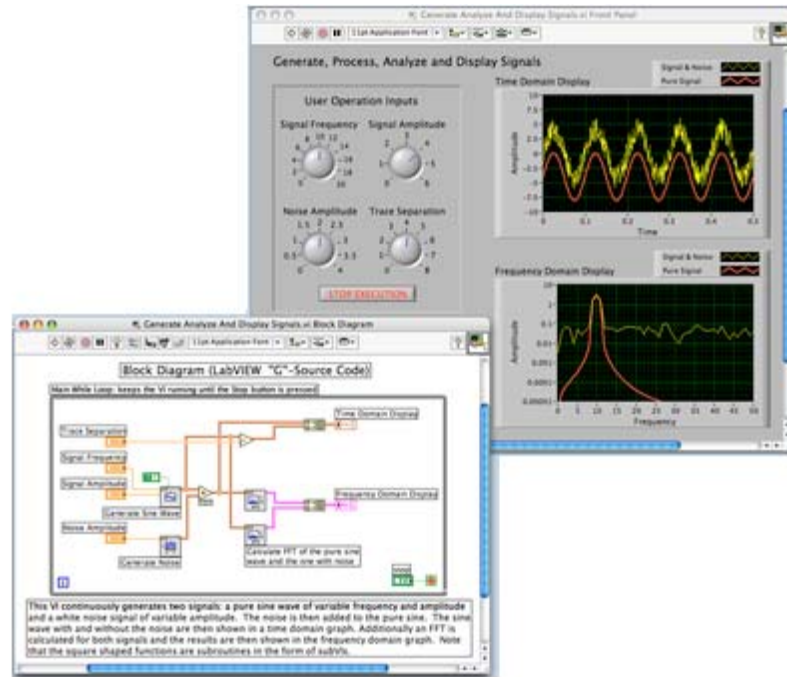


Figura 27. Funcionalidades e ilustrações do *software* LABVIEW.

4.3.11. Confeção do Protótipo

Após o término do *firmware* e do *software*, confeccionou-se a placa prototipal para testes e validações. A Placa foi desenvolvida utilizando *softwares* CAD – *Computer Aided Design* (Figura 28).

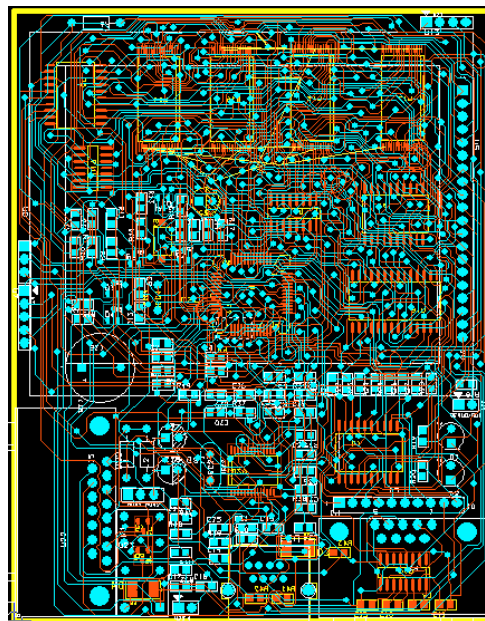


Figura 28. Layout da placa após roteamento utilizando *software* CAD.

Os arquivos de roteamento de placa foram enviados para uma empresa terceirizada de fabricação de placas de circuito impresso. A Figura 29 ilustra a placa confeccionada por empresa terceirizada, antes da montagem dos componentes.



Figura 29. Placa microprocessada

Com a placa finalizada, e utilizando equipamentos apropriados para proteção contra descarga eletrostática, soldaram-se os componentes de acordo com os circuitos descritos para funcionamento do sistema. A Figura 30 ilustra o procedimento de soldagem de componentes SMD (Surface Mount Device).

