



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Sinfronio Brito Moraes

**PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
COMUNIDADES DA AMAZÔNIA UTILIZANDO ÓLEO DE PALMA IN  
NATURA**

Belém  
DEZEMBRO 2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Sinfronio Brito Moraes

**PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
COMUNIDADES DA AMAZÔNIA UTILIZANDO ÓLEO DE PALMA IN  
NATURA**

Tese para obtenção do Grau de Doutor  
em Engenharia Elétrica, Instituto de  
Tecnologia, Universidade Federal do  
Pará.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Brigida Ramati  
Pereira da Rocha.

Belém  
DEZEMBRO 2010



Serviço Público Federal  
Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM COMUNIDADES DA AMAZÔNIA  
UTILIZANDO ÓLEO DE PALMA IN NATURA

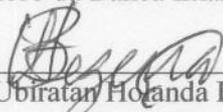
**Autor: Sinfronio Brito Moraes**

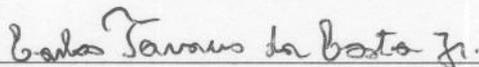
TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA E APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

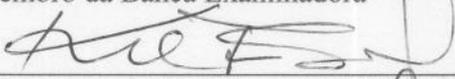
APROVADA EM 20/12/2010

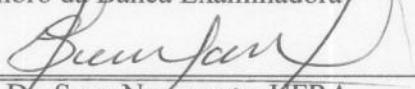
  
Prof. Dr.<sup>a</sup> Brígida Ramati Pereira da Rocha-UFPA  
Orientadora

  
Prof. Dr. José Augusto Lima Barreiros-UFPA  
Membro da Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra-UFPA  
Membro da Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Junior-UFPA  
Membro da Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Kamal Abdel Radi Ismail- UNICAMP  
Membro da Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Suelo Numazawa-UFPA  
Membro da Banca Examinadora

Prof. Dr. Cláudio Luciano da Rocha Conde-SEDECT  
Membro convidado

Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da  
Universidade Federal do Pará

A minha mãe querida, Raimunda (D. Dica)  
Ela me ensinou os caminhos de uma vida digna  
Ao meu amado pai, João (Seu Cametá)  
Ele me ensinou a cultivar a honestidade e o caráter.

## **AGRADECIMENTOS**

Qualquer trabalho acadêmico, sempre é o resultado da contribuição de muitas pessoas que, de forma direta ou indireta, participaram de sua realização. Assim, registro a seguir os agradecimentos às pessoas e instituições que de alguma forma tiveram participação neste.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), instituição da qual tenho muito orgulho em ter recebido minha formação acadêmica de graduação e permitido uma dedicação de forma integral a esta pesquisa.

À ELETROBRAS que através de seu programa de P&D é financiadora desta pesquisa.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Brígida Ramati Pereira da Rocha, da Faculdade de Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia da UFPA, orientadora deste trabalho, por ter compartilhado comigo tanto de seu tempo, de sua experiência, de sua amizade e de seus conhecimentos. Seu incentivo desde 1998 com participação em vários projetos de pesquisa sob sua coordenação foram decisivos para a manutenção da dinâmica necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Manoel Fernandes Martins Nogueira, da Faculdade de Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia da UFPA, por ter compartilhado conosco sua grande experiência no assunto.

Aos Professores Dr. José Augusto Lima Barreiros, Dr. Carlos Tavares da Costa Junior, e Dr. Ubiratan Holanda Bezerra, da Faculdade de Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da UFPA, e aos Professores Paulo Luiz Contente de Barros da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Dr. Marcus Vinicius Miranda da Silva da Universidade da Amazônia (UNAMA), Dr. Cláudio Luciano da Rocha Conde da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Pará (SECDET) e Kamal Abdel Radi Ismail, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), que participaram da Banca do Exame de Qualificação, por suas recomendações, que espero ter aproveitado no desenvolvimento do trabalho final.

Aos Mestrandos Hendrick Maxil Zárate Rocha, Erlison Castro Alves e Jaime Martins Oliveira Junior, membros de nosso grupo de pesquisas – LABGAS, pelas valiosas contribuições dadas a este trabalho e, principalmente, pela amizade cultivada durante todo esse tempo.

Ao colega de doutorado, Prof. Gonçalo Rendeiro, por sua amizade e apoio durante a elaboração deste trabalho.

À minha mãe e pai (in memoriam), irmãos e irmãs, pelo apoio e compreensão permanentes durante todas as fases deste e de todos os outros trabalhos que realizei.

Agradeço a minha esposa (Vânia), filho (Marcelo), filhas (Patrícia, Priscyla e Pâmela) e netos (Beatris, Vivian e Lucas) pelo apoio e carinho.

Aos meus irmão e irmãs pelo amor fraterno e amigos que sempre fomos.

Aos amigos e amigas de todas as horas, sempre disponíveis para ouvir, obrigado.

*“A satisfação está no esforço e não apenas na realização final”*

*(Mahatma Gandhi)*

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b>	
<b>AGRADECIMENTOS</b>	
<b>EPÍGRAFE</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	
<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	20
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	23
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	24
4.1 EVOLUÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NA AMAZÔNIA .....	24
4.2 SISTEMAS DE ELETRIFICAÇÃO EM COMUNIDADES ISOLADAS NA AMAZÔNIA .....	31
4.3 UTILIZAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL “IN NATURA” EM MOTORES DIESEL .....	34
4.4 TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS (KITS DE ADEQUAÇÃO).....	46
<b>5 FORMULAÇÃO TEÓRICA</b> .....	52
5.1 RENDIMENTO DO GRUPO GERADOR .....	52
5.2 CONSUMO ESPECÍFICO .....	54
5.3 ENERGIA ELÉTRICA .....	54
5.4 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO .....	56
5.5 CÁLCULO DA RAZÃO DE EQUIVALÊNCIA .....	56
<b>6 CARACTERIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS</b> .....	57
6.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICA E FÍSICO-QUÍMICAS .....	59
<b>7 APARATO EXPERIMENTAL E METODOLOGIA</b> .....	61
7.1 DESCRIÇÃO DO BANCO EXPERIMENTAL INICIAL .....	61

7.2 METODOLOGIA OPERACIONAL FINAL.....	
<b>8 RESULTADOS E COMENTÁRIOS .....</b>	<b>73</b>
<b>9 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
9.1 VALORES E EMISSÕES MÉDIAS.....	82
<b>10 CONCLUSÕES .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil.....	31
Figura 2 -	Número de pessoas sem acesso a energia elétrica entre 1970 – 2000 .....	33
Figura 3 -	Número de pessoas sem eletricidade, 1970-2030.....	33
Figura 4 -	Número médio anual de pessoas que terá acesso a energia elétrica..	34
Figura 5 -	Mapa do Sistema Interligado Nacional – Sistema de Transmissão horizontal 2012.....	37
Figura 6 -	Mapa de sistemas isolados.....	38
Figura 7 -	Componentes do kit de adequação da BioCar.....	47
Figura 8 -	Sistema automático de troca de combustível desenvolvido pela Biocar para o projeto Provegam do CENBIO .....	48
Figura 9 -	Kit da Elsbett AG desenvolvido para motores veiculares de passageiros.....	49
Figura 10 -	Kit da Elsbett AG desenvolvido para motores agrícolas.....	49
Figura 11 -	Equipamentos desenvolvidos pela Greasecar Vegetable Fuel Sistem .....	50
Figura 12 -	Esquema hidráulico do kit desenvolvido pela Fendel Tecnologia ....	51
Figura 13 -	Componentes do kit de adequação da Fendel Tecnologia.....	51
Figura 14 -	Esquema da transformação de energia .....	53
Figura 15 -	Esquema elétrico de ligação do equipamento SAGA 4500.....	56
Figura 16 -	Esquema de montagem dos equipamentos e direção da coleta dos dados.....	62
Figura 17 -	Grupo gerador Cummins C40 D64.....	63
Figura 18 -	Medidor de vazão Flowmate .....	63
Figura 19 -	Analisador de gases CMS-7 .....	64
Figura 20 -	Equipamento SAGA 4500.....	65
Figura 21 -	Programa de monitoramento do SAGA 4500.....	66
Figura 22 -	Banco de resistência elétrica.....	66
Figura 23 -	Esquema de termopar tipo K acoplado com conjunto bucim.....	67

Figura 24 -	Aquisitor de dados A202 .....	6
Figura 25 -	Esquema de funcionamento do kit inicial.....	6
Figura 26 -	Esquema do sistema final .....	71
Figura 27 -	Gráficos de frequência do grupo gerador com óleo diesel e com óleo de palma.....	73
Figura 28 -	Gráficos comparativos de potências geradas entre óleo diesel e óleo de palma.....	74
Figura 29 -	Gráficos comparativos de vazão do óleo diesel e óleo de palma .....	76
Figura 30 -	Gráficos comparativos do consumo específico do óleo diesel e óleo de palma.....	76
Figura 31 -	Temperaturas dos gases no coletor de escape do diesel e do óleo de palma .....	77
Figura 32 -	Temperaturas dos gases no ponto de coleta para o diesel e do óleo de palma.....	77
Figura 33 -	Comparativo das emissões de O <sub>2</sub> para óleo diesel e para óleo de palma .....	78
Figura 34 -	Emissão do CO para óleo diesel e para óleo de palma.....	79
Figura 35 -	Emissão do NO <sub>x</sub> para óleo diesel e para óleo de palma.....	8
Figura 36 -	Emissão do CO <sub>2</sub> calculado para óleo diesel e para óleo de palma ....	80
Figura 37 -	Temperaturas de injeção do óleo diesel e de injeção do óleo de palma .....	81
Figura 38 -	Temperaturas ambiente dos ensaios .....	81
Figura 39 -	Gráfico (a) potência x carga e o gráfico (b) vazão x carga.....	84
Figura 40 -	Gráfico (a) consumo específico x carga e o gráfico (b) temperatura dos gases no coletor x carga .....	85
Figura 41 -	Gráfico (a) temperatura do gás na amostragem x carga e o gráfico (b) emissão de O <sub>2</sub> x carga.....	85
Figura 42 -	Gráfico (a) emissão de CO x Carga e o gráfico (b) emissão de NO <sub>x</sub> x carga.....	86
Figura 43 -	Gráfico (a) valores calculados de CO <sub>2</sub> x carga e o gráfico (b) temperatura do óleo x carga.....	87
Figura 44 -	Gráfico (a) valores da frequência x carga e o gráfico (b) razão de equivalência x carga .....	87
Figura 45 -	Gráfico rendimento x carga .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Evolução da indústria de eletricidade na Amazônia (1920-1940).....	26
Tabela 2 -	Parâmetros medidos em função da carga .....	42
Tabela 3 -	Teor máximo de CO <sub>2</sub> obtidos das reações estequiométricas.....	57
Tabela 4 -	Propriedades energéticas e físico-químicas para óleo palma e óleo diesel (EBMA 2009).....	59
Tabela 5 -	Análise elementar do biodiesel, óleo de palma e do óleo diesel .....	60
Tabela 6 -	Características do medidor de vazão .....	65
Tabela 7 -	Características da bomba de infusão .....	66
Tabela 8 -	Características do aquisitor de dados.....	68
Tabela 9 -	Poder calórico inferior do diesel e do óleo de palma .....	74
Tabela 10 -	Valores médios das emissões dos gases de escape para o motor com óleo diesel e com óleo de palma .....	82
Tabela 11 -	Valores médios das propriedades medidas durante o tempo de teste para o motor com óleo diesel e com óleo de palma.....	83

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BASA	Banco da Amazônia S.A
BNDE	Banco Nacional de Desenvolvimento
BOVESA	Boa Vista Energia S.A
CCC	Conta de Consumo De Combustível
CCC – Isol	Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis-Isolados.
CENBIO	Centro Nacional de Biomassa
CEM	Centrais Elétricas de Manaus
CEA	Companhia Energética do Amapá
CEMAT	Companhia Elétrica Matogrossense S.A
CEMAR	Companhia Energética do Maranhão
CELPA	Centrais Elétrica do Pará S.A
CELETRAMAZON	Centrais Elétricas do Amazonas S.A
CERON	Centrais Elétrica de Rondônia S.A
CER	Centrais Elétricas de Roraima
CIRAD	La Recherche Agronomique Pour Le Développement
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EBMA	Grupo de Energia Biomassa e Meio Ambiente UFPA
ELETROACRE	Companhia de Eletricidade do Acre
ENERAM	Comitê Coordenador dos Estudos Energéticos da Amazônia
FORLUZ	Força e Luz do Pará S.A
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IUEE	Imposto Único Sobre Energia Elétrica
MESA	Manaus Energia S.A
NBR	Norma Brasileira
OVEG	Programa Nacional de Energia de Óleos Vegetais

PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PROVENGAM	Projeto de Implantação e Teste de Uma Unidade de Demonstração Energética de Óleo Vegetal
SAELPA	Serviço de Água, Esgoto, Luz e Prensa de Algodão
SAALFT	Serviço de Abastecimento de Água, Luz e Força do Território
SIN	Sistema Interligado Nacional
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
UHEs	Usinas Hidreletricas.

## LISTA DE SÍMBOLOS

kVA	Quilovoltampere
kW	Quilowatt
MW	Megawatt
HP	Horsepower
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de enxofre
CST	Centistokes
$\eta$	Rendimento elétrico
Pe	Potência elétrica
B2	Diesel com 2% de óleo vegetal
PT	Potência térmica total
Pot. comb.	Potência do combustível
m	Massa do combustível.
m <sub>ar</sub>	Massa de ar
c	Calor específico do combustível
T <sub>ov</sub>	Temperatura de entrada do óleo vegetal
T <sub>d</sub>	Temperatura de entrada do óleo diesel
<b><i>COES</i></b>	Consumo específico de combustível
<b><i>m</i></b> <sub>comb</sub>	vazão mássica do combustível
<b><i>Q</i></b> <sub>comb</sub>	Vazão volumétrica de combustível
rpm	Rotações por minutos
Nm	Newton metro
g/kWh	Grama por quilowatt-hora
Vi	Voltímetro
Ai	Amperímetro
Wi	Wattímetro
$\Phi$	razão de equivalência

## RESUMO

Tem sido relatado que motores diesel de injeção direta, utilizando como combustível óleo de palma filtrado, neutralizado e sem tratamento químico, tem dificuldade de funcionamento quando a carga for reduzida abaixo de determinado valor limite. Este fenômeno é explicado uma vez que o óleo de palma tem vaporização e cinética química mais lenta do que o combustível diesel na mesma temperatura. Redução da temperatura da câmara, a baixa carga, leva a uma combustão incompleta. Portanto, existe uma temperatura mínima que pode ser medida nos gases de escape, para identificar se uma combustão completa ocorre ou não dentro do cilindro. Isso leva a uma investigação para identificar qual é a menor temperatura dos gases de escape que a combustão completa ocorre na câmara de combustão de um motor de compressão, com óleo de palma. Essa temperatura foi identificada quando as concentrações de CO da combustão do óleo de palma excedem substancialmente essas emissões na combustão de diesel nas mesmas condições de carga do motor. Para atingir este objetivo, um grupo gerador diesel de 4 cilindros de 53 kVA foi montado e o grupo gerador foi instrumentado com medidores de fluxo de combustível, medidores de energia elétrica, termopares para identificação das temperaturas, medidores da composição do gases, sendo utilizado dois tanques: um para diesel e outro para o óleo de palma com um sistema de pré-aquecimento. Esse sistema de pré-aquecimento do óleo de palma permite mudar facilmente a troca de combustível. Experimentos foram inicialmente feitos com diesel para estabelecer uma linha de base, em seguida com óleo de palma, reduzindo a carga do grupo gerador de 100% até 75%, medindo a temperatura dos gases de escape e ao mesmo tempo a sua composição e os parâmetros elétricos e assim possibilitando também o desenvolvimento de um sistema automático para a troca de combustível quando a operação do motor cruzar a fronteira de aplicabilidade do combustível. Considerando os experimentos realizados, os objetivos foram obtidos com uma carga mínima de 90% e temperatura nos gases de escape de 520°C, sendo que a temperatura ideal de pré-aquecimento do óleo de palma é de 85°C. Destacamos também que o funcionamento do sistema com os dois tipos de combustível, apresentou potências e eficiência térmica similares.

**Palavras chaves:** Combustão, Óleo de palma, geradores diesel, equilíbrio químico.

## ABSTRACT

Reports has been presented informing that palm oil, filtered, neutralized without any chemical treatment performs badly when a direct injection engine runs under a certain limited load condition. This phenomenon is explained since the palm oil vaporization and chemical kinetics are slower than the ones from diesel fuel at the same temperature. Load reduction implies on reducing chamber temperature causing low vaporization rate and slow reaction rate that has as consequence uncompleted combustion. Therefore, there exists a minimum temperature that can be measured at the exhaust gases to identify if a complete combustion occurs or not in the cylinder. This work performed an investigation to identify what is the smallest temperature of the exhaust gases that complete combustion of palm oil occurs in the combustion chamber of a compression engine. This limit temperature was identified through CO concentration when its mass fraction in emissions of palm oil combustion substantially exceed those in diesel combustion emission under the same conditions of engine load. To achieve this goal, a generator set was assembled with a 53 kVA generator and 4 cylinder diesel engine instrumented with fuel flow meters, electric power measurement instruments, thermocouples at a cylinder exit, elude gas composition measurement, and an oil pre-heating system with two tanks: one for diesel and another for palm oils. More than only heating, the pre-heating system allows to change fuels easily. Experiments were initially done with diesel to establish a base line, then reducing the genset load from 100% up to 75% with palm oil measuring simultaneously exhausting and composition as well as fuel and electric parameters and thus also enabling the development of an automated system for the exchange of fuel when the engine operation exceed the limit of applicability of fuel. Experiments showed that the lowest load where the engine performance with palm oil is similar to the diesel is 90% and its minimum temperature for the exhaust gases at the cylinder exit is 520°C. 85°C proved to be enough to reduce palm oil viscosity to operational condition and palm oil operation had similar output power an thermal efficiency to the one with diesel oil.

**Keywords:** Combustion, palm oil, diesel engine, chemical equilibrium.

# 1 INTRODUÇÃO

O termo empregado para designar desenvolvimento socioeconômico foi motivo de discussão pela sociedade durante o século XX, e ganhou mais repercussão com a adoção da divisão socioeconômica entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. A atenção do mundo com a questão da poluição ambiental e a escassez dos recursos naturais utilizados para manter formas de desenvolvimento que privilegiam o aspecto econômico em detrimento do social e do ambiental aumentou no final do século, e a busca por novas fontes de energia limpa e abundante ganhou evidência.

O grande questionamento levantado é que a geração de energia é uma peça fundamental na sociedade atual, já que a maior parte das nações utiliza como fonte primária de energia o petróleo, que é um grande poluente. A grande problemática no uso do petróleo que para os países desenvolvidos é que essa questão está ligada diretamente ao processo de desenvolvimento por eles adotada até então. Por isso tornou-se importante promover outras formas de recursos, preferencialmente renováveis e não-poluentes, que permitam o desenvolvimento sustentável.

Marzullo (2007) comenta que em termos mundiais, o efeito estufa se destaca como o principal problema para o meio ambiente, devido ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera que geram o aquecimento global. O impacto ambiental causado pelos derivados do petróleo aumenta com a concentração de gás carbônico na atmosfera, trazendo a necessidade de busca de substituição dos combustíveis fósseis.

O uso de óleo vegetal com a finalidade carburante é cogitado desde a invenção dos motores de ciclo diesel, visto que as propriedades dos óleos vegetais são muito semelhantes às do óleo diesel. Tecnicamente, os óleos vegetais podem ser utilizados como combustíveis na forma “in natura” ou modificado por processos físicos e químicos.

A utilização desse tipo de combustível remonta ao início da operação do próprio motor diesel no final do século XIX. Rudolf Diesel projetou, em 1892, seu primeiro motor com eficiência de 26% e realizou testes com petróleo, álcool e, em 1898, com óleos vegetais. Por questões econômicas, e frente à disponibilidade dos derivados do petróleo, a utilização de óleos vegetais em motores ficou em completo abandono. Atualmente o combustível vegetal é visto pelo governo brasileiro como uma opção ambientalmente correta para a economia de

divisas e a geração de renda. Fatores como o clima favorável, a grande extensão de solo agricultável, a vocação para o agro-negócio e o preço do petróleo elevado se somam para tornar esta alternativa também economicamente competitiva. A partir de 2008, está autorizada a adição obrigatória de 2% em volume de biodiesel ao óleo diesel proveniente do petróleo, passando a um conteúdo de pelo menos 5% em volume em 2013.

A floresta amazônica possui uma grande variedade de plantas oleaginosas coexistindo com o fato de que na região Norte, estão localizadas a maior quantidade de comunidades que não tem sua energia fornecida pela rede elétrica básica brasileira. Outra questão importante é que nessa região a taxa de crescimento da demanda de energia é a mais alta no Brasil. Esses sistemas isolados possuem seu atendimento feito por grupos diesel com forte subsídio da Conta de Consumo de Combustível — CCC que está alcançando níveis intoleráveis para a nossa sociedade. Apesar de alguns sistemas isolados terem sido conectados a rede básica na última década, ainda existem pelo menos 503.319 potenciais consumidores ainda não atendidos, segundo dados da Aneel (2004). Neste contexto, a utilização de biocombustíveis, produzidos na própria região, possui o potencial de reduzir a logística de transporte e reduzir o volume de subsídios, agregando valor à produção local.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), desde sua criação no final de 2004, vem realizando um grande esforço de inclusão da agricultura familiar na cadeia agroindustrial do biocombustível. Atuando conjuntamente, por meio de políticas de certificação, organização da base produtiva, tributária e comercial, o Governo Federal, e em especial o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), vem tentando incluir agricultores familiares como fornecedores de matéria prima para a indústria de biodiesel em todo o Brasil, com foco nas potencialidades das oleaginosas locais.

Não obstante, o grande esforço de incentivo a produção de biodiesel, a partir de matérias primas diversas, atualmente a soja se apresenta como a principal oleaginosa proveniente da agricultura familiar. E caso não existisse a soja, outras oleaginosas como a mamona, o girassol, a canola, o gergelim, o algodão e o amendoim, que apesar de produzidos e comprados da agricultura familiar, não possuem volume suficiente para suprir a demanda brasileira atual de biodiesel que é cerca de 2,5 milhões de metros cúbicos/ano (MME, 2010).

Além da incapacidade de atingir a produção necessária de óleo nos próximos anos para a produção de biocombustível demandado no país, os óleos provenientes das oleaginosas citadas têm significativo valor de mercado, muitos deles óleos especiais com preços que inviabilizam as suas utilizações para fins combustíveis.

Desta forma, uma oleaginosa que apresenta animadora potencialidade de reversão dessa dependência, mesmo que num longo prazo, seria o óleo de palma, mais conhecida como dendê. Essa oleaginosa, além de apresentar um ótimo balanço energético na sua produção e possuir alta produtividade de óleo, é intensiva em mão de obra e, por isso, muito interessante de ser trabalhada com agricultores familiares.

O óleo de palma é o principal óleo vegetal em termos de produção e comercialização no mundo. Sua produção mundial cresce continuamente e triplicou na última década, se situando na casa dos 47 milhões de toneladas/ano (BIODIESELBR, 2010). É utilizado para diversos fins e em diferentes cadeias produtivas, como a produção de alimentos, produtos de limpeza, biocombustíveis, produtos de higiene pessoal, produtos óleos químicos, etc.

Os seus maiores produtores mundiais são Indonésia, Malásia e Tailândia. O Brasil, apesar de posição tímida no mercado mundial desse produto, apresenta aproximadamente 29,5 milhões de hectares de terras aptas ao plantio da palma de óleo, grande parte dessa área na Região Norte, que além de dispor de enormes áreas já desmatadas com aptidão para o cultivo, apresenta condições edafo-climáticas altamente favoráveis ao desenvolvimento da cultura, apresentando excelentes resultados na produção, com produtividade aproximada de 8.000kg de óleo por hectare/ano (EMBRAPA, 2010).

Na Amazônia existem cerca de 40.000 comunidades isoladas com população em torno de 4 milhões de habitantes, parte das quais podem se beneficiar com a produção e utilização do dendê, ou outras oleaginosas. Surge o questionamento sobre a utilização deste tipo de óleo para fins alimentares e para fins energéticos. Devido ao seu grande valor comercial o óleo de palma deveria ser prioritário para ser empregado na alimentação, enquanto outros tipos de oleaginosas, sem valor comercial, seriam utilizadas para a geração de energia.

Grande parte dessas comunidades não são atendidas com energia elétrica, em geral devido, às longas distâncias que o combustível de origem fóssil percorre desde o centro de produção até o local de consumo desse óleo num grupo gerador (MIRANDA et al., 2003). Este fator somado a pequena demanda, em virtude do pouco número de habitantes por comunidade, torna economicamente inviável a utilização de óleo diesel. O óleo de palma é uma grande alternativa para a aplicação como combustível para motores estacionários e marítimos nestas comunidades, pois além de ser uma oleaginosa com grande potencial de plantio nessa região esse óleo poderá ser produzido nas cercanias dos locais de consumo.

## 2 JUSTIFICATIVA

O sistema elétrico brasileiro é baseado em dois grandes segmentos de fornecimento, o Sistema Interligado Nacional (SIN) e os sistemas isolados. O primeiro atende a maioria do território nacional e é baseado no provimento de volumosos blocos de energia para atendimento das regiões Sul, Sudeste, grande parte do Nordeste e do Centro Oeste e grande parte do Estado do Pará na região Norte. Neste sistema, prevalece a geração hidrelétrica, a transmissão por meio de redes de alta tensão e a comercialização de energia entre os subsistemas existentes. Já os sistemas isolados se caracterizam pela geração predominantemente térmica, a base de óleo diesel e óleo combustível, e pelo limitado segmento de transmissão (SANTOS, 2008).

Nesses locais isolados, a dificuldade na logística e as enormes distâncias das cidades encarecem o preço do diesel mineral, o qual é utilizado como principal fonte de combustível no transporte fluvial e na geração de energia elétrica nessas locais. É importante ressaltar que esses agravantes criam uma grande demanda potencial por fontes de energia alternativa que provoquem menor agressão ao meio ambiente e seja de modo geral mais adaptadas com as características da região amazônica.

Os sistemas isolados atendem atualmente cerca de 1,4 milhão de consumidores e abarcam a integralidade dos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Rondônia, Roraima, e alguns municípios do estado do Pará, Mato Grosso, além de três pequenas localidades no Nordeste (Fernando de Noronha, Batavo e Ilha de Camamu). Os sistemas isolados localizados na região Norte, objeto central deste estudo, respondem por 96% de toda a potência nominal instalada na área não interligada e se destacam ainda pelos elevados índices de exclusão elétrica (SANTOS, 2008).

A produção do biodiesel é de certa forma inviável para essas comunidades, constata-se que dificilmente uma comunidade isolada de pequeno porte terá infra-estrutura e recursos humanos para produzir biodiesel, pois para a produção desse combustível é necessário um conhecimento químico avançado (processo de transesterificação) e a utilização de equipamentos complexos, que estão fora da realidade local. Por isso, é mais factível utilizar o óleo vegetal *in natura* como combustível nesses locais isolados, pois a produção desse óleo não requer nem mão de obra especializada, muito menos a montagem de equipamento com tecnologia avançada.

A Amazônia já é uma região produtora de óleos vegetais, com empresas produtoras de óleo de palma como a Agropalma, Biovale, Marborges, Denpasa, Dentauá, Mejers e com possibilidade de expansão da sua produção, seja pelo uso sustentável da produção extrativista seja pela utilização de áreas degradadas para aumentar o plantio. Se uma tecnologia de geração de eletricidade utilizando óleos vegetais demonstrar capacidade de operação comercial com custos competitivos, certamente essa tecnologia será candidata a substituir a geração diesel. Um dos parâmetros críticos para a entrada dessa nova tecnologia é o custo de manutenção do motor a óleo vegetal se iguale ao do motor a diesel mineral para manter a atratividade econômica do empreendimento.

Além disso, o óleo vegetal é um combustível renovável e a sua utilização em substituição ao óleo diesel o qualifica a receber créditos por redução na emissão de carbono. Finalmente, no caso de geração para atendimento do público geral, esse tipo de geração também se qualifica para receber a sub-rogação da CCC, o que aumenta a atratividade econômica do negócio.

Óleos vegetais “in natura” frequentemente apresentam calor específico e viscosidade maior do que o óleo diesel resultando numa pobre atomização do combustível e numa combustão incompleta. Além disso, ocorre formação de depósitos de carbono, contaminação do lubrificante pelo combustível e graves problemas quanto à poluição oriunda dos gases de escape. Mas, os problemas mais graves são o alto ponto de fulgor e a alta temperatura de ignição dos óleos vegetais, o que leva a causar oxidação e entupimento dos bicos injetores e a corrosão dos anéis de segmento dos pistões, provocando uma diluição e degradação dos aditivos contidos no óleo lubrificante.

Estes problemas podem ser resolvidos através de duas medidas, a primeira consiste em modificar o óleo vegetal (transesterificação ou craqueamento catalítico). A transesterificação é um processo químico que consiste em misturar o óleo vegetal com álcool para produzir o biodiesel e tem como subproduto a glicerina, cujo produto tem valor comercial.. O craqueamento catalítico é um processo térmico que produz o biodiesel e tem como subproduto a acroleína, produto indesejável por ser extremamente tóxico. Há a possibilidade também de misturar o óleo vegetal com combustível fóssil em determinadas proporções reduzindo a viscosidade e melhorando a atomização.

A segunda solução, consiste em utilizar condições térmicas internas ao cilindro do motor, que permitam sua combustão completa e a não formação de depósitos de carbono, tais

como, turbo alimentação, modificação da pressão de injeção do combustível e avanço a injeção o que requer conhecimentos técnicos especializados.

Os problemas referentes à utilização dos óleos vegetais como combustível em motores diesel se devem ao fato desses possuírem elevada viscosidade, juntamente com a alta concentração de ácidos graxos, materiais sólidos em suspensão e a longa estrutura química, a qual requer um tempo maior para a vaporização e combustão no interior do cilindro. Estudos realizados por diversos autores mostraram que a maioria dos problemas citados acima podem ser resolvido com a filtragem do óleo acompanhado da sua neutralização química, uso de óleo lubrificante com determinados aditivos, aumento da pressão de injeção, entre outros. A redução de viscosidade pode ser obtida utilizando o calor rejeitado do motor, com a instalação de um trocador de calor, pelo sistema de arrefecimento e dos gases de escape. Na partida do motor normalmente é utilizado óleo diesel para que o calor de rejeito aqueça o óleo de palma até ele alcançar a temperatura desejada, quando então o óleo diesel deve ser substituído pelo óleo de palma, e na parada, quando o óleo de palma deve ser completamente removido do sistema de alimentação para não entupir quando o motor esfriar. Isso é feito trocando o fluido de alimentação com o motor em funcionamento de óleo de palma para diesel e mantendo-o em operação por algum tempo (FLEURY et al., 2002; BELCHIOR et al., 2005).

Assim este trabalho propõe a geração de energia elétrica em comunidades isoladas na Amazônia utilizando óleo de palma in natura, onde a própria comunidade possa produzir o seu combustível e levando em consideração um nível de escolaridade bastante limitado, deve-se optar por uma alternativa de funcionamento simples e que tenha o mínimo de interferência humana. Neste caso, tem-se uma terceira opção, que é adaptar, o sistema de alimentação e injeção, através da montagem de um kit de automação de troca de combustível entre diesel e óleo de palma. Para uma combustão completa, o nível de temperatura na câmara de combustão deve ser suficiente para vaporizar e queimar totalmente o óleo de palma. Esta é uma condição que pode ser controlada através de um circuito duplo de alimentação de combustível, usando um tanque para óleo diesel e um para óleo de palma. Além disso, é necessária a utilização de um filtro responsável para reter as impurezas e partículas sólidas contidas no óleo de palma, um trocador de calor responsável para aquecer o óleo de palma, provocando a diminuição de sua viscosidade e garantindo que as propriedades fluidodinâmicas se assemelhem ao do óleo diesel e uma bomba que ira impulsionar o óleo de palma até o sistema de injeção de combustível.

### 3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é disponibilizar uma tecnologia de geração de energia elétrica em sistemas isolados sem a necessidade da transformação de óleo de palma em biodiesel, utilizando um grupo-gerador diesel sem nenhuma modificação nas suas características originais, para que este possa consumir óleo de palma in natura e seja feita a quantificação do seu desempenho.

Este trabalho irá levantar e identificar quais das tecnologias já desenvolvidas para adequação na utilização do óleo de palma in natura e que tenha a maior possibilidade de promover um alto desempenho do motor . Então será feita a caracterização do óleo de palma, tanto sob o ponto de vista energético (poder calorífico, teor de carbono fixo, cinzas, composição elementar) quanto do ponto de vista químico (índice de acidez, viscosidade, e outros).

Os óleos já caracterizados alimentara um grupo gerador diesel de 4 cilindros de 53 kVA, onde será monitorado a composição dos gases de escape, temperaturas, consumo específico de combustível, vazão e os parâmetros elétricos da energia gerada, em função da variação de carga. E de posse dessas medidas, será determinado a fronteira limite da potência nominal ideal de funcionamento do sistema gerador, onde não exista os problemas de combustão incompleta, tanto para óleo diesel como para o óleo de palma e também seja possível quantificar a eficiência do grupo-gerador consumindo óleo de palma in natura e compará-la com a eficiência do grupo-gerador consumindo óleo diesel(B2). Adicionalmente, será desenvolvida uma melhoria do sistema de alimentação de combustível e de automação da troca de combustível, alternando nesses momentos o suprimento de combustível para o motor entre o óleo de palma e o diesel.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. EVOLUÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NA AMAZÔNIA

O desenvolvimento da indústria da eletricidade na Amazônia está intimamente relacionado com o ciclo de desenvolvimento econômico ocorrido na região. O conhecimento da dinâmica da economia da Amazônia é fundamental para o entendimento de como se deu a expansão da energia elétrica. (DOMINGUES, 2003)

Sousa (2000) fez uma análise do papel do setor elétrico no âmbito das políticas de desenvolvimento para a região Norte, destacando quatro períodos ou ciclos de desenvolvimentos distintos: de 1800 a 1920 (Primeiro Ciclo da Borracha – Do Apogeu à Crise na Exportação da Borracha e os Primeiros Empreendimentos Elétricos), de 1921 a 1960 (O Segundo Ciclo da Borracha e a Crescente Participação do Estado no Setor Elétrico), de 1961 a 1980 (Consolidação da Intervenção do Estado no Setor Elétrico Brasileiro e os Grandes Projetos de Infra-Estrutura na Amazônia) e de 1981 a 1996 (A reestruturação do Setor Elétrico e seus Impactos nos Sistemas Isolados).

A ocupação desordenada da região amazônica marca o início da exploração do látex para exportação. Cidades e vilas foram se formando ao longo das estradas, rodovias e nas margens dos rios nos estados do Pará e Amazonas. A partir de 1874, os melhoramentos se diversificam, atendendo às novas demandas impostas pelo crescimento das cidades e à intensificação das atividades econômicas. Nesse período a migração de colonos vindos do Nordeste chegou a ser algo em torno de 300 a 350 mil, que vinham atraídos pela chance de ocupação da vasta quantidade de terra, bem como, garantia de mercado para a produção por parte da elite comercial. (VELLOSO, 2002)

O fornecimento de energia em algumas pequenas aglomerações do interior, fundadas durante o “Primeiro Ciclo da Borracha”, era garantido através de unidades térmicas de pequeno porte, mantidas por prefeituras e administrações locais. Nestas localidades, a energia era gerada, em quase sua totalidade, por máquinas, geralmente a vapor, com expressiva utilização da lenha como combustível. Registros da capacidade instalada e geração na década de 20 mostram que o estado do Amazonas possuía pouco mais de 1.751 kW de potência instalada, referentes a 03 usinas concentradas no município de Manaus. No Pará, esta

capacidade era um pouco maior, cerca de 5.000 kW, distribuídos em 04 unidades térmicas. O estado do Acre, com menor participação, apresentava um parque gerador térmico de 143 kW, sendo quatro empreendimentos térmicos. (SOUZA, 2000; DOMINGUES, 2003)

A extração do látex de forma racional nos seringais da Indonésia e Malásia, fez com que a atividade extrativista brasileira sofresse um grande impacto, devido à queda no preço do produto, o que fez reduzir a competitividade brasileira a partir de 1914. Para (SANTOS, 2008) o declínio do extrativismo da borracha no Brasil foi largamente evidenciado na forma de ocupação do território empreendida até 1910. Cerca de 190 mil migrantes deixaram a região, impulsionados pela redução da renda per capita, retraída aos níveis de 1850. Apesar das medidas adotadas pelo governo no sentido de tentar conter o declínio da exploração do látex na região, através da implantação do Plano de Defesa da Borracha, de 1912, a desarticulação dos produtores e a baixa produtividade em relação aos produtores asiáticos impediram a retomada do crescimento da atividade até 1940. Como consequência desses acontecimentos os serviços e fornecimento de energia elétrica desenvolveram-se nesse período com objetivo de atender a uma pequena minoria de maior poder aquisitivo localizada nas principais capitais amazônicas, enquanto que os demais não tinham acesso a esse serviço básico.

Durante o período da Segunda Guerra Mundial com a invasão dos territórios da Malásia e Indonésia pelos japoneses, fez com que a exploração da borracha fosse reduzida, fato esse que favoreceu a exploração na Amazônia dando início ao segundo ciclo da borracha. É importante mencionar que antes do segundo ciclo da borracha, o crescimento econômico dessa região foi estagnado, dados que podem ser comprovados através da análise do crescimento da indústria da energia elétrica na Amazônia. O crescimento apresentado em 1920 foi de 46%, percentual bem inferior ao índice nacional que foi de 112%. A Tabela 1, mostra a evolução da indústria da eletricidade em três estados amazônicos, sendo destacado o número de empresas, usinas elétricas e potência instalada.

**Tabela 1 - Evolução da indústria de eletricidade na Amazônia (1920-1940)**

Estados	Nº de Empresas			Nº Usinas Elétricas			Potência Instalada		
	1920	1930	1940	1920	1930	1940	1920	1930	1940
Amazonas	3	9	28	3	10	30	1.751	2.824	4.489
Maranhão	2	10	14	2	10	14	264	1.320	2.550
Mato Grosso	7	10	17	8	10	21	967	1.413	4.554
Pará	4	16	48	4	16	51	4.998	6.998	14.751
Acre	2	4	9	4	7	9	143	197	283
<b>Total Amazônia</b>	<b>18</b>	<b>49</b>	<b>116</b>	<b>21</b>	<b>53</b>	<b>125</b>	<b>8.123</b>	<b>12.752</b>	<b>26.627</b>
<b>Total Brasil</b>	<b>306</b>	<b>1.009</b>	<b>1.617</b>	<b>343</b>	<b>1.211</b>	<b>1.914</b>	<b>349.604</b>	<b>778.802</b>	<b>1.247.753</b>
<b>Amazônia/Brasil</b>	<b>5,90%</b>	<b>5,20%</b>	<b>7,20%</b>	<b>6,10%</b>	<b>4,40%</b>	<b>6,50%</b>	<b>2,30%</b>	<b>1,60%</b>	<b>2,10%</b>

Fonte: CACHAPUZ (2006)

Fazendo uma breve análise na Tabela 1, a potência instalada entre 1930 e 1940 nos estados (Amazonas, Acre, e Pará) mostra a inversão ocorrida nas décadas anteriores, mostrando taxa de crescimento superior às demais regiões do Brasil, 94% contra 60%. (SANTOS, 2008) em seu trabalho afirma que esta diferença pode ser atribuída à promulgação do Código das Águas em 1934, que alterou sensivelmente as bases dos empreendimentos hidrelétricos e exigiu a revisão dos contratos vigentes antes de qualquer projeto de ampliação ou modificação do parque hidrelétrico.