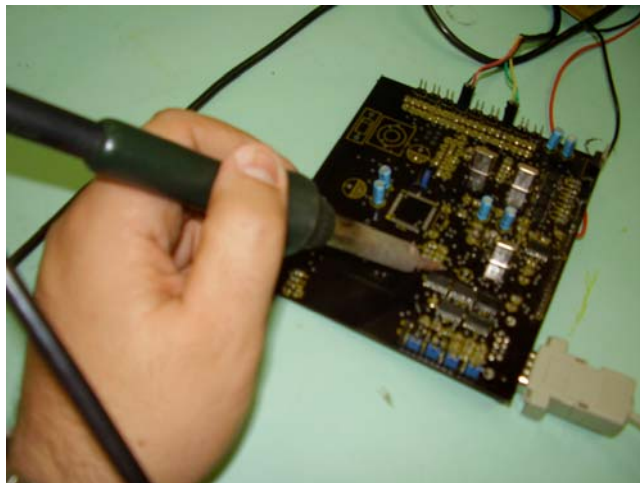


Figura 30. Os componentes soldados na placa do sistema

4.3.12. Calibração do Sistema Microprocessado

Para alcançar maior eficiência nos testes, foi adicionado ao SM, um registro digital de todas as operações e horários nos quais os mesmos estão sendo executados. Essas operações são armazenadas em arquivos de texto e

indicam as tarefas executadas e os valores medidos a cada segundo, minuto e hora do dia. Com isso é possível identificar erros e comportamentos anormais e principalmente possibilitar o rastreamento do erro.

O fabricante do circuito integrado utilizado (ADE7758) da Analog Devices, conforme descrição do fabricante, garante um erro de no máximo até 0.1% (um décimo por cento), se os circuitos forem criados de acordo com o datasheet.

De acordo com as normas nacionais de medição de energia elétrica da ANEEL (Agência Nacional de Energia elétrica) o erro admissível para medição de energia elétrica varia de acordo com as classes de usuários. A Tabela 5 apresenta as características mínimas para os sistemas de medição de baixa tensão.

TABELA 5. Características mínimas para os sistemas de medição de BT (baixa tensão) de acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Classe de acessante	Tensão de Distribuição	Classe do TP	Classe do TP	Tipo do Medidor	Classe do medidor	Incerteza e(%)	Registros mínimos
Grupo B	BT	-	-	MEM A, MEM RO	2	± 2,0	kWh, opcional kvarh
Grupo B (com TC)	BT	-	0,6	MEM A, MEM RO	2	± 2,09	kWh, opcional kvarh
Grupo B (opcional)	BT	-	-	ME	2	± 2,0	kWh, opcional kvarh
Grupo B (com TC opcional)	BT	-	0,6	ME	2	± 2,09	kWh, opcional kvarh
Subgrupo B2 (irrigação)	BT	-	-	ME 2Q	2	± 2,0	kWh por segmento, Kvarh por segmento opcional
Subgrupo B2 (irrigação) (com TC)	BT	-	0,6	ME 2Q	2	± 2,09	kWh por segmento, Kvarh por segmento opcional
Subgrupo AS	BT	-	-	ME 2QR	0,5	± 0,5	kWh; kwh; kvarh
Subgrupo AS (com TC)	BT	-	0,6	ME 2QR	0,5	0,78 ou -0,73	kWh; kwh; kvarh

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2006)

O SM foi calibrado utilizando um equipamento comercial para medição de energia, Fluke modelo 196C Scope Meter Color 1000 MHz-1GS/s (Figura 31) e assim garantindo a confiabilidade dos resultados apresentados.



Figura 31. Equipamento de calibração Fluke-196C

A Tabela 6 apresenta as quantidades de energia elétrica geradas por minuto (w/min) e o percentual de erro (%) em 10 medições de óleo diesel, biodieseis de óleo de soja e girassol realizados pelo SM, assim como pelo equipamento Fluke-196C.

TABELA 6. Tabela comparativa de erros obtidos entre o SM e o Fluke-196C (quantidade de EE instantânea em Watt por minuto).