Cachapuz (2006) relata que o estado do Acre contava com a participação de 09 empresas para um restrito parque gerador composto por 09 usinas térmicas com 283 kW de potência instalada. E de acordo com (SOUSA, 2000) o estado do Amazonas possuía em 1940 uma capacidade instalada total de 4.489 kW de potência exclusivamente de origem térmica, distribuída entre 28 empresas, sendo 30 usinas geradoras essencialmente térmicas. O estado do Pará apresentava em 1941 uma capacidade instalada de 14.751 kW, sendo 50 empreendimentos térmicos e 01 hidráulico controlado por 48 empresas.

Para Santos (2008), as modificações introduzidas no setor elétrico brasileiro durante o Estado Novo causaram impactos significativos na indústria de energia elétrica, consubstanciados na dificuldade de capitalização das empresas do setor, falta de máquinas e equipamentos necessários à expansão da geração e altas taxas de inflação vivenciadas no período.

O novo modelo institucional do setor, instaurado na década de 30, foi mais amplamente sentido na região Norte a partir da década de 50, após a implementação pelo Governo de Juscelino Kubitschek do Plano de Metas (1956-1961). A capitalização do setor elétrico propiciada pela entrada em vigor do Imposto Único sobre Energia Elétrica – IUEE possibilitou a criação de empresas públicas federais e estaduais, destinadas aos serviços de

geração, transmissão e distribuição de energia (DOMINGUES, 2003). Um fato importante a ser mencionado é que entre 1950 e 1970 foram criadas as concessionárias de energia elétrica na região Norte. Empresas essas que estão citadas abaixo:

- Centrais Elétrica de Manaus (CEM) criada em 1952, cuja finalidade era melhorar os serviços da *Manaos Tramways and Light Company Ltda.* Serviços que correspondiam à geração, transmissão e distribuição em toda cidade de Manaus. Em 1981 a Eletronorte passa a assumir o controle das operações da CEM e uma série de investimentos são feitos em Manaus.
- Companhia Energética do Amapá (CEA). Nesse período o estado do Amapá ainda era ordenado como território. A nova concessionária passa a ser responsável pelos novos empreendimentos de geração, transmissão e distribuição de energia dentro do espaço territorial. E sua principal atribuição foi a realização de estudos da construção da UHE Coaracy Nunes, no rio Araguari.
- Companhia Elétrica Matogrossenses S.A(CEMAT)- criada em 1956, por lei estadual. Essa empresa foi criada com a finalidade de gerar, transmitir e distribuir energia elétrica para a cidade de Cuiabá. De início essa companhia passou a gerenciar as UHEs Casca I e Casca II e pequenas termoelétricas existentes no Estado.
- Companhia Energética do Maranhão (CEMAR) – em 1958 por uma lei estadual, foi criada para fornecer o serviço de eletricidade no Maranhão, que antes era SAELPA (Serviço de Água, Esgoto, Luz e Prensa de Algodão).
- Centrais Elétrica do Pará (CELPA) – essa empresa foi criada em 1960 com o objetivo de implantar o 1º Plano Estadual de Eletrificação do Pará, além disso ela incorporou a *Para Electric Railways and Lighting Company Ltda.* e seqüencialmente com a fusão da FORLUZ (Força e Luz do Pará S.A) em 1969 e mais a incorporação da termoelétrica de Miramar. Após essa fusão essa companhia passou a atender todo o estado do Pará.
- Centrais Elétricas do Amazonas S.A (CELETRAMAZON) – através de iniciativa do governo estadual em 1963 foi criada essa empresa, a qual tinha como responsabilidade atender todo o estado do Amazonas com exceção da cidade de Manaus.
- Companhia de Eletricidade do Acre (ELETROACRE) - por uma lei estadual, em 1965, foi criada essa companhia, englobou todas as unidades térmicas do

município, e sua finalidade básica foi fornecer e distribuir energia elétrica em todo o estado do Acre.

- Centrais Elétrica de Rondônia S.A (CERON) - criada em 1968, por uma lei federal, sendo consolidada em 1969, cujo objetivo era gerar, transmitir e distribuir energia elétrica para Porto Velho. Essa empresa incorporou os serviços da (SAALFT) Serviço de Abastecimento de Água, Luz e Força do Território, a qual na época era responsável pelo serviço de eletricidade em Porto Velho e Guajará-Mirim.
- Centrais Elétricas de Roraima (CER) – foi criada em 1968 pela mesma lei federal que criou a CERON. Teve sua consolidação em 1969, cuja finalidade foi transmitir e distribuir energia elétrica para o Território de Roraima. Na atualidade é denominada de Companhia Energética de Roraima (CER).

Frota (2004), comenta que a partir dos anos 50, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu a taxas bastante elevadas, superior à taxa de crescimento econômico, fruto da rápida expansão da produção industrial e da extensão do suprimento elétrico a novas regiões do território nacional. Para suportar o desenvolvimento econômico do Brasil, fez-se necessário a criação de uma infra-estrutura de energia elétrica baseada na construção de usinas hidrelétricas de grande porte, concebidas para atender a mercados mais amplos, não mais restritos a um único Estado.

Sousa (2000), comenta que o período de 1961 a 1980 foi um dos mais tocantes para a região Norte, devido às medidas adotadas pelo poder público federal. Segundo o autor nesse período ocorreu a primeira grande tentativa de ocupação da Amazônia no ano de 1966, nas chamadas “Operações Amazônia”, no governo Castelo Branco. Nesse período foram criados órgãos como o Banco da Amazônia- BASA, Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, foram feitos investimentos na parte de infra-estrutura, através de construção e modernização dos sistemas de transporte e comunicação.

Entre 1961 a 1980 ocorreram muitas mudanças no cenário político brasileiro os quais tiveram reflexo na região amazônica dentre elas podemos citar a criação em 1967 da Zona Franca de Manaus, que proporcionou a instalação de várias indústrias na cidade de Manaus. Em 1970 é iniciada a construção da rodovia Transamazônica, segundo (FERRAZ, 1996; SOUSA, 2000) fazem o seguinte comentário sobre a situação na região sudeste do Pará na

década de 1970: *“Nos anos 70, esta região da Amazônia oriental foi tomada de assalto pelas políticas públicas ligadas ao processo de endividamento social do regime autoritário, com a implantação de mega-empreendimentos governamentais (rodovias, hidrelétrica de Tucuruí, linhas de transmissão e, mais recentemente, a ferrovia de Carajás), infra-estrutura para os investimentos multilaterais, concentrados sobretudo nos setores de exploração madeireira, mineração e metalurgia.”*

De uma associação da companhia Vale do Rio Doce com uma companhia japonesa C.Ithoh foi anunciado o projeto de instalação de uma fábrica de alumínio em Belém e a construção da hidrelétrica de Tucuruí.

Fato importante a ser abordado é que a evolução do setor elétrico entre 1961 a 1980 foi bastante notória, pois nesse período foi criado a Eletrobrás em 1961, a qual passou a assumir todo o papel de planejamento do setor elétrico, que antes era desempenhado pelo BNDE, além dessa função a Eletrobrás também assumiu a administração do Fundo Federal de Eletrificação. A partir daí foram criadas a CELETRAMAZON (Centras Elétrica do Amazonas S.A) em 1967, o DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) em 1965, criação do ENERAM (Comitê Coordenador dos Estudos Energéticos da Amazônia) em 1968.

Segundo Lima (1995), *“a partir de 1969, estabelece-se a estrutura básica da administração federal dos serviços de eletricidade que se mantém até o presente momento: de um lado, o DNAEE, órgão normativo e fiscalizador do setor de energia elétrica e, de outro, a Eletrobrás, empresa responsável pelo planejamento e execução da política federal de energia elétrica”*.

O ENERAM fez estudos sobre o aproveitamento dos rios da Amazônia para a geração de energia e que foram de suma importância. O ENERAM encerrou suas atividades em 06 de janeiro de 1972, (FROTA, 2004) cita que o prosseguimento dos estudos hidroenergéticos da Amazônia deveria ficar a cargo de entidades especializadas, subsidiárias da Eletrobrás, empresa essa que de certa forma integrada na problemática da região, fosse capaz de acompanhar a dinâmica de sua evolução. É nesse momento que a Eletronorte (Centrais Elétrica do Norte do Brasil S.A) é criada, tendo como área de atuação os Estados do Amazonas, Pará, Acre, os antigos territórios de Amapá, Roraima e Rondônia.

Nos anos de 1978 e 1980 o planejamento, a operação e a manutenção das pequenas unidades geradoras termoelétrica das cidades de Belém, Manaus, Porto Velho e Rio Branco, ficaram na responsabilidade da Eletronorte. Na cidade de Manaus essa empresa ficou

responsável também pelo sistema de distribuição de energia elétrica, tendo como intermediária a empresa (CEM).

Com o passar do tempo a área de atuação da Eletronorte foi mais abrangente, pois além dos Estados que ela já atuava, passou a atuar também nos Estados do Maranhão, Mato Grosso e Goiás. Essa mudança no espaço de atuação da Eletronorte aconteceu a partir de março de 1980, espaço esse que correspondeu a uma área de aproximadamente 5.000.000 km<sup>2</sup> (algo em torno de 58% do território brasileiro).

Com a criação da Eletronorte a mudança no cenário econômico da Região Amazônica foi visível, pois muitas empresas se instalaram nessa região. Fato importante a ser mencionado é que além de ser responsável pela geração de energia elétrica, a Eletronorte também passou a ser responsável pela geração, transmissão e distribuição, como o que aconteceu na cidade de Boa Vista (RR). Outro fato importante no contexto da história da Eletronorte é que ela incorporou todos os equipamentos de transmissão das Furnas Centrais Elétricas no Estado do Mato Grosso, os parques termelétricos de Manaus, Rio Branco, Porto Velho e Belém, sendo este último parque foi desativado após a interligação do nordeste paraense ao sistema Norte-Nordeste ocorrido no ano de 1981.

O Governo Federal fez investimentos gigantescos na ampliação e na recuperação dos parques geradores e nos sistemas de transmissão de energia na Amazônia. **(FROTA, 2004)** comenta que no período compreendido entre 1970 a 1990 foram construídos as usinas Hidrelétrica de Coaracy Nunes (AP), Tucuruí (PA), Balbina (AM) e Samuel (RO) e também foram recuperados os parques termoelétricos das capitais de Manaus, Rio Branco, Porto Velho e Belém.

Devido uma divisão que ocorreu na Eletronorte em 1990, foram criadas as empresas Manaus Energia S.A(MESA) e Boa Vista Energia S.A (BOVESA), as quais tinham como responsabilidade: produção, distribuição e comercialização de energia elétrica nas capitais de Manaus e Boa Vista. É importante comentar que essas duas empresas se transformaram em subsidiárias da Eletronorte.

A Figura 1 mostra como está dividido os estados com suas respectivas concessionárias estaduais e federais de energia elétrica que atuam no Brasil.



Figura 1 - Concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil  
Fonte: ANEEL (2002).

Souza (2000), analisou o papel do setor elétrico no âmbito das políticas de desenvolvimento para a região Norte, destacando quatro períodos ou ciclos de desenvolvimento distintos: de 1800 a 1920 (Primeiro Ciclo da Borracha – Do Apogeu à Crise da Exploração da Borracha e os Primeiros Empreendimentos Elétricos), de 1921 a 1960 (O Segundo Ciclo da Borracha e a Crescente Participação do Estado no Setor Elétrico), de 1961 a 1980 (Consolidação da Intervenção do Estado no Setor Elétrico Brasileiro e os Grandes Projetos de Infra-Estrutura na Amazônia) e de 1981 a 1996 (A Reestruturação do Setor Elétrico e seus Impactos nos Sistemas Isolados).

## 4.2 SISTEMAS DE ELETRIFICAÇÃO EM COMUNIDADES ISOLADAS DA AMAZÔNIA

Algumas comunidades pequenas da Amazônia brasileira, “muitas vezes isoladas”, são providas com energia elétrica de forma intermitente gerada por motores alimentados com óleo diesel. Nestas comunidades, a ausência de energia para uso doméstico, associa-se à carência de energia elétrica disponível para agregação de valor nos processos produtivos locais e

contribuiu para o insucesso na fixação das populações locais. Os autores utilizaram a qualificação de remotas para as comunidades e a qualificação de isoladas para a população, com significados semelhantes: agrupamentos humanos de baixa densidade populacional, com restrições ao uso de fontes de energia convencional (linhas de distribuição conectadas à geração centralizada), com infra-estrutura urbana deficiente, com baixo nível de atividade econômica. Exemplifica esta situação as comunidades estabelecidas fora das sedes dos municípios, muitas vezes distantes dos eixos de rodovias, outras estabelecidas em ilhas, outras assentadas pelos projetos de reforma agrária, outras assentadas em reservas extrativistas, bem como, comunidades indígenas. (ATHAYDE et al., 2001)

No estado do Amazonas o atendimento de energia elétrica no interior é realizado através de usinas termelétricas nos grandes municípios e através de grupo gerador elétrico nos vilarejos e nas comunidades isoladas, em ambos os casos a fonte de combustível e o óleo diesel. Teixeira (2006), comenta que essa forma de geração foi escolhida devido ao seu baixo custo de instalação e diversidade de combustível que podem ser utilizados com baixa manutenção das máquinas geradoras, porém o autor afirma que esse fato ao longo do tempo se revelou no mínimo contraditório a realidade desses locais.

Teixeira (2006) relata que atualmente é constante a falta de energia elétrica e grande parte das comunidades isoladas tem eletricidade apenas algumas horas por dia. Os geradores funcionam no limite de sua capacidade e, em sua maioria, com o tempo de operação ultrapassado. Ainda, a manutenção destes geradores torna-se muito difícil, devido à distância aos grandes centros.

Todos esses fatos citados, somados a dificuldade de acesso a essas regiões, tornam o sistema deficitário ao ponto de localidades ficarem semanas sem energia elétrica. Essas comunidades são muito prejudicadas, pois ficam impossibilitadas de, por exemplo, estocar alimentos perecíveis e de vender seus produtos nos centros urbanos da região.

A vida em comunidades isoladas são condicionadas por atividades que necessitam de energia, tais como suprimento de água, iluminação, comunicação, recreação, serviços de saúde, educação, suprimento de alimentos e atividades empresarias (FLOWER et al., 2000; MEINECKE, 2005) afirmam que “desde a revolução industrial a disponibilidade de energia tem sido o vetor para o desenvolvimento da civilização moderna”.

Na Figura 2, o gráfico adaptado de World Energy Outlook 2002 (Internacional Energy Agency, 2002) mostra o número de pessoas sem acesso a energia elétrica entre 1970 a 2000.

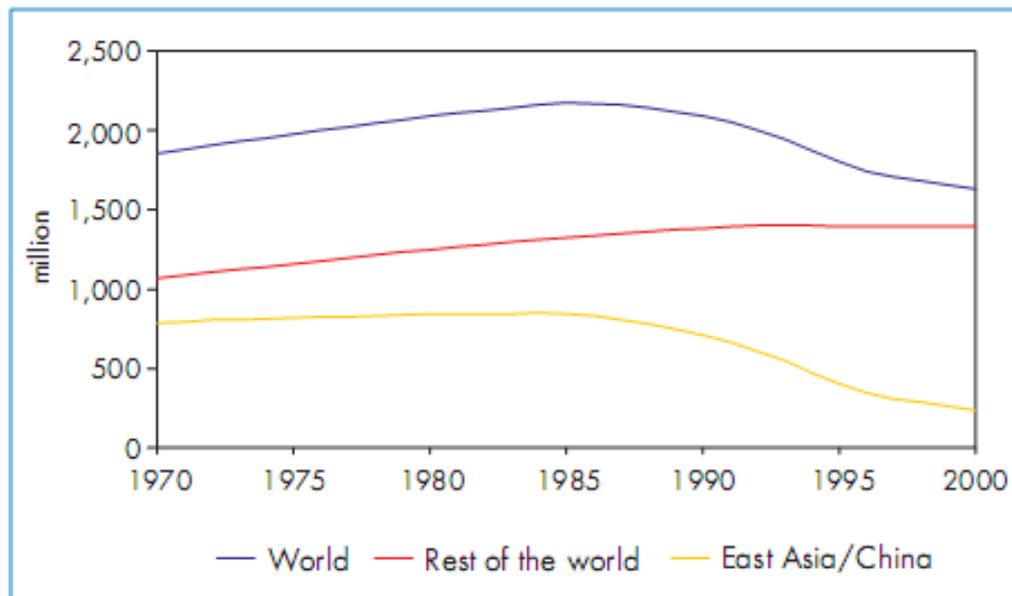


Figura 2 - Número de pessoas sem acesso a energia elétrica entre 1970 - 2000  
 Fonte: World Energy Outlook 2002 (International Energy Agency, 2002)

É importante atentar que a curva que representa o número de pessoas sem acesso a energia elétrica em regiões como: Oriente Médio, América Latina, leste da Ásia/China até 2030 apresentaram um declínio, por outro lado a curva que simboliza regiões sul da Ásia e África Subsaariana, apresentou um leve declínio em relação às demais regiões. Esse fato pode ser observado na Figura 3.

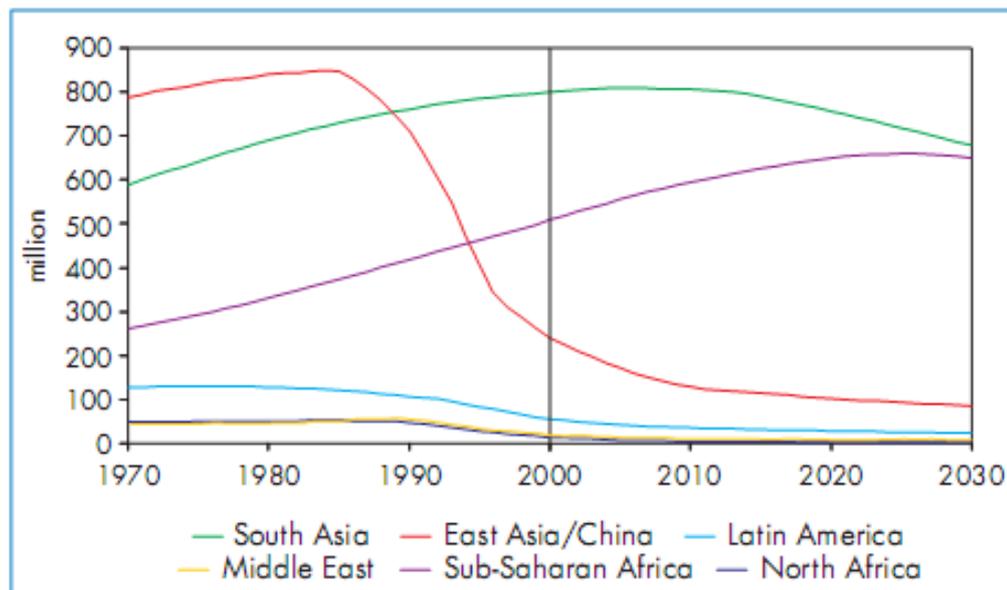


Figura 3 - Número de pessoas sem eletricidade, 1970-2030.  
 Fonte: World Energy Outlook 2002 (International Energy Agency, 2002)

As taxas de eletrificação e do número de pessoas sem eletricidade irá continuar a divergir significativamente entre as regiões. O número de pessoas sem eletricidade cairá ao

longo do período de projeção na China e no resto da Ásia Oriental, norte da África, América Latina e no Oriente Médio. Eles vão continuar a subir ligeiramente no sul da Ásia, tendo uma queda após 2010. Regiões como África subsaariana terão um aumento significativo em torno 2025. A maioria das pessoas sem acesso à eletricidade em 2030 ainda estará na África subsaariana (650 milhões) e sul da Ásia (680 milhões). Em todas as outras regiões, incluindo norte de África, a taxa de eletrificação global ultrapassará 96% e provavelmente será perto de 100% nas áreas urbanas. Em média, 75 milhões de pessoas terão acesso a eletricidade nos próximos 30 anos Figura 4.