Equipam. Repetição	SM			Fluke modelo 196C			Erro Obtido (%) SM / FLUKE		
	diesel W/min.	soja W/min.	girassol W/min.	diesel W/min.	soja W/min.	girassol W/min.	diesel %	soja %	girassol %
1	29,5957	29,4480	29,9837	29,6053	29,4537	29,9157	0,03248	0,01947	-0,22732
2	29,5944	29,2369	29,5033	29,5273	29,2429	29,5082	-0,22710	0,02049	0,01658
3	29,5982	29,2581	29,4860	29,5285	29,2102	29,4815	-0,23601	-0,16411	-0,01524
4	29,6172	29,2581	29,4691	29,5376	29,2594	29,5193	-0,26931	0,00452	0,17005
5	29,6139	29,2942	29,4583	29,6030	29,2914	29,4200	-0,03672	-0,00958	-0,13008
6	29,5982	29,2727	29,4154	29,5279	29,2820	29,4431	-0,23811	0,03165	0,09396
7	29,5955	29,2890	29,3810	29,6138	29,3001	29,3880	0,06190	0,03791	0,02379
8	29,5955	29,2326	29,3829	29,6157	29,2347	29,3887	0,06848	0,00724	0,01983
9	29,5790	29,1740	29,4035	29,5484	29,2782	29,4584	-0,10338	0,35589	0,18622
10	29,5128	29,1916	29,3859	29,5922	29,1812	29,3384	0,26825	-0,03576	-0,16189
Total de erro médio (%)							0,15417	0,06866	0,104496
ERRO MEDIO GERAL									0,10911

Conforme os testes de calibração realizados, o SM apresentou erro médio de 0,10911 % (Tabela 6) em relação ao equipamento comercial utilizado como comparação, significando resultados confiáveis nas medições efetuadas, em relação ao pior caso de erro (0,5%) de acordo com a classe de usuário (ANEEL) e muito próximo dos % de erros especificados pelo fabricante (0,1%), comprovando assim a validade dos resultados obtidos e a calibração do SM.

4.4. Testes em Campo – Metodologia Operacional

De acordo com a tabela 7, houve diferenças significativas entre os diversos tipos de combustíveis (óleo diesel, biodiesel de soja e biodiesel de girassol), relativamente à quantidade de energia produzida e o tempo decorrido para o consumo de 1,50 litros de combustível pelo teste \underline{E} a 1% de probabilidade, indicando que um dos combustíveis diferiu dos demais com relação a essas duas variáveis.

Dentre os combustíveis analisados na Tabela 7, o óleo diesel produziu maior quantidade de energia quando comparado com os biodieseis de soja e girassol, sendo que não houve diferença entre estes combustíveis pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação aos tempos decorridos para o consumo de 1,50 litros de combustível, também houve diferenças entre os combustíveis pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que o óleo diesel foi o combustível cujo tempo de consumo teve maior duração (57,57 minutos), no entanto entre os biodieseis de soja e girassol, os mesmos não diferiram entre si, cujos tempos para o consumo de 1,50 litros de combustível foram muito próximos, de 44,71 e 46,71 minutos, respectivamente.

TABELA 7: Quantidade de energia gerada (acumulada) e tempo decorrido para o consumo de 1,50 litros de combustível (óleo diesel, biodiesel de soja e biodiesel de girassol) para uma carga constante de 1800 W.

Combustível	Energia Gerada (kW/h) com 1,5 L	Tempo decorrido (Minuto)
ÓLEO DIESEL	1672,374	57,571
BIOD. de SOJA	1257,144	44,714
BIOD. de GIR.	1310,659	46,714
QM COMB.	357135,722	335,048
ERRO	2046,555	3,032
CV %	3,340	3,510

Foram analisadas ainda, através de coeficientes de proporcionalidade (K_{EE} e K_{TEMPO}), as comparações entre as quantidades médias de energia (acumulada) produzida entre o óleo diesel e o biodiesel de soja, o óleo diesel e o

biodiesel de girassol e o biodiesel de soja e o biodiesel de girassol, assim como entre os tempos médios decorridos para o consumo de 1,50 litros de combustível entre os mesmos.

Para a comparação entre as quantidades médias de EE, e o Tempo médio decorrido para o consumo de 1,50 litros do óleo diesel e do biodiesel de soja, segundo os dados da tabela 7 temos:

$$K_{EE} = \frac{1257,144 \text{ kWh}}{1672,374 \text{ kWh}}$$

$$K_{EE} = 0,7517 \rightarrow 75,17\%$$

$$K_{TEMPO} = \frac{44,71 \text{ m}}{57,57 \text{ m}}$$

$$K_{TEMPO} = 0,7766 \rightarrow 77,66\%$$

Através dos cálculos, conclui-se que o biodiesel de óleo de soja (BOS) possui 75,17% da capacidade de produção de EE e utiliza 77,66% do tempo decorrido para consumir 1,50 litros de combustível em relação ao óleo diesel. Perez *et al* (2005), afirma que o álcool e os óleos vegetais compõem as principais fontes para extração de biocombustíveis. A partir de óleos vegetais é possível obter o biodiesel, com potencial energético equivalente ao petrodiesel, tendo como subproduto a glicerina.