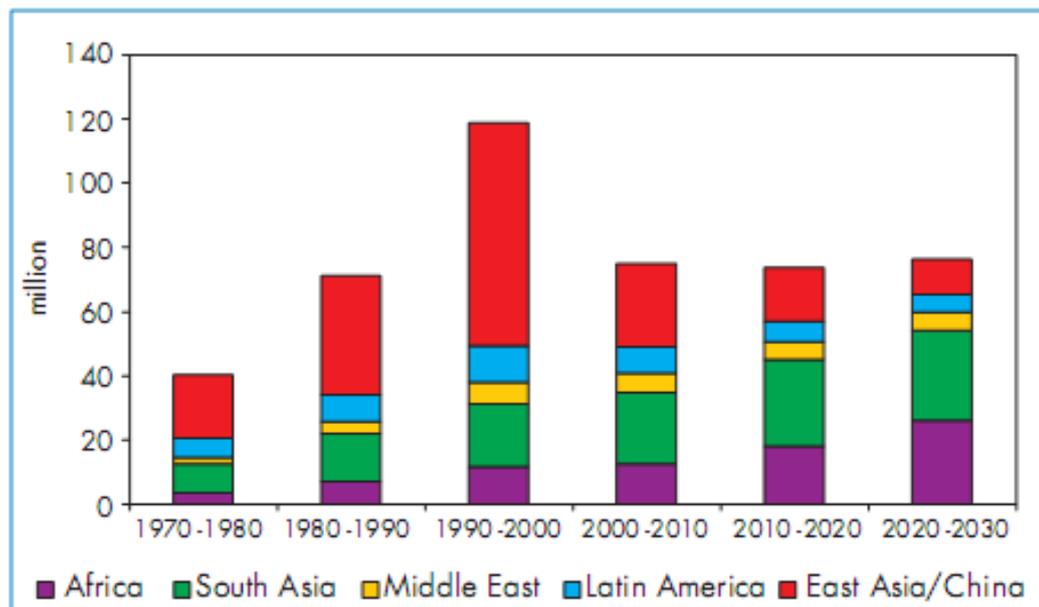


Figura 4 - Número médio anual de pessoas que terá acesso a energia elétrica.  
Fonte: World Energy Outlook 2002 (International Energy Agency, 2002)

A necessidade de atender comunidades isoladas com energia elétrica é um desafio enfrentado em todas as partes do planeta, desafio esse que apresenta diferentes aspectos, tais como: combustível, peças de reposição para os geradores, mão de obra para execução dos serviços de manutenção dos geradores e instalações de distribuição, aspectos esses que estão relacionados com a distância desses locais aos centros urbanos. Uma comunidade que não possui acesso a energia elétrica, quando comparada com comunidades que tem a possibilidade de utilizar esse benefício, está sujeita a condições de quase iniquidade devido à desigualdade injusta e evitável, como definida e comentada por Evans et al. (2002).

Domingues (2003), comenta que em função das características da Amazônia, o sistema elétrico da região não é único, contínuo e integrado. A grande extensão territorial e a

dispersão dos centros de carga constituem ainda impedimento para a existência de um sistema totalmente interligado.

Considerando atualmente os sistemas elétricos amazônicos podem ser classificados em três grandes grupos:

- Sistema Interligado da Amazônia
- Sistemas Isolados da Amazônia
- Potenciais consumidores ainda não atendidos por nenhum dos sistemas acima.

Para Coelho et al. (2004), a região amazônica brasileira apresenta o mais baixo índice de eletrificação rural do país, reflexo do modelo tradicional de fornecimento de eletricidade adotado no Brasil, este baseado na geração de grandes blocos de energia conectados à rede de transmissão. Esse autor também comenta que o modelo de eletrificação rural na Amazônia é composto predominantemente por sistemas isolados com diesel-geradores, solução esta que tem se revelado pouco satisfatória, na medida em que a aquisição e o transporte de óleo diesel para as localidades isoladas, assim como a manutenção dos equipamentos, têm um alto custo financeiro para o contexto da região. Como resultados existem espalhados pelo interior da região amazônica, uma grande quantidade de grupos diesel-geradores desativados devido à falta de combustível e manutenção.

A configuração do parque gerador isolado deve ser entendida à luz das modificações nos cenários econômico, social e político brasileiro e de seus impactos nas políticas de desenvolvimento da Amazônia. Uma leitura crítica dos diferentes ciclos de desenvolvimento na região Norte nos mostra que, de forma geral, a expansão de seu parque gerador não foi o resultado de políticas integradas de planejamento regional, mas, sobretudo, de ações do Governo Federal voltadas a projetos regionais de grande interesse de grupos privados – infraestrutura rodoviária e fluvial, exploração mineral, silvicultura e agropecuária – e objetivos estratégicos e de segurança nacional. Estas iniciativas, conforme apontado por Domingues (2003): “propiciaram a interiorização e a urbanização da região, mas não foram capazes de promover um desenvolvimento econômico e social similar ao verificado nas demais regiões do país”.

Coelho et al. (2005) diz que o modelo de fornecimento de eletricidade adotado no Brasil é baseado na geração de grandes blocos de energia conectados à rede de transmissão e povoamento esparso, como a região amazônica e algumas áreas da região Nordeste apresentam baixos índices de eletrificação rural uma vez que a extensão da rede para atendimento de poucos consumidores é economicamente inviável. De acordo com o Censo de

2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) “*2,5 milhões de domicílios brasileiros – cerca de 11 milhões de habitantes – não tinham acesso à energia elétrica*”.

Os sistemas isolados representam uma parcela muito pequena do mercado nacional de energia elétrica, atendendo a pequenas e médias comunidades localizadas principalmente na região Amazônica. As grandes distâncias, somadas ao difícil acesso e à baixa demanda de energia elétrica, fazem com que a geração nestes sistemas mantenha-se de forma descentralizada. Para Namoura (2007) o índice de eletrificação rural na Amazônia é muito baixo, com percentuais de não-atendimento superiores a 80%. No Amazonas, das 4.604 comunidades isoladas, apenas 32 são abastecidas de energia elétrica e o modelo adotado, apenas para as sedes municipais, é a geração térmica usando óleo diesel

Segundo (2009), afirma que o sistema isolado de energia é composto por pequenas centrais térmicas de energia e por unidades isoladas geradoras de energia utilizando óleo diesel, localizadas e dispersas na região Norte Figura 4.6. Sua produção representa aproximadamente 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país, o que equivale a 3.474,3 MW. Em contrapartida atende a uma área de aproximadamente 45% do território nacional e a cerca de 3% da população nacional, ou seja, aproximadamente 1,2 milhões de consumidores em outubro de 2008.

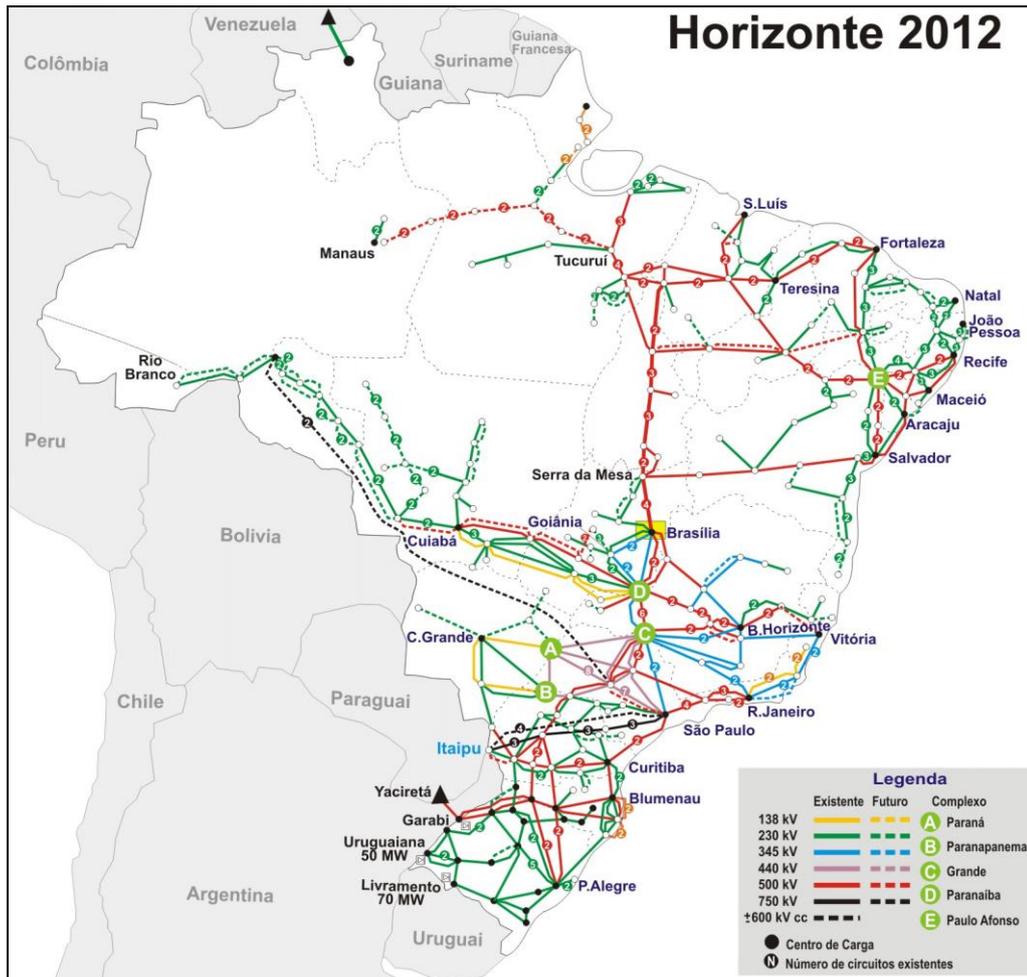


Figura 5 - Mapa do Sistema Interligado Nacional – Sistema de Transmissão horizontal 2012.  
Fonte: ONS (2010)

Os estados que compõe a região Norte são atendidos por dois sistemas de abastecimento elétrico: o SIN (Sistema Interligado Nacional) Figura 5 e os Sistemas Isolados Figura 6.

Um exemplo claro dessa variação no sistema de abastecimento elétrico, pode ser observado no Estado Pará, onde Belém e parte do interior do Estado são atendidas pelo SIN. A outra grande parte do interior do Estado, como é o caso da Ilha de Marajó, é atendida por Sistema Isolado através de usinas termoeletricas à base de óleo diesel. De acordo com Aneel (2005) os mais importantes Sistemas Isolados, do ponto de vista da dimensão do consumo são os que atendem às capitais da região Norte, como Manaus, Porto Velho, Macapá, Rio Branco e Boa Vista exceto Belém que está interligado ao SIN. Nos sistemas de Manaus, Porto Velho e Macapá, a geração de eletricidade é hidrotérmica. Em Rio Branco a geração local é puramente térmica, com o suprimento complementado por meio de interligação, em 230 kV ao sistema de Porto Velho. O sistema que atende Boa Vista e parte do interior do estado de Roraima passou a ser suprido pela energia importada da Venezuela, por meio de umas

interligações, em 230 kV, com o sistema de hidrelétrica de Guri, naquele país. A maioria dos sistemas do interior desses estados é suprida por unidades geradoras a diesel. Na Figura 6, pode ser observado como são localizadas as centrais elétricas que compõem os Sistemas Isolados.



Figura 6 - Mapa dos Sistemas Isolados

Fonte: ANEEL (2008)

Para as grandes e médias cidades das regiões Norte e Nordeste, não interligadas à rede do sistema interligado, o governo oferece um subsídio para que as concessionárias atendam na modalidade de sistema isolado, principalmente por meio das termelétricas. O subsídio é um mecanismo de compensação financeira, denominado Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC-Isol) que permite uma tarifa ao consumidor final semelhante à tarifa de outros locais do país. Contudo, o subsídio só atende fornecedores de energia (termelétricas) com capacidade mínima de 2 MW (ELS, 2005).

Segundo (2009), comenta em seu trabalho que o custo de eletrificação pela rede convencional é economicamente inviável em regiões com baixo nível de ocupação ou de industrialização, como é o caso dos municípios da ilha do Marajó. Essa limitação no abastecimento de energia constitui um dos principais entraves ao desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vida dessas regiões, uma vez que a geração termoelétrica, com base em combustíveis fósseis, deve ser rejeitada como base de incentivo ao desenvolvimento econômico, pelo seu grande impacto sobre o aquecimento global.

### 4.3 UTILIZAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL “IN NATURA” EM MOTORES DIESEL

A utilização comercial do óleo vegetal em motores diesel é recente. Entretanto, Rudolf Diesel, inventor do motor diesel, já sugeria a utilização de óleo de amendoim “in natura”. Em toda história da utilização do óleo vegetal, por diversas vezes os estudos foram interrompidos devido aos custos do petróleo que já atingia altos preços e depois estes se reduziam. Os preços recordes do barril de petróleo acima de U\$ 140,00 têm incentivado o desenvolvimento de novas tecnologias para a utilização do óleo vegetal nos motores diesel. (INOUE, 2008)

Em relação aos países do primeiro mundo, o Brasil apresenta vantagens no que tange as áreas agricultáveis, as espécies que podem ser cultivadas ou exploradas de forma sustentável, além das características climáticas que favorecem o país. Iica (2007), afirma que em termos de área, o Brasil explora menos de um terço de sua área agricultável, o que constitui a maior fronteira para exploração agrícola do mundo. O potencial é de cerca de 150 milhões de hectares, sendo 90 milhões referente às novas fronteiras, e os outros 60 milhões referentes às terras de pastagens que podem ser convertidas em exploração agrícola em curto prazo.

Pianovski (2002), cita que na década de 20, no então Congo Belga empregou-se óleo de palma para operar motor Ruston, não se verificando anormalidade alguma em seu funcionamento, embora o consumo específico tenha aumentado aproximadamente 30% comparado ao do óleo diesel. Outra experiência com caráter de longa duração, ocorreu durante a construção do porto de Abijan na Costa do Marfim, quando alguns motores diesel de 40 à 800 CV de potência foram operados satisfatoriamente com óleo de palma. Assim como, na Índia, em 1940, onde cerca de uma dezena de óleos vegetais in natura foram

testados em motores diesel, sendo estes de curta e de média duração, por período de até 50 horas. Ao final do teste foi observado que a maior formação de resíduo de carbono, ocorreu principalmente nos bicos injetores. Em 1949, o Instituto de Pesquisa de Óleos e Óleaginosas da França concluía, após a realização de testes em motores diesel de 4 cilindros, que o óleo de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) se apresentava muito bem como combustível para tais motores e que as potências desenvolvidas eram aproximadamente iguais, quer se usasse óleo diesel ou óleo de pinhão.

No final da década de 70 e na primeira metade da década de 80 várias pesquisas foram feitas no Brasil, no escopo do programa governamental OVEG, visando à substituição do óleo diesel por óleo vegetais em motores automotivos. Via de regra, os resultados não foram considerados compensadores. Conclui-se que, para se obter uma operação confiável, seria necessário utilizar motores especiais (como o Elsbett) ou efetuar transformações de grande monta no óleo vegetal. A transformação tida como mais viável, neste caso, é a transesterificação. Trata-se da reação do óleo vegetal com álcool metílico ou etílico, obtendo-se um éster comumente denominado de biodiesel. No processo, utiliza-se 20 a 30 litros de álcool para cada 100 litros de óleo vegetal, obtendo-se 100 litros de biodiesel e um resíduo composto basicamente por glicerina. Devido às dificuldades e custos associados às soluções em vista, e devido à estabilização dos preços de derivados de petróleo em níveis aceitáveis, considerou-se que não valia prosseguir no programa de substituição do diesel pelo óleo vegetal. (SOARES et al., 2000)

Fonseca (2007) fez teste com três diferentes motores, sendo o primeiro um motor veicular de uma Kombi, o segundo um grupo gerador MWM D225-4 e por fim um grupo gerador Multi Fuel 4RTA-G da AMS. Os grupos geradores MWM não necessitaram de nenhum ajuste para a operação com o óleo palma. Em relação ao motor veicular, por sua complexidade, foi necessária a utilização de um óleo de palma um pouco mais fino, denominado de oleína. A oleína é obtida por fracionamento natural do óleo de palma refinado. O fracionamento natural consiste em operações de resfriamento e filtração sem uso de aditivos químicos. Ao final dos testes o autor fez a comparação entre o óleo diesel e o óleo de palma. Observando que existia uma semelhança de valores entre o poder calorífico superior do óleo diesel e do óleo de palma, (10715 kcal/kg – óleo de palma e 10840 kcal/kg – óleo Diesel) o índice de cetano (aproximadamente 40 para o óleo de palma e aproximadamente 45 para o óleo Diesel). Outra observação feita pelo autor foi no teor de enxofre, tendo o óleo de palma 11 vezes menos enxofre que o óleo diesel.

Torres (2003) apresenta os resultados dos testes com um motor com cargas variadas usando o óleo de palma filtrado, como combustível para os motores diesel. Este teste foi realizado com um motor de ciclo diesel da marca Agrale modelo M-80 e um dinamômetro de marca Shenck, com controle eletrônico. O motor possui refrigeração a ar, 4 tempos, CV de injeção indireta, este sistema de injeção introduz o combustível sob forma de jato pulverizado na pré-câmara de combustão. Foi adotada uma rotação constante e a variação da carga de 50% até 100% com o monitoramento dos seguintes parâmetros: rotação do motor; torque; consumo de combustível; temperatura dos gases de escape; temperatura do cabeçote; potência; temperatura do ar de refrigeração; nível e coloração do óleo lubrificante; gases de escape e vibração. Com a utilização do óleo de palma a máxima potência atingida pelo motor, em plena carga, foi de 6,74 CV. Isso corresponde a uma queda de aproximadamente 4% da máxima potência atingida, com a mesma carga, com o motor utilizando óleo diesel. Na Tabela 2, são apresentados alguns valores dos parâmetros medidos em função da carga.

**Tabela 2 - Parâmetros medidos em função da carga.**

	Carga de 50%	Carga de 75%	Carga de 100%
Potência	entre 2 e 3,53 CV	entre 3,14 e 5,14 CV	Entre 4,19 e 6,74 CV
Consumo específico	entre 0,271 e 0,303 kg/CVh	entre 0,247 e 0,259 kg/CVh	entre 0,235 e 0,272 kg/CVh
Temperatura do cabeçote	entre 104 e 109 °C	entre 118 e 126 °C	entre 112 e 136 °C
Temperatura dos gases de escape	entre 191 e 250°C	entre 236 e 318°C	entre 318 e 411°C

Fonte: Torres, 2003

Pode-se notar que a potência máxima atingida está entre 5 e 15 % abaixo da potência dada pelo fabricante, porém este fato pode estar relacionado com a idade do motor, uma vez que não foi utilizado um motor novo.

Em seu estudo, Soares et al. (2000), avaliou o funcionamento de um grupo gerador diesel convencional utilizando como combustível o óleo de palma (dendê) in natura. Os testes foram realizados com um grupo gerador de 60 kW de potência nominal com um motor, de injeção direta (sistema de injeção onde o combustível é diretamente injetado sobre a cabeça do pistão mediante um bico injetor com um ou vários pequenos furos). No grupo gerador foi utilizado o óleo de palma como combustível, porém, antes e após o uso desse óleo, o grupo gerador era operado com óleo diesel para limpeza dos bicos injetores e cabeçote e amaciamento do motor.

O motor foi testado durante 400 horas sendo que nas primeiras 50 horas e nas últimas 50 horas rodou-se com óleo diesel para uma limpeza do motor, isto foi feito para retirar possíveis resíduos depositados pelo óleo de palma. Foram monitorados alguns parâmetros do motor, dentre os quais: temperatura do combustível; temperatura do óleo lubrificante; temperatura da água de refrigeração; temperatura dos gases de escape; consumo de combustível e potência fornecida.

Como o óleo de palma possui uma viscosidade muito mais elevada que a do óleo diesel foi necessário o pré-aquecimento do mesmo para a diminuição desta viscosidade. Primeiramente aqueceu-se o dendê até uma temperatura de 55°C. Nesta temperatura ocorreu uma carbonização acentuada nas pontas dos bicos injetores, porém sem qualquer obstrução dos orifícios de injeção e sem prejuízo no seu funcionamento. Quando o óleo de palma foi aquecido a 100°C, o consumo específico ficou menor, porém, ocorreu um problema de vedação nos bicos injetores. Isto ocorreu porque parte da resina adesiva contida no combustível foi dissolvida, sendo carregada para os bicos injetores. Foi constatado que a temperatura ótima para a operação com óleo de palma é de 80°C, pois a esta temperatura o consumo específico ficou bem próximo ao consumo específico do diesel e não houve problema nos bicos injetores. Uma das principais características do uso de óleo de palma para a geração de energia foi a perda de potência do motor em cerca de 10%. O uso do óleo de palma causa a contaminação do óleo lubrificante. Esta desvantagem pode ser suprida simplesmente trocando-se o óleo num intervalo de tempo inferior. Intervalo esse reduzido de 200 horas para 100 horas e assim, o custo de manutenção aumenta. O custo de operação utilizando o óleo vegetal é viável caso o custo do óleo for de 25% menor que o custo do diesel e com a utilização do gerador com uma potência relativamente alta, algo em torno de 100 kW ou se o gerador for utilizado em localidades distantes, aonde o transporte do diesel se torna um empecilho para a utilização deste combustível.

Silva (2004), tratou da utilização do óleo vegetal em regiões isoladas, que não possuem eletrificação, visando uma sustentabilidade econômica e melhoria social de uma comunidade isolada no Pará, onde existe apenas um gerador para o fornecimento de energia elétrica para 700 moradores. A vantagem da utilização do óleo vegetal nesta região se dá, primeiramente, pela dificuldade de acesso à comunidade. As embarcações que acessam a comunidade utilizam óleo diesel como combustível, com isso há aumento nas despesas do combustível, resultando em gasto adicional do diesel. Outra vantagem é a facilidade de exploração do dendê na região.

Para os testes foi desenvolvido um kit para a utilização do óleo de palma, cujo funcionamento é de fácil compreensão. Inicialmente aquece-se o óleo de palma a uma temperatura de 60°C para que possa ser aspirado pela bomba. Em seguida, após ser filtrado, o óleo entra no tanque de pré-aquecimento onde terá a sua temperatura elevada, através do uso da água de refrigeração do motor. Após passar pela válvula de três vias o óleo vegetal ficará no reservatório da mistura de onde será inserido no motor. É nesse reservatório que o óleo terá a sua temperatura elevada até o ponto final de operação, em torno de 90°C, o que facilita sua combustão, já que nesta temperatura, o óleo bruto tem sua viscosidade reduzida para as condições de utilização.

Estes testes mostraram que as emissões com o óleo de palma foram bem semelhantes às emissões do óleo diesel. Alguns gases tiveram suas emissões reduzidas em relação ao diesel, como é o caso do óxido de nitrogênio. Um aspecto fundamental com relação às emissões é a ausência de óxidos de enxofre na combustão do óleo de palma.

Pimentel (2002), objetivou a análise teórica e prática do desempenho, emissões e problemas operacionais de motores diesel estacionários operando com óleo vegetal in natura, como combustível e comparando com os resultados apresentados com o motor operando com óleo diesel. Uma das vantagens da utilização do óleo vegetal como combustível nos grupos geradores nos locais isolados é a captura do CO<sub>2</sub> pela planta oleaginosa para o processo de fotossíntese, o que diminui o balanço global da emissão deste gás na atmosfera. O estudo foi feito levando-se em consideração o uso do óleo de Buriti, planta nativa da região amazônica ocidental e da qual se obtém uma baixa produtividade de óleo. Existem outras plantas das quais se podem extrair mais ou menos óleo, como, por exemplo, a soja da qual é possível se extrair 500 quilos de óleo vegetal/ha/ano ou o dendê cuja extração pode ser de 6.000 quilos de óleo vegetal por hectare por ano.

O experimento foi realizado durante 350 horas e foram observados os depósitos provenientes da combustão, do débito do combustível, os efeitos do avanço da injeção e temperatura do ar de admissão sobre as emissões e sobre o desempenho do motor, bem como, as emissões dos gases poluentes. Os teores de CO tiveram variação de 0,08% do diesel para o óleo de palma, o CO<sub>2</sub> apresentou variação de 0,07% do diesel para óleo de palma. Já os hidrocarbonetos a variação foi de 150 ppm para quase zero. Todos esses valores são para o débito de combustível de 16 ml/min.

Com relação às taxas de compressão, o estudo mostrou um decréscimo de emissão de CO e HC com o aumento da taxa de compressão, o monóxido de carbono apresentou variação

de 0,04% para 0,03%, já o hidrocarbonetos variaram de 120 ppm para 50 ppm com o motor rodando com óleo de palma. A alteração na taxa de compressão foi de 11,91:1 para 12,39:1. Em relação ao CO<sub>2</sub> mostrou um aumento de 8,6% para 9,0%. Houve um aumento da potência em relação ao aumento da taxa de compressão no motor com a utilização de diesel e óleo de palma.

Com aumento do avanço na injeção de combustível a potência nominal com os dois óleos também aumentou, porém o consumo específico diminuiu. Os níveis de CO com o motor utilizando o óleo de palma também não sofreram nenhuma alteração com o aumento do avanço da injeção, mas os níveis com óleo diesel diminuíram. Outro fator analisado foi a temperatura de aquecimento do óleo de palma a 85°C, o que fez com que a sua viscosidade ficasse próxima do diesel. Tendo como consequência a redução na formação de depósito.

Em relação a emissões de CO, os motores utilizando óleo de palma tiveram emissões parecidas com as do diesel quando as cargas eram de 75 e 100%. Uma vez utilizadas cargas menores, 25 e 50%, a emissão de CO com o óleo de palma ficou abaixo do óleo diesel. Já o NO<sub>x</sub> apresentaram um maior valor quando o motor operava com diesel em relação ao motor operando com óleo de palma. Os hidrocarbonetos não queimados (HC) também apresentaram uma queda com o motor operando com óleo de palma e com o aumento da carga.

Puggzhadivu et al. (2005), utilizou óleo de girassol reaproveitado da cozinha como combustível do motor diesel. A experiência utilizou o óleo de girassol aquecido a temperaturas de 75°C e 100°C e também à temperatura ambiente de 30°C. O experimento mostrou que a viscosidade do óleo de girassol se aproxima da viscosidade do óleo diesel à uma temperatura de 135°C e, com essa temperatura, obteve os resultados mais próximos ao diesel. Neste estudo foram comparados as emissões de NO<sub>x</sub>, CO e fumaça com os óleos de girassol aquecidos ou não, com o óleo diesel. A emissão de NO<sub>x</sub> foram maiores para o diesel do que com óleo de girassol, mesmo sem estar aquecido. O monóxido de carbono foram maiores para motor funcionando com óleo de girassol do que com óleo diesel.

A emissão de fumaça foi ligeiramente superior com o óleo de girassol como combustível em comparação ao óleo diesel. Um dos possíveis motivos deste fato foi a pobre volatilidade do óleo de girassol, ocasionando uma combustão incompleta com esse combustível. De acordo com este estudo, é possível a reutilização do óleo de girassol excedente da cozinha na utilização de combustível para o motor diesel.

O trabalho de Ramadhas et al. (2004), mostrou os vários experimentos realizados nos últimos anos utilizando óleos vegetais como combustível para os motores diesel e também enumera as diversas vantagens da utilização do óleo vegetal, como combustível em motores na Índia. Entre essas vantagens podem-se mencionar: produção doméstica do óleo vegetal ajudando na redução do custo da importação do petróleo; desenvolvimento da indústria de biodiesel fortalecendo a economia agrícola rural; é biodegradável e atóxico e pode ser utilizado sem modificação no motor. Esse trabalho também mostra os desafios para a utilização dos óleos vegetais. Entre eles estão: preço do óleo vegetal depende do preço do insumo; compatibilidade com materiais dos motores e dificuldade em se trabalhar em climas frios.

Em seu trabalho, Altin et al. (2001) descreveu comparações entre diversos tipos de óleo originados das oleaginosas com o óleo diesel na utilização dos mesmos como combustíveis para um motor a diesel. Foram utilizados diferentes óleos e em alguns casos os óleos em questão tiveram um rendimento térmico muito próximo do óleo diesel e em outro, o rendimento ficou melhor que o próprio diesel. Dentre esses podemos destacar o óleo de colza, com o qual o motor teve sua potência reduzida em somente 3% em comparação à potência com óleo diesel. Em relação à emissão de gases na atmosfera, os óleos derivados das oleaginosas ficaram com os menores índices em relação ao diesel. Dos novos óleos testados, 100% obtiveram uma menor emissão de  $\text{NO}_2$  do que o óleo diesel, isto com uma rotação de 1.300 rpm e um torque constante de 35 Nm. Em relação ao dióxido de carbono, metade dos óleos utilizados na experiência teve emissões menores que a do diesel. No que diz respeito ao desempenho do motor, houve uma pequena queda de rendimento com a utilização dos diversos óleos em comparação ao óleo diesel, onde a maior diferença ficou na ordem de 20%. Em comparação aos outros gases e poluentes, 100% dos óleos utilizados teve maiores valores nas emissões de monóxido de carbono e também nos valores de opacidade em comparação ao óleo diesel.

Para Kaltner (2004), os principais problemas no uso de óleo vegetais nos motores diesel são: a dificuldade de partida a frio em razão da elevada viscosidade dos óleos vegetais; a formação de goma nos bicos injetores; desgaste dos componentes da bomba injetora devido à acidez do óleo; e a formação de depósitos de carvão na câmara de combustão, nos cilindros e nas válvulas de admissão e escape. A viabilidade na utilização de óleo vegetal “*in natura*” só é possível mediante alguns cuidados e fazendo algumas adaptações no motor com a finalidade de melhorar a injeção do combustível, ou em mistura com óleo diesel em

proporções previamente analisadas. A utilização direta de óleos vegetais em motores à diesel causa grandes problemas em função de sua alta viscosidade e baixa volatilidade. A alta viscosidade é responsável pela pobre atomização e combustão incompleta do óleo, gerando a formação de depósitos de carbono nos bicos injetores.

Para Inoue (2008), a utilização de óleo vegetal em nível de 100%, é necessário reduzir a sua viscosidade por meio de aquecimento. Este aquecimento pode ser feito por meio de resistência elétrica instalada no reservatório de combustível, cujo sistema é comercializado em alguns países da Europa, ou por outro sistema adaptados ao motor que utilizam como fonte de calor os fluidos do sistema de arrefecimento e dos gases de escape.

Os óleos vegetais “in natura” apresentam melhores resultados quando utilizados em motores de injeção indireta, pois os motores de injeção direta são mais exigentes quanto à qualidade do combustível. Salama (1982). Já o uso de óleos vegetais como substituto do óleo diesel tem sido alvo de pesquisas nacionais e internacionais há muitos anos. Por possuírem alto índice de cetano e um poder calorífico elevado, teoricamente, seu uso in natura se presta bem para a queima em motores do ciclo diesel, como pressupunha o próprio inventor deste motor, que em 1900 apresentou um modelo capaz de queimar óleo de amendoim. O consumo específico do óleo diesel é menor que os outros óleos. Isto ocorre devido ao poder calorífico do diesel, que é o maior entre todos os óleos. Porém, o óleo derivado do milho teve seu consumo específico muito próximo do óleo diesel por volta de 250g/kWh em comparação aos 245g/kWh do óleo diesel. Este trabalho descreve também o custo elevado dos óleos vegetais em relação ao diesel, porém em comunidades isoladas, onde existe uma dificuldade de obtenção do diesel, os valores ficam equiparados devido ao fato de o diesel ser usado como combustível e também nos meios de transporte.

Concluindo, tem-se a convicção que o óleo de palma *in natura*, uma vez que seja degomado, neutralizado e desidratado, poderá funcionar perfeitamente, com um nível de manutenção bastante razoável do motor. Muito provavelmente será mais vantajoso, principalmente em comunidades isoladas na Amazônia.

#### 4.4 TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS (KITS DE ADEQUAÇÃO)

Foram identificadas 05 tecnologias diferentes. As produzidas pelas empresas alemãs BioCar - Pflanzenöl Statt Diesel ([www.biocar.de](http://www.biocar.de)), Elsbett AG - Pflanzenöl Motor Umrüstung

Rapsöl Motor ([www.elsbett.com](http://www.elsbett.com)) e Wolf Pflanzenöltechnik ([www.wolf-pflanzenoeltechnik.de](http://www.wolf-pflanzenoeltechnik.de)), pela americana Greasecar Vegetable Fuel Sistem (<http://greasecar.com>), pela brasileira Fendel Tecnologia (<http://www.fendel.com.br>) e pela instituição francesa Cirad ([www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)).

Entre as tecnologias já desenvolvidas, qual a que tem a maior possibilidade de promover um alto desempenho do motor diesel operando com óleo vegetal in natura. Esse sistema adaptador tem automação na troca de óleo diesel para óleo vegetal, e vice versa, é capaz de facilitar a partida e a parada do grupo gerador, alternando nesses momentos o suprimento de combustível para o motor entre o óleo vegetal e o diesel para melhoria do sistema de limpeza do sistema de alimentação e retorno de combustível.

O kit de adequação construído pela **BioCar** apresentado na Figura 7, foi utilizado em um trabalho semelhante desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (**CENBIO**). Conhecido por Projeto **PROVEGAM**, “Implantação e teste de uma unidade de demonstração de utilização energética de óleos vegetais”, foi instalado e testado em condições operacionais de campo, o funcionamento de um motor diesel convencional, adaptado para operar com óleo de palma in natura na comunidade Vila Soledade, município de Mojú-PA.

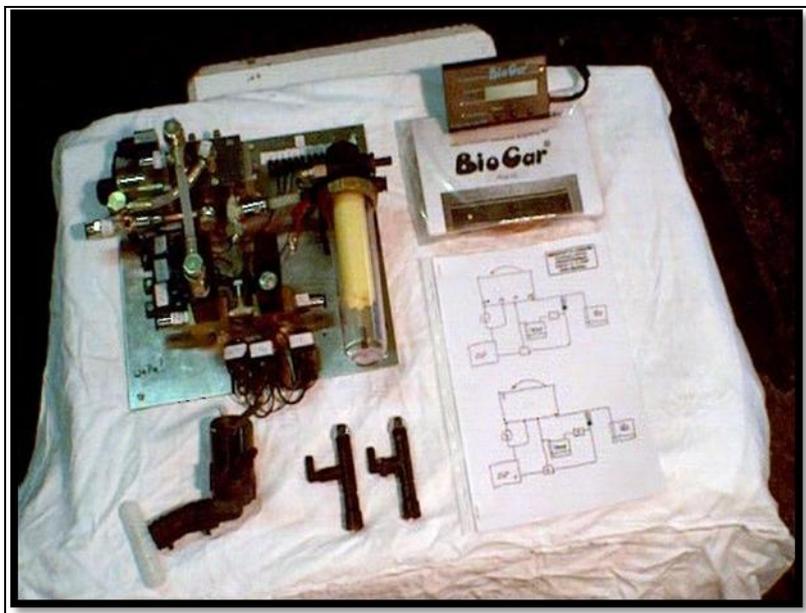


Figura 7 - Componentes do kit de adequação da BioCar.

Porém, o kit da BioCar apresentou ineficiência na admissão do óleo na bomba injetora devido a baixa temperatura de pré-aquecimento, havendo perdas de calor em várias áreas do kit, principalmente na área do filtro e na área da resistência de entrada da bomba. Em pouco tempo, verificou-se perda de potência do motor e entupimentos nas válvulas solenóides de

controle e direcionamento de fluxo do sistema conversor. Os valores de temperatura ajustados pela BioCar não foram suficientes para diminuir a viscosidade do óleo de palma a ponto de possibilitar o monitoramento do consumo, através do medidor de consumo de combustível. A viscosidade do óleo nestas condições provocou perda de carga no equipamento a ponto de causar restrição no fluxo de combustível e conseqüente perda de potência no motor; além disso, as temperaturas de aquecimento utilizadas (65°C) no óleo de palma estão abaixo daquelas que proporcionam uma otimização do desempenho do motor operando com óleo de palma, ou seja, 85° a 90°C. Logo, devido esses resultados insatisfatórios foi descartada a possibilidade de uso da tecnologia desenvolvida pelo BioCar Figura 8.

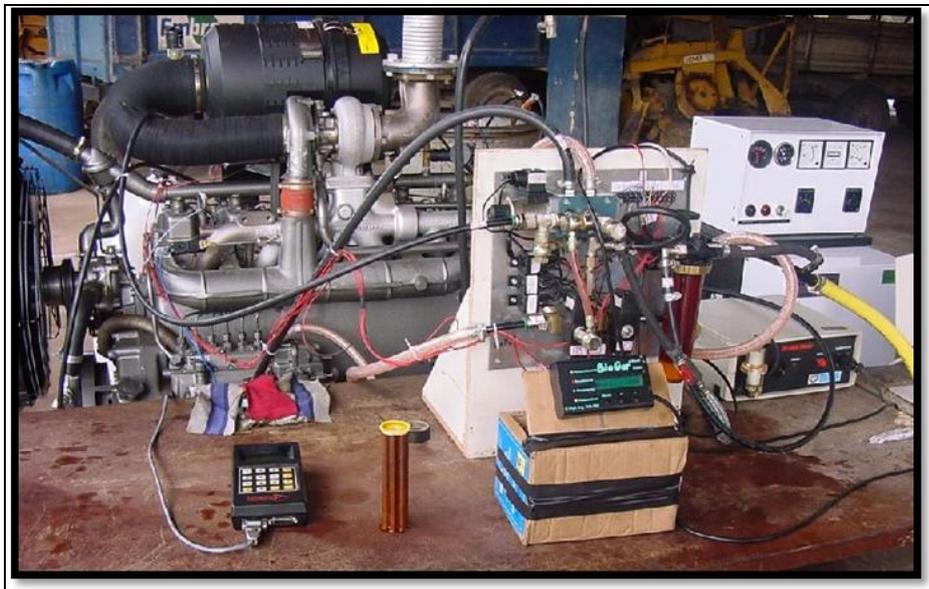


Figura 8 - Sistema automático de troca de combustível desenvolvido pela Biocar para o projeto Provegam do CENBIO.