Para a comparação entre as quantidades médias de EE, e o tempo médio decorrido para o consumo de 1,50 litros de óleo diesel e de biodiesel de girassol, segundo os dados da tabela 7 temos:

$$K_{EE} = \frac{1310,659 \text{ kWh}}{1672,374 \text{ kWh}}$$

$$K_{EE} = 0,7837 \rightarrow 78,37\%$$

$$K_{TEMPO} = \frac{46,71 \text{ m}}{57,57 \text{ m}}$$

$$K_{TEMPO} = 0,8113 \rightarrow 81,13\%$$

Conclui-se que o biodiesel de óleo de girassol possui 78,37% da capacidade de produção de EE e utiliza 81,13% do tempo decorrido para consumir 1,50 litros de combustível em relação ao óleo diesel.

Para a comparação entre as quantidades médias de EE, e o Tempo médio decorrido biodiesel de soja e do biodiesel de girassol, segundo os dados da tabela 7 temos:

$$K_{EE} = \frac{1257,144 \text{ kWh}}{1310,659 \text{ kWh}}$$

$$K_{EE} = 0,9592 \rightarrow 95,92\%$$

$$K_{TEMPO} = \frac{44,71 \text{ m}}{46,71 \text{ m}}$$

$$K_{TEMPO} = 0,9572 \rightarrow 95,72\%$$

Conclui-se que o biodiesel de óleo de soja possui 95,92% da capacidade de produção de EE e utiliza 95,72% do tempo decorrido para consumir 1,50 litros de combustível em relação ao biodiesel de girassol.

Concluindo-se ainda, que o óleo diesel produziu maior quantidade de energia gerada (acumulada) e apresentou tempo decorrido para o consumo de 1,50 litros de combustível maior que os biodieseis de soja e girassol.

As figuras (32, 33 e 34) apresentam os resultados das quantidades de energia gerada (instantânea) e dos tempos decorridos para consumo de 1,50 litros de combustível dos valores médios para o óleo diesel (DM), o biodiesel de óleo de soja (BSM) e girassol (BGM).

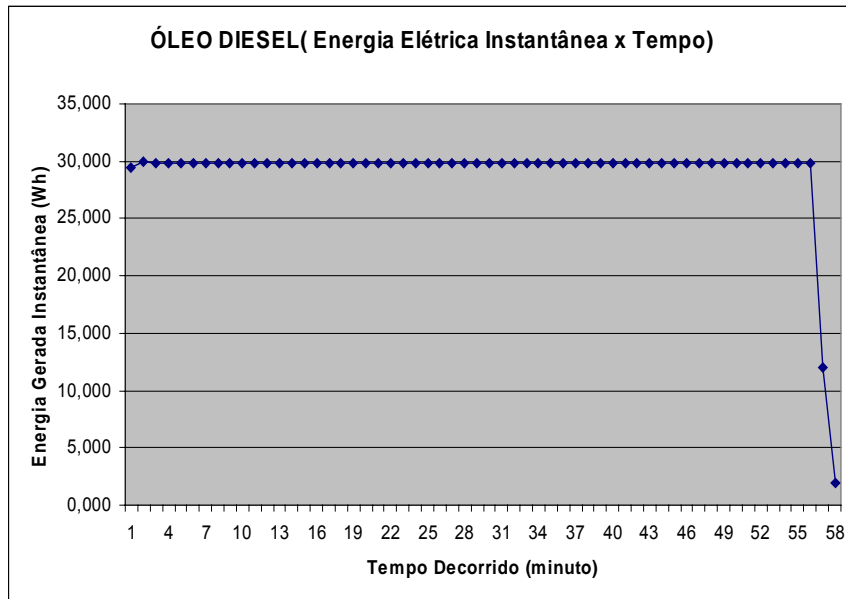


Figura 32. Gráfico das quantidades de energia instantânea gerada para o consumo de 1,50 litros de óleo diesel em função do tempo.

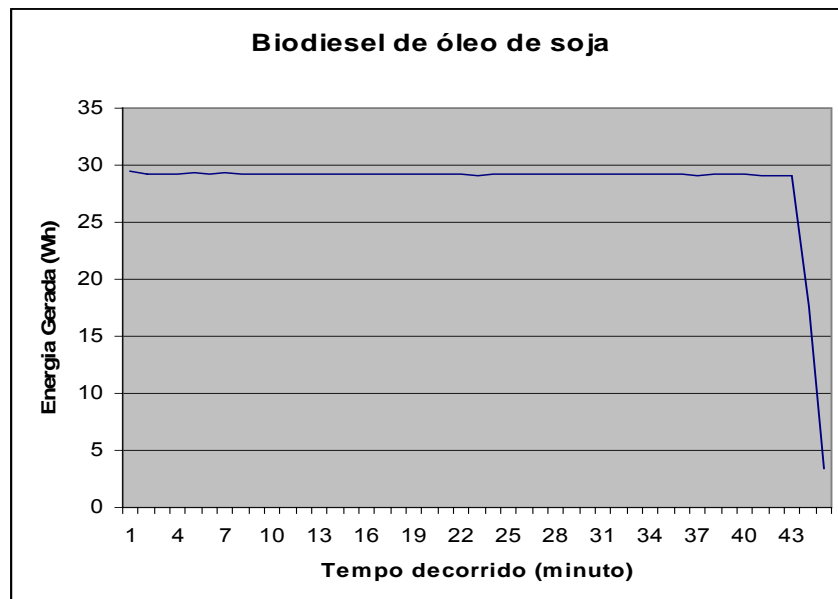


Figura 33. Gráfico das quantidades de energia instantânea gerada para o consumo de 1,50 litros de biodiesel de óleo de soja em função do tempo.

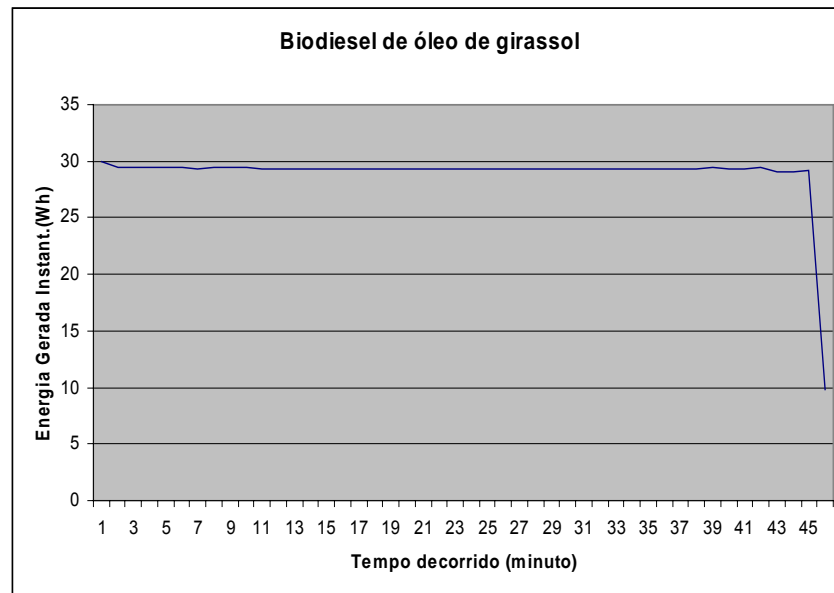


Figura 34. Gráfico das quantidades de energia instantânea gerada para o consumo de 1,50 litros de biodiesel de óleo de girassol em função do tempo.

Analisando-se as figuras (32, 33 e 34), observa-se que a quantidade de energia produzida instantânea é praticamente idêntica para cada tipo de combustível, apenas com variação na variável tempo de consumo para 1,50 litros de combustível, de acordo com o tipo de combustível.