A tecnologia desenvolvida pela **Elsbett AG**, sendo mais voltada para motores veiculares de passageiros como apresentado na Figura 9 e agrícolas na Figura 10, não fornece quaisquer componentes (por exemplo: injetores), no caso de motores modernos com injetores e bombas, que alterem a combustão no motor. Nos motores convertidos ao sistema de dois depósitos pela Elsbett foi comprovado através de medições da pulverização executadas em colaboração com a Universidade de Edimburgo com o recurso a laser Doppler, que a pulverização com o funcionamento a óleo vegetal é praticamente idêntica à pulverização com diesel. Uma condição prévia, no entanto, é que o motor e o combustível tenham atingido a temperatura de funcionamento. Quando o combustível está frio a pulverização tem um aspecto completamente diferente.



Figura 9 - Kit da Elsbett AG desenvolvido para motores veiculares de passageiros.

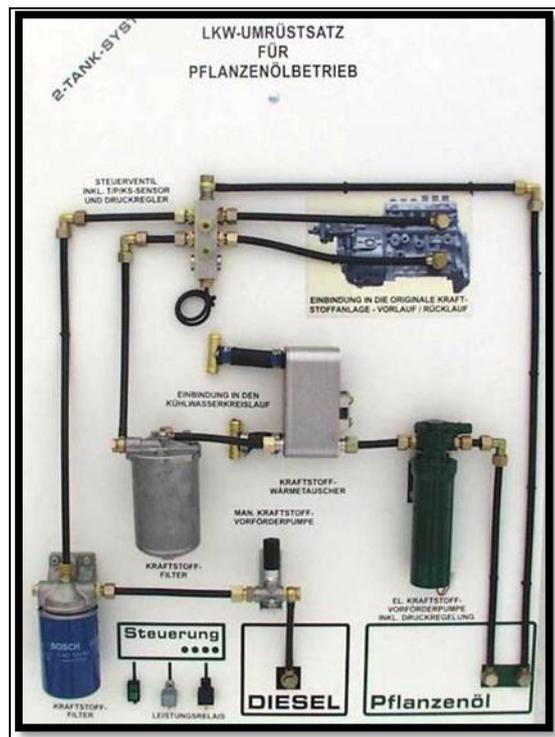


Figura 10 - Kit da Elsbett AG desenvolvido para motores agrícolas.

O sistema de dois depósitos da Elsbett dispõe de um depósito adicional de combustível diesel para o arranque a frio e o aquecimento do motor. Quando o motor atinge uma determinada temperatura, a passagem para óleo vegetal, que se encontra no depósito de

origem do veículo e que serve de combustível durante a viagem, é feita automática ou manualmente.

O kit de conversão para um veículo de passageiros com dois depósitos contém o seguinte pacote de elementos: um pequeno depósito adicional, eventualmente velas de incandescência, um filtro de combustível suplementar, bombas elétricas de combustível, um permutador de calor hidráulico para o combustível, interruptor termostático, comutador, relé, suporte de relé, dutos de combustível e de água de arrefecimento, conjunto de cabos, manual de montagem e manual de utilização. Porém, devido a Elsbett não possuir resultados para motores estacionários, nem com uso de óleos vegetais de alta viscosidade seus kits também foram preteridos.

No caso da empresa alemã **Wolf Pflanzenöltechnik**, insuficientes informações foram levantadas a respeito dos kits desenvolvidos. Vários contatos foram tentados na esperança de obtenção de resultados de desempenho de motores convertidos, porém nenhum retorno foi conseguido.

Situação semelhante à Elsbett e a Wolf Pflanzenöltechnik, ocorreu com o levantamento de informações sobre os equipamentos desenvolvidos pela **Greasecar Vegetable Fuel System** Figura 11. Larga experiência em motores veiculares com óleos de baixa viscosidade, porém poucas informações a respeito de resultados de desempenho, emissões ou controle automático na troca de combustível.



Figura 11 - Equipamentos desenvolvidos pela Greasecar Vegetable Fuel System.

Já o kit de conversão desenvolvido pela **Fendel Tecnologia** ainda encontra-se em desenvolvimento Figura 12 e não possuem experiência nenhuma com óleo de palma, mas segundo informações fornecidas o kit serve para qualquer motor diesel na faixa de 50 a 200 HP. O rendimento, a potência e o consumo se mantêm aproximadamente o mesmo, com uma variação de 10% para mais ou para menos. Com relação à troca de óleo, recomenda-se ficar de olho no nível e consistência e utilizar um óleo mais barato, trocando com mais frequência. O kit básico Figura 13, de 50 a 500 HP é constituído de filtro trocador de calor, duas bombas elétricas, dois interruptores, lâmpada de 50W e instruções de montagem. Não incluso no kit: mangueiras, conexões, cabos, conectores, suportes, tanque auxiliar, abraçadeiras, etc. Como kit está em fase de desenvolvimento e não foi possível a obtenção de dados técnicos de seu funcionamento, essa foi outra possibilidade descartada.

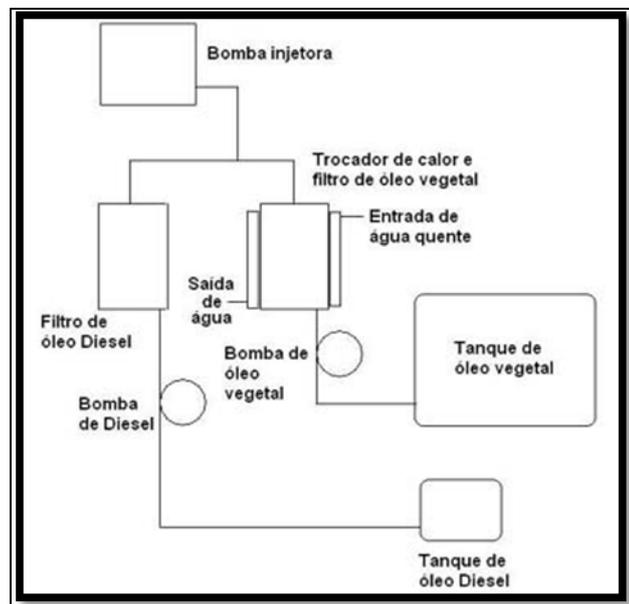


Figura 12 - Esquema hidráulico do kit desenvolvido pela Fendel Tecnologia.



Figura 13 - Componentes do kit de adequação da Fendel Tecnologia.

## 5 FORMULAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 RENDIMENTO DO GRUPO GERADOR

Denomina-se grupo gerador ao conjunto de motor diesel e gerador de corrente alternada (alternador) destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo diesel. Para entender melhor o processo a seguir é descrito de forma simplificada o funcionamento do grupo gerador.

Primeiramente o combustível (óleo diesel ou óleo vegetal) é introduzido ao motor de combustão pela bomba injetora onde posteriormente apenas uma parcela da energia contida no combustível é convertida em força motriz. Esta é transmitida por um eixo ao alternador onde é transformada em energia elétrica como ilustrado na Figura 14.

O rendimento do grupo gerador não foi avaliado de forma separada como motor e gerador, ao contrario foram considerados os equipamentos como um conjunto, dessa maneira o rendimento do grupo gerador foi calculado em função de toda a energia térmica entregue relacionada com a quantidade de energia elétrica fornecida pelo grupo gerador.

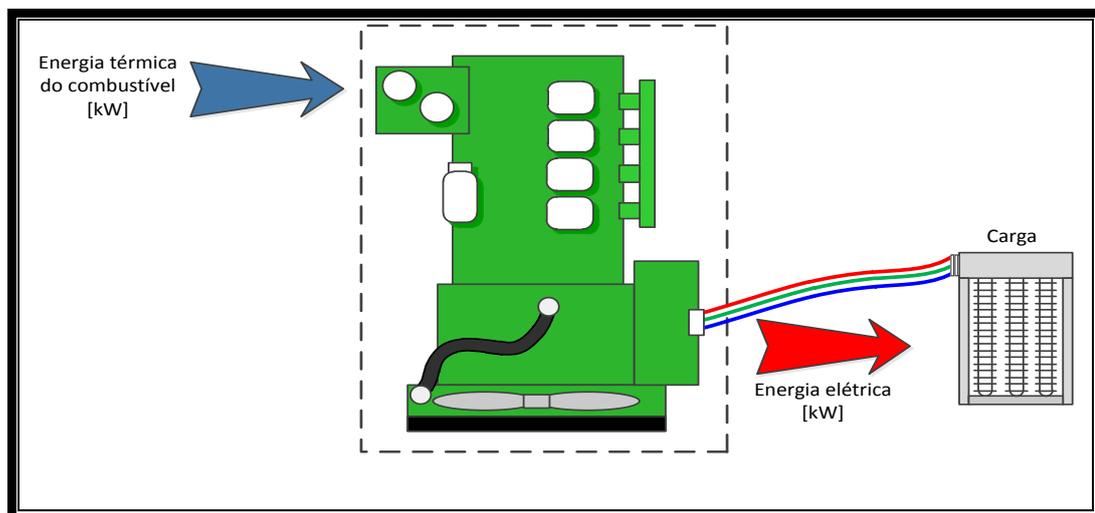


Figura 14 - Esquema da transformação de energia

O rendimento do grupo gerador utilizando óleo diesel é calculado pela Equação 5.1.

$$t\eta = \frac{\text{Potência elétrica}}{\text{Potência térmica do combustível}} = \frac{P_e}{P_T}$$

5.1

Considerando que o óleo de palma é pré-aquecido até a temperatura de 85°C, de modo que a sua viscosidade seja o suficiente para permitir uma boa atomização no bico injetor do motor, o rendimento do grupo gerador funcionando com óleo de palma é calculado pela Equação 5.2.

$$\eta = \frac{\text{Potência elétrica}}{\text{Pot. comb} + \text{m. c. (Tov - Td)}} \quad 5.2$$

Onde **Pot. comb** é a potência térmica do combustível, e **m. c. (Tov - Td)** é referente ganho adicional de calor que o óleo de palma adquire devido ao pré-aquecimento.

A potência térmica do combustível é calculada pelo produto da vazão mássica e seu poder calorífico inferior. Sendo que o consumo de combustível foi quantificado com a utilização do medidor de vazão FLOWPET. O poder calorífico inferior foi determinado através do poder calorífico superior, da análise imediata e elementar realizada no laboratório de caracterização de biomassa - EBMA – UFPA e a energia elétrica gerada foi medida SAGA 4500.

A vazão mássica de combustível é determinada utilizando a Equação 5.3.

$$\dot{m}_{comb} = Q_{comb} * \rho_{comb,85^{\circ}C} \quad 5.3$$

Onde:  $Q_{comb}$  é a vazão volumétrica do combustível medida pelo Flowpet e  $\rho_{comb,85^{\circ}C}$  é a massa específica do combustível a 85°C Tabela 4(COELHO, P. & COSTA, M)

Conhecida a vazão mássica de combustível e seu poder calorífico inferior é possível determinar a potência térmica disponível no combustível através da Equação 5.4.

$$P_T = PCI_{comb} * \dot{m}_{comb} \quad 5.4$$

Onde:  $PCI_{comb}$  é o poder calorífico inferior do combustível medido pela Equação 5.5.

$$PCI_{comb} = PCS - 9 \frac{m_H}{m_{comb}} \times h_{lv} \quad 5.5$$

Onde: PCS é o poder calorífico superior,  $m_H$  é a massa de hidrogênio,  $m_{comb}$  é a massa de combustível e  $h_{lv}$  é entalpia de vaporização, que depende da temperatura de vaporização do combustível.

## 5.2 CONSUMO ESPECÍFICO

O consumo específico de combustível é o consumo de combustível necessário para que um motor gere uma determinada potência. O consumo específico é uma forma de expressar o rendimento do motor, que relaciona consumo de combustível com energia gerada. Quanto menor seja o consumo específico de um motor, maior é seu rendimento.

O consumo específico foi determinado em função da vazão volumétrica medido pelo medidor FLOWPET convertido em vazão mássica com ajuda da massa específica na temperatura de 85°C, obtida em laboratório relacionada com a energia elétrica gerada medida SAGA 4500.

Conhecida a vazão mássica de combustível e a potência elétrica é possível determinar o consumo específico de combustível (**CoES**) com ajuda da Equação 5.6.

$$CoES = \frac{\dot{m}_{comb}}{P_e} \quad 5.6$$

## 5.3 ENERGIA ELÉTRICA

Os parâmetros elétricos foram medidos pelo analisador de grandezas elétricas SAGA 4500 da Landis+Gyr. Os medidores SAGA4500 são medidores eletrônicos de energia que realizam medições de energia ativa, reativa, fatores de potência e frequência. Este medidor foi configurado para fazer leituras a cada cinco minutos em todos os ensaios realizados para as diferentes cargas.

Para variar as cargas foi utilizado um banco de resistências composta por 36 resistências de aproximadamente 57  $\Omega$  cada. Elas foram ligadas em estrela com neutro (mesma configuração do alternador) em diversos grupos ativados por disjuntores para realizar a mudança de carga.

A potência elétrica (**P<sub>e</sub>**) necessária para os cálculos dos anteriores incisos é a potência aparente. O SAGA4500 mede esta potência por meio de seus voltímetros e amperímetros, já a potência ativa é medida em função de seus wattímetros instalados em cada fase.

A Figura 15, mostra a configuração esquemática das ligações do equipamento SAGA4500 realizadas no banco de resistências. Para determinar o fator de potência o equipamento relaciona a potência ativa com a potência aparente sem a necessidade de fasímetros.

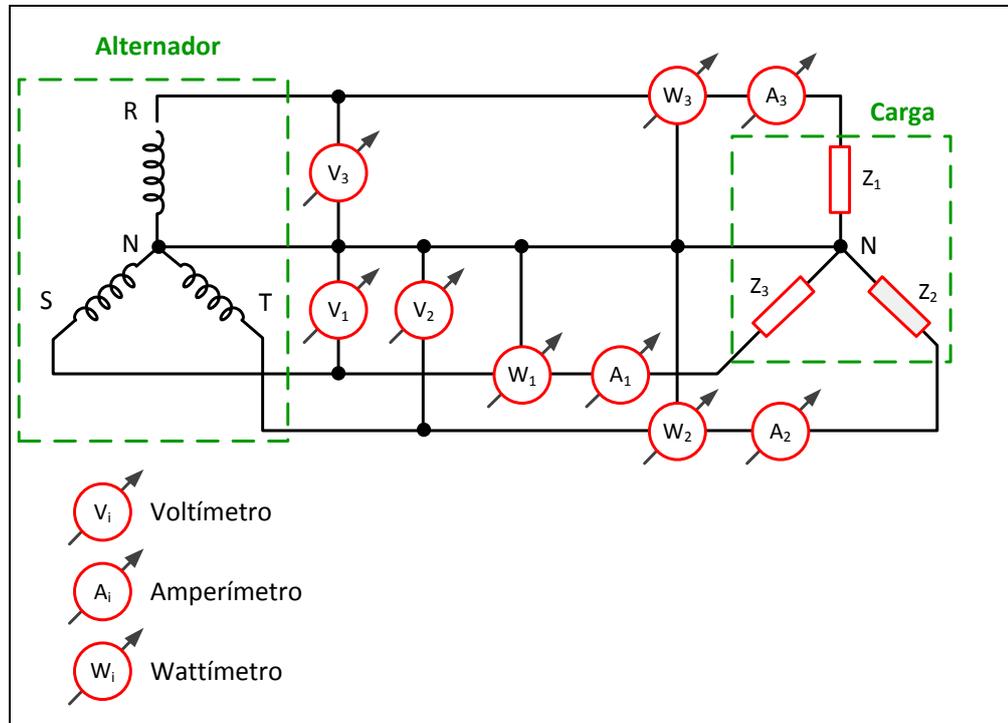


Figura 15 - Esquema elétrico de ligação do equipamento SAGA 4500.

A potência ativa é determinada pela Equação 5.7.

$$P_{at} = P_{W_1} + P_{W_2} + P_{W_3} \quad 5.7$$

Onde:  $P_{W_1}$  é a potência ativa medida no wattímetro 1,  $P_{W_2}$  é a potência medida no wattímetro 2 e  $P_{W_3}$  é a potência medida no wattímetro 3.

A potência aparente é determinada pela Equação 5.8.

$$P_{ap} = V_1 * A_1 + V_2 * A_2 + V_3 * A_3 \quad 5.8$$

Onde:  $V_1, V_2, V_3$  são respectivamente as tensões medidas nos volímetros 1,2,3 e  $A_1, A_2, A_3$  são as correntes medidas nos amperímetros 1,2,3.

Já o fator de potência é determinado pela relação de ambas às potências:

$$FP = \cos\theta = \frac{P_{at}}{P_{ap}} \quad 5.9$$

## 5.4 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Considerando que o equipamento analisador dos gases CMS-7, não mede a quantidade de CO<sub>2</sub>, segundo a literatura (COELHO, P. & COSTA, M.; 2007), quando os teores de CO e HC são pequenos quando comparados ao CO<sub>2</sub>, é necessário recalcular esses valores através da Equação 5.10, onde o CO<sub>2</sub><sub>máx</sub> é obtido do cálculo do equilíbrio utilizando a composição em massa do combustível e a reação estequiométrica. E o O<sub>2</sub> medido é o teor de oxigênio nos gases de escape.

Este trabalho avaliou a análise elementar dos combustíveis utilizados e os resultados estão na Tabela 5. Utilizando essa composição elementar e a razão estequiométrica no programa COMGAS, que realiza o cálculo da composição dos gases no equilíbrio (ROCHA, H. Z., 2009), foi obtido os teores de CO<sub>2</sub><sub>máx</sub> para cada combustível, conforme Tabela 3.

Aplicando a concentração de O<sub>2</sub> obtido nos gases de escape para os diversos ensaios, é possível o cálculo do teor de CO<sub>2</sub> nesses gases utilizando a Equação 5.10.

$$CO_2 = CO_{2Max} \cdot \left(1 - \frac{O_2 \text{ medido}(\%)}{20.95\%}\right) \quad 5.10$$

**Tabela 3 - Teor máximo de CO<sub>2</sub> obtidos das reações estequiométricas.**

	<b>CO<sub>2</sub> MÁX.</b>
<b>Diesel</b>	13, 3736
<b>Vegetal</b>	11, 6566

## 5.5 CÁLCULO DA RAZÃO DE EQUIVALÊNCIA

A razão de equivalência foi calculada pela Equação 5.11.

$$\Phi = \frac{m/m_{ar}}{m/m_{ar} |_{st}} \quad 5.11$$

Onde  $m_c/m_{ar}$  é a relação da massa do combustível pela massa de ar e o denominador da equação é a mesma relação em condições estequiométricas.

## 6 CARACTERIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS

O óleo diesel utilizado possui, nominalmente, 2% de biodiesel, bem como o óleo de palma foi produzido pela Agropalma do Pará.

Para se atingir o objetivo deste projeto foi necessário conhecer as características energéticas dos combustíveis que fariam partes dos ensaios: óleo diesel, óleo de palma “*in natura*” Entre as propriedades pesquisadas relacionamos aquelas ligadas ao poder energético dos óleos: Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Teor de Voláteis, Teor de Carbono Fixo, Teor de Cinzas, Teor de Enxofre, e também às suas características físico-químicas: Índice de Acidez, Ponto de Fulgor, Ponto de Fluidez, Viscosidade Cinemática, Densidade e Massa Específica. As definições dessas propriedades estão descritas a seguir.