Pelos resultados obtidos infere-se que o biodiesel de soja mostrou-se inferior ao biodiesel de girassol em relação às variáveis analisadas (quantidade de EE (acumulada) produzida e tempo decorrido para o consumo de 1,50 litros de combustível) e que os biodieseis analisados produziram menor quantidade de EE (acumulada) por volume de combustível quando comparado ao óleo diesel. Entretanto, visualiza-se a possibilidade da utilização dos biodieseis produzidos pelos óleos de soja e girassol para fins de produção de EE utilizando uma PGEE. Silva (2007) permitiu inferir que com base nas análises dos fatores de produção, extração e transesterificação das oleaginosas no município de Dourados-MS, a soja é a cultura que mais se destaca em rentabilidade para o produtor, principalmente pelo valor comercial do farelo (subproduto), o que proporciona óleo a um baixo custo. A cultura do girassol constituiu-se na segunda melhor opção para a produção de biodiesel, pois apresenta alto teor de óleo e farelo

(subproduto) de excelente qualidade, podendo ser explorado no período de entressafra da soja.

Além desse fato, deve-se atentar pela grande diminuição de emissão de CO₂ na atmosfera, uma vez que estes combustíveis (biodieseis de óleo soja e girassol) causam menor poluição quando comparados ao óleo diesel.

Os procedimentos metodológicos previstos no projeto e descritos no capítulo Materiais e Métodos apresentaram-se adequados e eficazes para a realização das avaliações previstas, uma vez que os resultados obtidos geraram confiabilidade.

5. CONCLUSÃO

Conforme análise dos resultados, nas condições em que se conduziu este trabalho, conclui-se que:

É possível realizar a integração das rotinas e dos circuitos elétricos, de forma a indicar a quantidade de energia elétrica produzida por volume de óleo de diferentes espécies oleaginosas, identificando o tipo de espécie mais adequada à região de operação.

O sistema microprocessado (SM) desenvolvido apresenta eficácia na medição de energia gerada a partir de óleo diesel e biodieseis provenientes do óleo de soja e de girassol, assim como para qualquer outro tipo de combustível.

O óleo diesel apresenta maior capacidade de geração de energia elétrica que os biodieseis de soja e de girassol.

O biodiesel de girassol apresenta maior capacidade de geração de energia elétrica que o biodiesel de soja.

O sistema microprocessado (SM) concebido apresenta perspectivas positivas quanto a sua aplicação e adoção no segmento afim do agronegócio, pois se trata de equipamento eficiente, baixo índice de complexidade e de fácil manuseio.

Devido ao sucesso alcançado da construção do sistema microprocessado (SM), estima-se obter um equipamento (SM) de custo acessível para medição de

rendimento de energia elétrica de biodiesel utilizando planta geradora de energia elétrica (PGEE),

Os resultados obtidos e a metodologia descrita poderão ser utilizados como ponto de partida, para o desenvolvimento de sistemas microprocessados (SM), por pesquisadores e indústrias do ramo de fornecimento de energia alternativa, como por exemplo:

- Avaliação de gases gerados na queima de biocombustíveis;
- Avaliação de medição de quantidades de energia elétrica gerada em diferentes proporções de mistura entre o óleo diesel e biodieseis (B-2, B-5, B-10, B-20 e B-50).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Módulo 5: **Sistemas de Medição**, 2006. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 25 de jul. de 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em < www.anp.gov.br/>. Acesso em 28 de jul de 2007.

ANALOG. CI Energia. Disponível em: <http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/440746517ADE7758_b.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2005.

ANALOG. Microcontrolador ADuC841. Disponível em: <http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/247905996157419352262670829ADuC841_2_3_0.pdf>. Acesso em: 24 nov de 2005.

ANALOGDEVICES. Circuito integrado ADE7758. Disponível em: <<http://www.analogdevices.com>>. Acesso em: 01 abr. 2005.

ATMEL. AT29C512. Disponível em: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0456.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2005.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. STI/CIT: Brasília, 1985).

COMPANHIA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PAULISTA (CTEEP). Disponível em: <http://www.cteep.com.br/informacoes/centro_inf_ref/artigos/tese_mj.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2005.

EARTHCOMPUTER. Display. Disponível em: <http://www.earthcomputer.com/public_html/downloads/ezLCD-001_Manual.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2005.

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

GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 13 ed. São Paulo: Nobel, 1990, 468p.

HOROWITZ, P; e HILL, W. **The Art of Eletronics**. 2nd Edition. Cambrigde University Press: Cambrigde, Hardcover, 1989.

MAXIMI-IC equipamentos. Disponível em <<http://www.maxim-ic.com>>. Acesso em 20 de nov. de 2005.

MICROCHIP. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39564b.pdf>> acesso em: 20 nov. 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em < www.mme.gov.br/>. Acesso em 05 de ago de 2007.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Disponível em < <http://www.mda.gov.br/portal/>> .Acesso em 02 de ago de 2007.

National Biodiesel Board. Disponível em <www.nbb.org>. Acesso em 20 de jul de 2007.

NICOLOSI, D. E. **Laboratório de Microcontroladores** - Família 8051: Treino de instruções, hardware e software. São Paulo: Érica, 2002.

OLIVEIRA, L. B. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2001

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

PARENTE, E. J. de S.; SANTOS JUNIOR, J. N.; PEREIRA, J. A. B.; PARENTE JUNIOR, E. J. de S. Tecbio. **Biodiesel de mamona**: uma análise técnica, social, ambiental e econômica. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68p.

PEREZ, J.R.R.; FREITAS JÚNIOR, E. de; GAZZONI, D.L. Biocombustíveis: Uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de política agrícola**. Ano XIV – Nº 1 – Jan/Fev./Mar./ 2005, p. 31-41. Brasília: Disponível em <www.agricultura.gov.br>.

PIRES, A. A Energia além do petróleo. Presidente da República. Lei Nº 11.097, de 13 de Janeiro de 2005. In: **Anuário Exame 2004-2005**. Infra-estrutura. Ed. Abril, 2004. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-06/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em: 27 de jan. de 2005.

RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. Revista biotecnologia & desenvolvimento. São Paulo, v. 31, jul./dez., 2003. Disponível em <<http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio31/biodiesel.pdf>> Acesso em 12 de jan de 2007.

REVISTA BIODIESEL. Disponível em <<http://www.revistabiodiesel.com.br/>>. Acesso em 25 de jul de 2007.

SANT'ANNA, J. P. Química e derivados. São Paulo, 2003. V. 414. Disponível em <<http://sbirt.ibict.br/upload/sbirt230.pdf>, 2005> Acesso em: 26.05.2007.

SIMÕES, M. G.; FARRET, F. A. **Renewable energy systems**: design and analysis with induction generators, U.S.A: Hardcover , 2005.

SCHUNK, L. M.; LUPPI, A. **Microcontroladores AVR**: Teoria e Aplicações Práticas. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2001.

SILVA, M. G da. **Análise da Viabilidade do Biodiesel Proveniente da Soja, Girassol E Mamona em Dourados - MS**. Campo Grande. Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal. 2007. (Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* - Mestrado em Produção e Gestão Agroindustrial – UNIDERP, Campo Grande, MS).

TOCCI, R. J.; AMBROSIO, F. J; LASKOWWSKI, L. P. Microprocessors and microcomputers. 4^a Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

VIEIRA, J. N. S. A agroenergia e os novos desafios para a política agrícola no Brasil. In: MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. O futuro da indústria: **Biodiesel**. Brasília, DF: CNI/IEL, 2006 p. 37-48.

ZOCHOLL, S. E. I. Analyzing and applying current transformers. Pullman, WA, USA: Paperback, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO 1: Quantidade de energia gerada e tempo de consumo

QUANTIDADE DE ENERGIA GERADA E TEMPO DE CONSUMO		
COMBUSTÍVEL	ENERGIA GERADA (KW/h)	TEMPO (MIN)
Diesel 1	1682,769	58
D2	1712,706	59
D3	1654,789	57
D4	1656,211	57
D5	1659,564	57
D6	1664,734	58
D7	1675,842	57
DM	1672,374	57,57
TOTAL	11706,615	403
Biodiesel Soja1	1288,473	46
BS2	1282,501	45
BS3	1.279.666	48
BS4	1183,376	42
BS5	1232,269	44
BS6	1273,850	44
BS7	1259,876	44
BSM	1257,144	44,71
TOTAL	8800,011	313
Biodiesel Girassol 1	1388,861	48
BG2	1174,054	42
BG3	1321,416	49
BG4	1308,932	47
BG5	1323,780	47
BG6	1335,678	47
BG7	1321,894	47
BGM	1310,659	46,71
TOTAL	9174,615	327