O Poder Calorífico de um combustível indica a quantidade de energia térmica liberada pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado. Há dois tipos de poder calorífico: poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). PCS é a quantidade de calor liberado por 1 kg de combustível e os gases da descarga são resfriados de modo que o vapor de água neles seja condensado. PCI é a quantidade de calor que pode produzir 1,0 kg de combustível e gases de descarga são resfriados até temperatura acima do ponto de condensação da água evitando assim que a água contida nos gases efluentes seja condensada. Como a temperatura dos gases de combustão na saída dos motores diesel é elevada, a água contida neles se encontra sempre no estado de vapor, portanto, o que deve ser considerado é o poder calorífico inferior e não o superior.

Teor de Voláteis é a quantidade mássica dos componentes do combustível que primeiramente entram em combustão. Esses componentes, os voláteis, são hidrocarbonetos que são vaporizados do líquido combustível e facilmente entram em combustão. O teor de voláteis é definido como a fração em massa do combustível que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850 °C num forno mufla por 7 (sete) minutos (NBR 8112 - Análise Imediata).

Teor de Carbono Fixo é o teor do resíduo obtido após a evaporação das frações voláteis do produto, submetido a aquecimento sob condições controladas. Considerando-se o produto sem aditivos, a percentagem de resíduo de carbono correlaciona-se com a quantidade

de depósitos que podem ser deixados pelo óleo na câmara de combustão. Valores altos de resíduo de carbono podem levar à formação de uma quantidade excessiva de resíduo na câmara e de maior contaminação de óleo lubrificante por fuligem. O teste consiste em aquecer uma amostra colocando-a em bulbo de vidro, a 550°C, por um tempo pré-determinado. O resíduo remanescente é calculado como fração percentual da amostra original.

Teor de Cinzas é o teor de resíduos inorgânicos não combustíveis apurado após a queima de uma amostra do produto. Essa avaliação visa garantir que os sais ou óxidos metálicos, formados após a combustão do produto e que se apresentam como abrasivos, não venham a causar depósitos numa quantidade que prejudique os pistões, a câmara de combustão, etc. O ensaio é feito queimando-se uma determinada quantidade de amostra, seguido da calcinação do resíduo com sua posterior quantificação como percentagem de cinzas no óleo.

O Teor de Enxofre é um indicativo da concentração deste elemento no óleo. O enxofre é um elemento indesejável em qualquer combustível devido à ação corrosiva de seus compostos e à formação de gases tóxicos com SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) e SO<sub>3</sub> (tri óxido de enxofre), que ocorre durante a combustão do produto.

O Ponto de Fulgor é a menor temperatura na qual o produto gera uma quantidade de vapores que se inflamam quando se dá a aplicação de uma chama, em condições controladas. O ponto de fulgor está ligado à inflamabilidade e serve como indicativo dos cuidados a serem tomados durante o manuseio, transporte, armazenamento e uso do produto.

O Ponto de Mínima Fluidez define-se como o ponto em que os ácidos graxos nos óleos solidificam-se, passando do estado líquido para o sólido, ou seja, temperatura em que o líquido não mais escoar livremente.

Viscosidade é uma medida da resistência oferecida por qualquer fluido ao escoamento. Seu controle visa permitir uma boa atomização do óleo e preservar sua característica lubrificante. Valores de viscosidade abaixo da faixa podem levar a desgaste excessivo nas partes auto-lubrificantes do sistema de injeção, vazamento na bomba de combustível e danos ao pistão. Viscosidades superiores à faixa podem levar a um aumento do trabalho da bomba de combustível, que trabalhará forçada e com maior desgaste, além de proporcionar má atomização do combustível com conseqüente combustão incompleta e aumento da emissão de fumaça e material particulado.

Já a Massa Específica segundo a ABNT NBR 7148 é a massa de um líquido por

unidade de volume a uma dada temperatura de referência.

## 6.1 RESULTADO DO LEVANTAMENTO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

As propriedades energéticas e físico-químicas e respectivas metodologias de determinação para o óleo de palma e do óleo diesel estão relacionadas na Tabela 4. Para o cálculo dos PCI, as frações mássicas de hidrogênio no combustível obtidas foram 12,23% para o óleo de palma e 13,45% para o diesel. O óleo diesel analisado possui, nominalmente, 2% de biodiesel Tabela 5.

**Tabela 4 - Propriedades energéticas e físico-químicas para óleo palma e óleo diesel (EBMA 2009).**

PROPRIEDADES	Óleo de Palma	Óleo Diesel	Métodos disponíveis para Análises
Poder Calorífico Superior(MJ/kg)	40,7	42,2	ASTM D 240 ABNT NBR 8633
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	38,1	39,2	---
Teor de Voláteis (% massa)	99,7	99,7	ABNT NBR 8112
Teor de Carbono Fixo (% massa)	0,25	0,3	ABNT NBR 14318 ASTM D 189, D 4530
Teor de Cinzas (% massa)	0,03	0,001	ABNT NBR 9842 ASTM D482
Teor de Enxofre (% massa)	0,05	1,3	ABNT NBR 14533 ASTM D4294, D5453
Ponto de Fulgor (°C)	> 344	60	ABNT NBR 7974 ASTM D93
Ponto de Mínima Fluidez (°C)	8	-3,3	ABNT NBR 10441
Viscosidade Cinemática (cSt)	40°C	38,23	2,60
	60°C	20,07	--
	100°C	8,064	1,10
Densidade à 20/4 °C	0,915	0,87	ABNT NBR 7148, 14065 ASTM D1298, D4052
Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> ) a 20 °C	929,2	839,7	ABNT NBR 7148
Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> ) a 85 °C	858,4	-	
Calor específico (kJ/kg.°C) a (20°C)	1,848	1,951	
Número de Cetano	42	53	

**Tabela 5 - Análise elementar do biodiesel, óleo de palma e do óleo diesel.**

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>%C</b>	<b>%H</b>	<b>%N</b>	<b>%O</b>	<b>%S</b>
Biodiesel	84,385	13,455	0	2,18	0
Óleo de palma	75,537	12,230	3,610	8,55	0
Diesel	85,80	13,50	0	0	0,7

Para a determinação das características energéticas e físico-químicas do óleo de palma, foram seguidos os procedimentos descritos nas referentes normas dispostas na Tabela 4, ao lado da respectiva propriedade.

A partir dos resultados obtidos e relacionados na Tabela 4, observa-se que o poder calorífico do óleo de palma menor que o do óleo diesel, a massa específica do óleo de palma é superior a do óleo diesel. Como a potência do motor será tanto maior quanto maior for o calor liberado pelo combustível, e esse calor liberado é obtido pelo produto do poder calorífico inferior pela massa do combustível, a redução em poder calorífico do óleo de palma é compensada pelo aumento na massa específica.

Também ficou determinado que o óleo de palma possui ponto de fulgor elevado. Este resultado favorece o transporte e estocagem por se tratar de produto pouco volátil e, conseqüentemente, possuir a característica de inflamar com dificuldade. Por outro lado, o índice de saponificação é alto, o que significa que na temperatura ambiente existe a possibilidade de formação de particulados saponíferos que ficarão em suspensão e com possibilidade de sedimentação.

Conclui-se então que o óleo de palma é propício para utilização como combustível em motores diesel se for previamente aquecido para reduzir a viscosidade e a saponificação, além de ser necessário aumentar a pressão no bico injetor e reduzir o tamanho da gota para facilitar a volatilização e facilitar a combustão.

## 7 APARATO EXPERIMENTAL E METODOLOGIA

### 7.1 DESCRIÇÃO DO BANCO EXPERIMENTAL INICIAL

Ao acionar a partida do motor, inicialmente a eletro-válvula esta aberta para o tanque de diesel e assim o motor entra em operação. Logo após, liga-se pelo quadro de disjuntores todos os componentes. Então, o módulo de controle verifica a temperatura dos gases de escape no coletor de exaustão, por via do termopar e do óleo de palma no tanque, através do termostato, o qual estará na temperatura ambiente. Dessa forma o termostato dispara a bomba de deslocamento, obrigando o óleo de palma a circular pelo trocador de calor, que desvia a passagem da água de arrefecimento do motor, aquecendo progressivamente o óleo de palma. Quando este óleo estiver em condições próximas para alimentação, ou seja, com a viscosidade reduzida, é fornecida carga ao gerador ligando o banco de resistências aletadas. Com isso, a temperatura dos gases da exaustão aumenta gradualmente. Ao atingir uma temperatura previamente estabelecida, o módulo de controle comuta a eletro-válvula, que abre a passagem para o óleo de palma e fecha para o diesel, fazendo assim a troca automática de combustível. Quando solicitado a parada do motor ou quando deixar de fornecer carga ao gerador e a temperatura dos gases da exaustão diminuir, o módulo de controle volta a comutar a válvula solenóide, fechando a entrada de óleo de palma no motor e reabrindo a passagem de óleo diesel Figura 25.

De acordo com as necessidades de operação deste projeto foi calculada a vazão de consumo de combustível requerido pelo grupo-gerador Cummins C40D64 – Figura 17, de posse desse dimensionamento foi adquirido o medidor mássico FLOWMATE (OVALM-III) Figura 18, com saída analógica de 4-20 m A.

Foi também adquirido o analisador de gases CMS-7 Figura 19, responsável por mensurar os teores de O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, NO e NO<sub>x</sub> com saída RS-232. Para análise das grandezas elétricas como corrente, voltagem, potência e posterior cálculo da eficiência elétrica do grupo-gerador o equipamento escolhido foi o SAGA 4500 Figura 20.

Também foi idealizado um banco de resistências tubulares Figura 22, responsável por dissipar a energia elétrica gerada pelo grupo-gerador, o qual foi especificado de acordo com a potência gerada, a plena carga pelo gerador, ou seja, 53 kVA.

Para medir a temperatura nos tanques de combustível e em alguns pontos do grupo-gerador, como no coletor de admissão de ar, no escapamento dos gases e no fluido de arrefecimento, serão usados termopares tipo K acoplados através de conjunto Figura 23.

Todas as medidas realizadas por essa instrumentação serão enviadas para o aquisitor de dados A202-Figura 24, que coletará essas informações através de suas 08 entradas configuráveis, que podem ser do tipo termopar J e K, termo resistência Pt-100 e linear 0-20mA, 4-20mA, 0-60mV, 1-5V, 0-10V, transmitindo, através do protocolo modbus RTU, para um software supervisor a ser desenvolvido em Eclipse-Scada, que estará instalado em um computador com processador Pentium 4, placa-mãe Asus, 1Gb de memória RAM e HD de 160 Gb.

Alguns desses equipamentos serão conectados diretamente ao computador, caso do analisador de gases, que possuem saída RS-232 do Saga 4500, que possui saída RS-485, mas que deverá ser convertida para serial RS-232, já que esse é o padrão usados por computadores tipo PC.

Com relação à automação na troca de combustível de óleo diesel para o óleo de palma e vice-versa, foi utilizado o kit de conversão do CIRAD. Os equipamentos do kit serão controlados por software próprio, fornecido pelo fabricante e conectado diretamente ao computador através do módulo de controle.

A Figura 16, ilustra as conexões entre os equipamentos, simbolizados pelos números dentro dos círculos, e a direção da transmissão de dados, desde a coleta até o armazenamento. As várias peças que compõem o kit de automação estão simbolizadas pelo círculo nº 09. Logo em seguida cada instrumento está relacionado com algumas especificações.

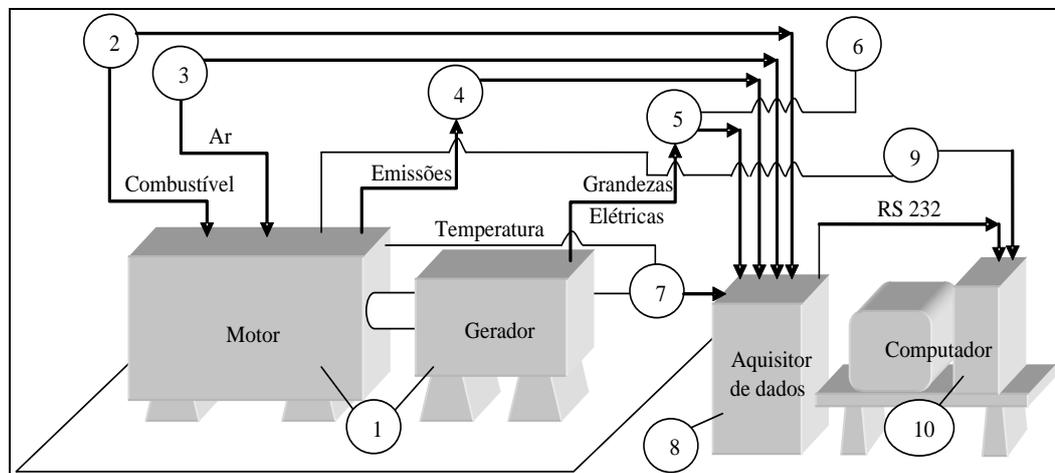


Figura 16 - Esquema de montagem dos equipamentos e direção da coleta dos dados

Foram selecionados equipamentos e instrumentos em função da necessidade do projeto, os quais estão listados abaixo:

**a) Grupo Gerador:**

Grupo-Gerador Diesel de 53 kVA Cummins modelo C40 D64, com 04 cilindros em linha, 1800 RPM, injeção direta em linha-Figura 17.



Figura 17 - Grupo gerador Cummins C40 D64

**b) Medidor de Vazão:**

Para medir o consumo de diesel foi utilizado o medidor de vazão OVAL M-III Super Micro Flowmate 39 Figura 18, este enviará pulsos em mV que serão transformados em unidades de vazão com ajuda do indicador MCT.



Figura 18 - Medidor de vazão Flowmate

A seleção do medidor de vazão foi realizada em função das características físicas do fluido (diesel) e das precisões desejadas na vazão máxima e mínima. Dando como resultado o medidor descrito anteriormente onde suas características principais são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6 - Características do medidor de vazão**

Especificações	
Faixa de operação	0,3 – 6 [l/h]
Precisão	±3%
Máxima Pressão operante	0,49 MPa
Material do Rotor	Resina PPS

Um dos grandes problemas encontrados ao momento de utilizar este medidor foi como evitar as perturbações induzidas pelo combustível que retorna do motor e principalmente devido ao golpe de aríete produzido pela bomba de injeção do motor, é por isso que uma válvula de retenção foi instalada após o medidor de vazão

Vários tipos de válvulas foram testadas nos ensaios, mas como esta válvula deve abrir e fechar numa frequência aproximadamente igual à frequência de injeção do combustível no motor, nessas condições provocaria um rápido desgaste na válvula de retenção. Uma solução encontrada foi à utilização de uma pré-câmara com ar para compensar este golpe de aríete Figura 16.

### c) Analisador dos Gases:

Foi utilizado um analisador de gases da empresa MADUR o modelo CMS-7 Figura 19, para determinar a composição dos gases de exaustão do motor.



Figura 19 - Analisador dos gases CMS-7

O analisador CMS-7 está equipado com seis células eletroquímicas, para medir as concentrações dos gases: O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. A concentração de CO<sub>2</sub> é calculada em função do tipo de combustível utilizado. O analisador também esteve equipado para medir a temperatura ambiente e a temperatura do gás analisado (usando termopares). Todos estes valores medidos ou calculados podem ser visualizados na tela do analisador em formato de gráficos e tabelas, ao mesmo tempo pudessem ser salvos num cartão MMC para posteriormente copiados num computador. Outras características são apresentadas Tabela 7.

**Tabela 7 - Características da bomba de infusão**

Especificações	
Exatidão células eletroquímicas	± 5% do valor medido
Exatidão temperatura do gás	±1,5% rel. ou ±2°C
Exatidão temperatura ambiente	±1°C
Temperatura de operação	10°C – 40°C
Interface	RS232C

A razão principal do porque foi utilizado este tipo de analisador é que ele possibilita a análise contínua de gases com base na média de todos os valores obtidos em tempos programáveis de 02 até 180 segundos.

#### **d) Analisador de Grandezas Elétricas:**

Para o registro das grandezas elétricas que serão utilizadas nas resistências elétricas foi adquirido o equipamento SAGA 4500 (Figura 20) da empresa Landis+Gyr.



Figura 20 - Equipamento SAGA 4500

Com este analisador é possível avaliar e registrar sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos, equilibrados ou não. Com uma exatidão do conjunto (analisador + sensores) de 1% ou 2%.

Todos os valores medidos pelo analisador SAGA 4500 são enviados a um computador onde conjuntamente com seu próprio programa de monitoramento Figura 21, é possível visualizar e armazenar em tempo real as grandezas elétricas medidas, e dessa maneira monitorar o comportamento do gerador.

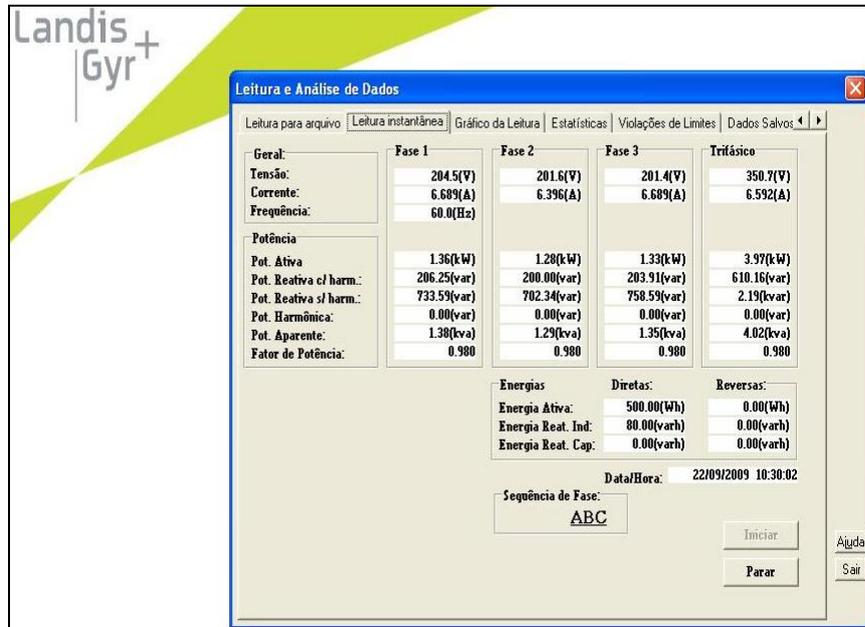


Figura 21 - Programa de monitoramento do SAGA 4500

#### e) Bateria de Resistência Elétrica:

Para dissipar a energia elétrica gerada pelo grupo gerador foi empregada uma bateria de resistências fabricada pela IMC. Esse equipamento é formado por resistências tubulares aletadas compostas por 36 resistências TAU-82 1472 W/ 220 V, com altura aproximada de 920 mm e potência total de 53 kVA/ 220 V Modelo 164 Figura 22.



Figura. 22 - Banco de resistência elétrica.

#### f) Sistema Medidor de Temperatura:

Para verificar a temperatura na saída de exaustão foi utilizado sensor de temperatura do tipo K Figura 23, como o a troca de temperatura nesse local é intensa, fez se necessário o acoplamento do termopar ao conjunto bucim.

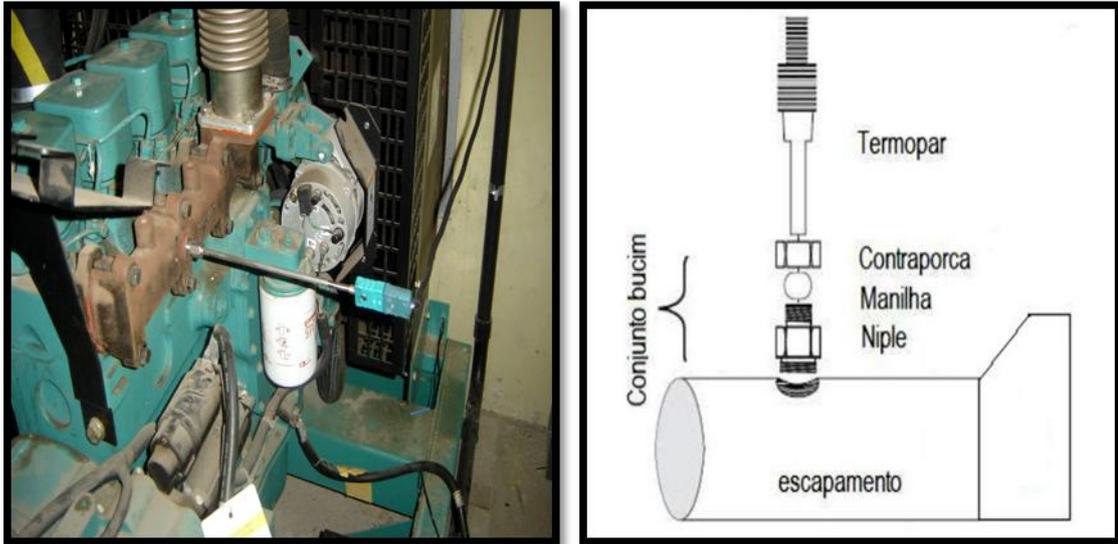


Figura. 23 - Esquema de termopar tipo K acoplado com conjunto bucim.

#### g) Aquisitor de Dados:

Para o registro e monitoramento em um computador das variáveis analógicas enviadas pelo indicador MCT, foi utilizado o aquisitor de dados da empresa COMTEMP modelo A202 Figura 24.



Figura 24 - Aquisitor de dados A202.

Para a interface entre o computador e barramento de comunicação do aquisitor foi necessária a utilização do conversor USB-RS485, este permite a comunicação rápida e segura do aquisitor com a porta USB do PC detectado e instalado como uma porta COM nativa.

As características principais do aquisitor de dados são apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 8 - Características do aquisitor de dados**

Especificações	
Número de entradas	8
Entrada de corrente	0 a 20 [mA]
Exatidão da leitura	$\pm 0,3\%$ F.E. $\pm 1$ dígito a 25°C
Leitura	170 ms / 8 canais
Comunicação	RS-485
Protocolo	Modbus RTU

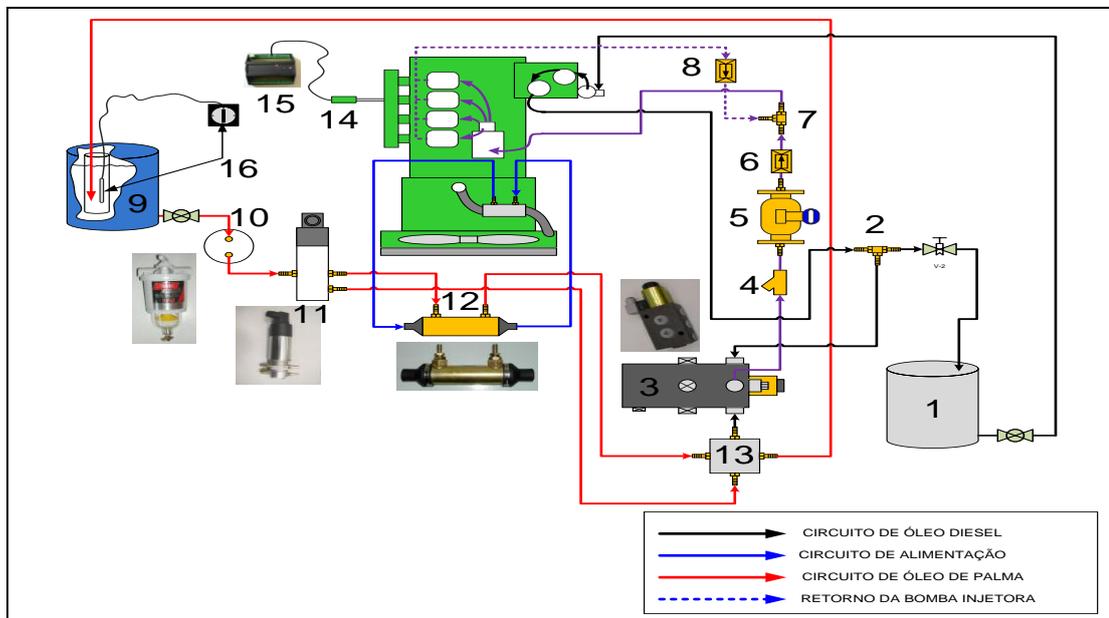


Figura 25 - Esquema de funcionamento do kit inicial.

O kit inicial era formado pelos seguintes itens:

1. Tanque de óleo diesel.
2. By-pass do circulação do óleo diesel.
3. Válvula solenóide.
4. Filtro.
5. Medidor da vazão do fluxo de combustível.
6. Válvula unidirecional
7. By pass do sistema de alimentação.
8. Válvula unidirecional.

9. Tanque de óleo de palma.
10. Filtro separador de particulado e de umidade.
11. Bomba de circulação.
12. Trocador de calor.
13. Conector metálico.
14. Sensor de temperatura.
15. Módulo de controle.
16. Sensor de temperatura e termostato.

## 7.2 METODOLOGIA OPERACIONAL FINAL

Durantes a fase de teste observou-se que o kit inicial Figura 25, apresentou problemas de funcionamento de alguns componentes, tais como: filtro de separação de particulado, bomba de circulação do óleo de palma, trocador de calor e válvula unidirecional. Fato este considerado normal uma vez que este kit nunca tinha sido utilizado com óleo de palma.

No kit final Figura 26, observa-se que foi inserido no sistema, um filtro de remoção de particulado blindado, uma bomba de engrenagem de vazão de deslocamento positivo, uma resistência elétrica no tanque de óleo de palma, uma câmara de pressão para estabilizar a medição de vazão de combustível e outra resistência elétrica menor no circuito de alimentação do motor, sendo que essa resistência foi inserida antes da bomba injetora, para evitar a perda de calor no circuito de óleo de palma entre o tanque e bomba injetora, assim como o tanque de óleo de palma, foi isolado termicamente com a mesma finalidade.

O esquema mostrando o modo de funcionamento do kit final por ser observado na Figura. 26, sendo que além das alterações comentadas acima, foram necessárias outras modificações, como por exemplo, no sistema de circulação do óleo de palma, uma mangueira de retorno de óleo ao tanque, referente à circulação normal e outra como by-pass, inserida após da bomba de circulação como medida de segurança para evitar o comprometimento do bombeamento em caso de entupimento do filtro.

A introdução da resistência elétrica no tanque de óleo de palma foi necessária, para baixar a viscosidade do óleo de palma, sendo que o acionamento desse equipamento acontecia

20 minutos antes de iniciar o teste, tempo necessário para o óleo atingir uma temperatura de 85°C e permanecia ligada por um tempo de 30 minutos, após esse tempo essa resistência era desligada. Para evitar que ocorresse uma perda de calor desse óleo quando estivesse no sistema de circulação, todas as mangueiras foram isoladas com um material isolante térmico, porém mesmo com todas essas modificações o óleo de palma estava chegando no sistema de injeção com uma temperatura de 65°C, valor bem abaixo do que havia sido definido. Por isso, foi necessária a introdução de uma resistência elétrica menor antes da bomba de injeção, a qual tinha a função de manter a temperatura de injeção sempre na média de 85°C. O acionamento acontecia através de um sensor de temperatura inserido dentro dessa resistência com a função de manter constante a temperatura do óleo de palma em torno de 85°C.

Já a introdução da câmara de pressão se fez necessária devido ao fato de a válvula unidirecional não suportava o fluxo de retorno do combustível, o que gerava um impacto no medidor de vazão. Esse impacto era observado na forma de oscilação no medidor de vazão e com a sua introdução esse problema foi resolvido.

Durante os testes realizados com o grupo gerador em que o kit de troca de combustível foi utilizado, mesmo com as modificações em seu arranjo, conservou o mesmo princípio de funcionamento.

A partida do motor acontecia sempre com a eletro-válvula aberta para o tanque de óleo diesel permanecendo em operação por cerca de 20 minutos, tempo necessário para que o módulo de controle verificasse simultaneamente, a temperatura dos gases de escape no coletor de exaustão e do óleo de palma no tanque, por intermédio de sensores de temperatura e do termostato, este regulado para uma temperatura de 85°C. Quando que o óleo no tanque atingia essa temperatura ele acionava o módulo de controle e este por sua vez verificava se havia atingida a temperatura de 400°C na saída do coletor de escape do motor. Cumprido estes parâmetros o módulo de controle enviava um sinal elétrico para a eletro-válvula, que interrompia o fluxo do óleo diesel e abria a passagem para o óleo de palma, para o funcionamento do motor.

Por outro lado, sempre era observada uma redução de temperatura dos gases no coletor de escape, abaixo de 400°C, o módulo de controle automaticamente acionava a eletro-válvula interrompendo o fluxo do óleo de palma e abria a passagem para o óleo diesel. A variação de temperatura no coletor de escape é fortemente influenciada pela carga aplicada no grupo gerador, ou seja, quando havia um aumento da carga a temperatura aumentava e vice versa, bem como, pelo aumento da temperatura ambiente.

Ao final de cada ensaio, onde o grupo gerador permaneceu funcionando por um determinado tempo com óleo de palma, há a necessidade da troca de combustível para óleo diesel, a fim de realizar a limpeza da bomba injetora, bicos injetores, câmara de combustão e todo o sistema de alimentação, para evitar entupimento do circuito quando se atingisse a temperatura ambiente.

Cada ensaio teve a duração de três horas de funcionamento, sendo uma hora referente ao tempo necessário para estabilizar os parâmetros do motor e duas horas referente ao tempo de coleta dos dados. E cada ensaio foi repetido com finalidade verificar a autenticidade dos resultados coletados. Os ensaios começaram através do levantamento dos parâmetros operacionais do grupo gerador funcionando com óleo diesel, cujo intuito era obter os dados básicos de comparação para as respectivas cargas aplicadas ao grupo gerador quando este estivesse funcionando tanto com o óleo diesel, quanto com óleo de palma. Para a verificação do desempenho do sistema, variamos a carga aplicada ao grupo gerador em: 75%, 80%, 90% e 100%.

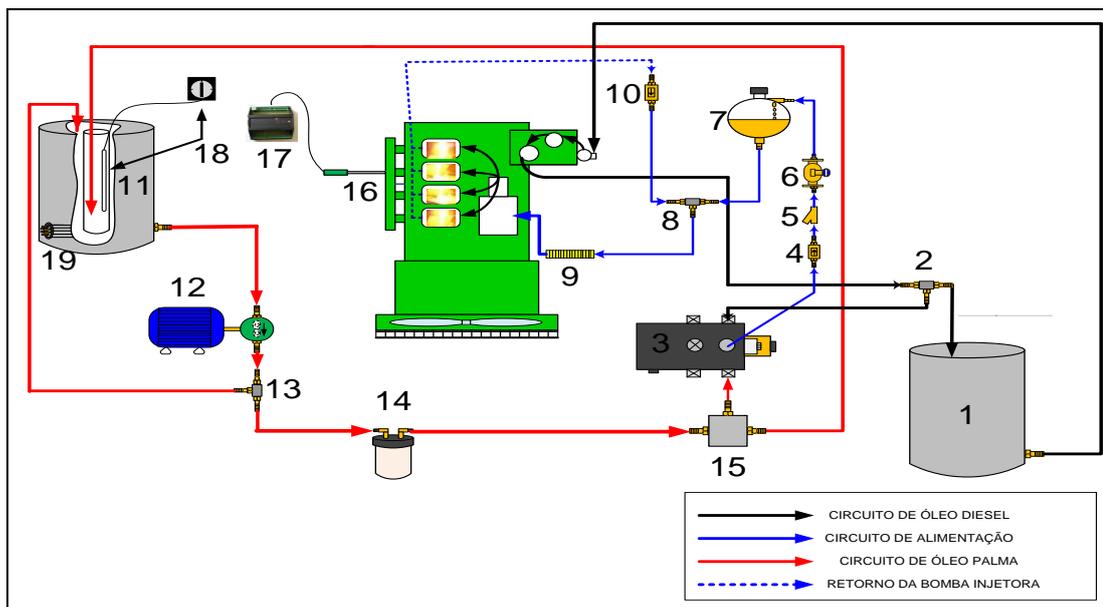


Figura 26 - Esquema do sistema final.

Os itens que compõe o kit final estão listados abaixo:

1. Tanque de óleo diesel.
2. By-pass de circulação do óleo diesel.
3. Válvula solenóide.
4. Válvula unidirecional.
5. Filtro.

6. Medidor da vazão de fluxo de combustível.
7. Câmara de pressão.
8. By pass do sistema de alimentação.
9. Resistência antes da bomba injetora.
10. Válvula unidirecional.
11. Tanque de óleo de palma.
12. Bomba de circulação de óleo de palma.
13. By pass inserido após a bomba de circulação de OV.
14. Filtro separador de particulado blindado.
15. Conector metálico.
16. Sensor de temperatura
17. Módulo de controle
18. Sensor de temperatura e o termostato
19. Resistência elétrica inserida no tanque de OV.

## 8 RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Motor diesel possui a injeção de combustível em base volumétrica, portanto verifica-se pela Equação 5.5, que o valor calculado do poder calorífico inferior do combustível em base volumétrica Tabela 9.

**Tabela 9 - Poder calorífico inferior do diesel e do óleo de palma.**

	DIESEL (GJ/m <sup>3</sup> )	ÓLEO DE PALMA (GJ/m <sup>3</sup> )	%
PCI	32,9	35,4	7,6

O grupo gerador para ambos os casos estava conectado a mesma carga de baterias, portanto, se a frequência é a mesma, a potência terá que ser a mesma.

Observando-se Figura. 27, a variação de frequência dos ensaios, constata-se que a variação máxima entre diesel óleo de palma foi de 2,2% com média de 0,76% Tabela 11. Conclui-se então, que o ensaio foi feito a rotação constante.

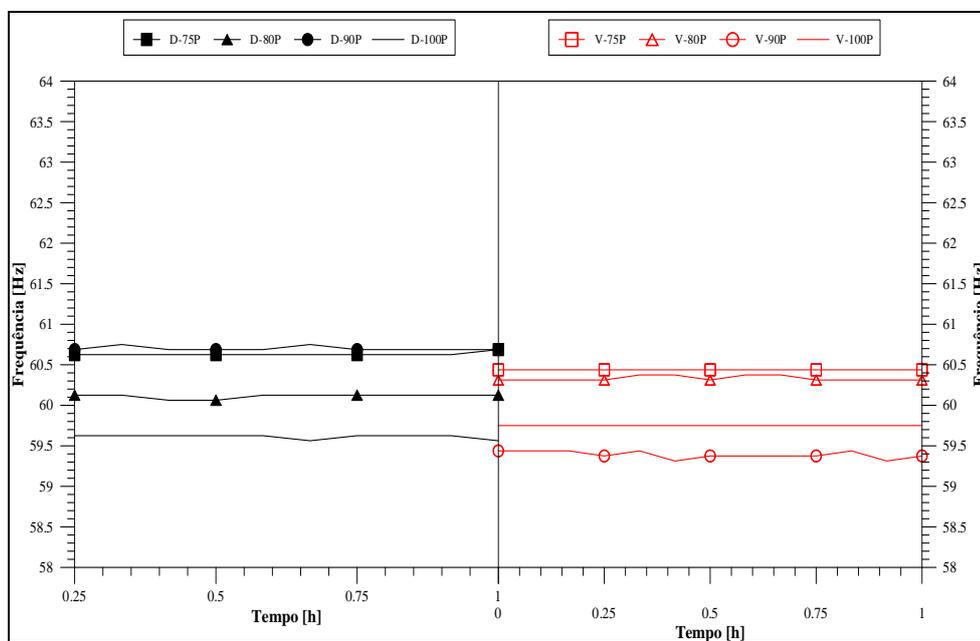


Figura 27 - Gráficos de frequência do grupo gerador com óleo diesel e com óleo de palma.

Analisando a Figura 28, verifica-se que para cargas de 100%, o óleo de palma produziu potencia 1% maior que o diesel a mesma rotação (1.800 rpm). Todos os outros

ensaios a potência produzida pelo óleo de palma foi ligeiramente menor que a produzida pelo diesel, em média de 1,03% Tabela 9.

Conclui-se então que troca do diesel pelo óleo de palma não implica em perda de potência. Isso pode ser explicado observando-se a Tabela 9, que a energia injetada no cilindro por unidade de volume de óleo de palma é 7,6% a maior que o injetado por diesel. Era de se esperar, então que a potência medida quando o óleo de palma seria 7,6% maior, mas isso não aconteceu, no máximo obteve-se 1% indicando que mesmo a 100% não está acontecendo combustão completa.

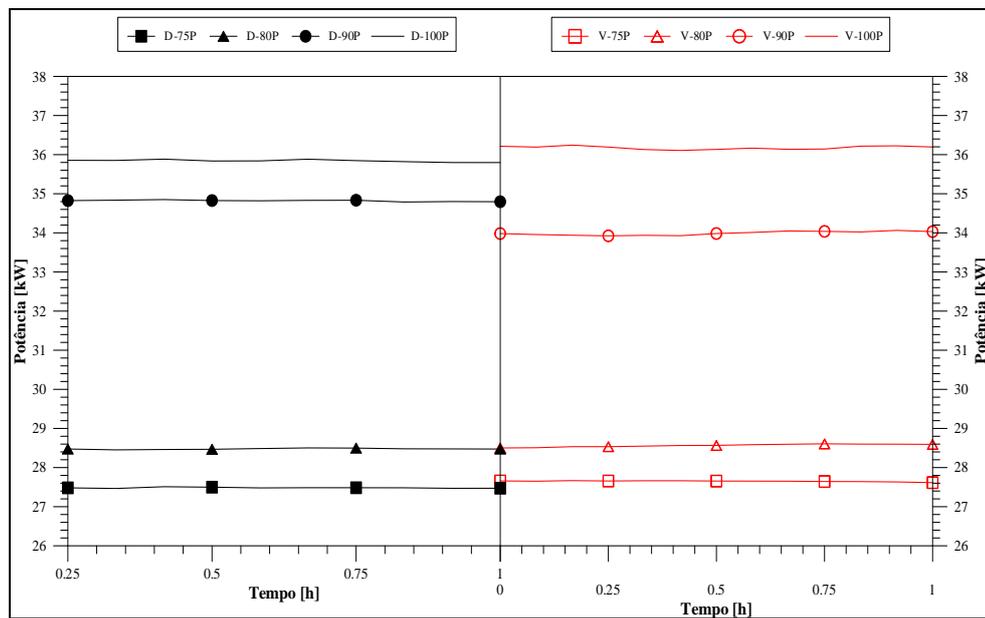


Figura 28 – Gráficos comparativos de potências geradas entre óleo diesel e óleo de palma.

A Figura 29, mostra a vazão do óleo de palma e do diesel no tempo. Constata-se que para todas as cargas o consumo de óleo de palma foi maior que o diesel mostrando que a viscosidade de óleo de palma a 85°C não compromete a operação motor. Como o óleo de palma possui 7,6% mais energia, em base volumétrica que o diesel, esperava-se que o consumo de óleo de palma fosse 7,6% menor, mas o que se constata é que foi superior em 9,5% no máximo e 7,44% na média Tabela 9. Isso reforça o comentário da Figura 28, que mesmo a 100% da carga, não ocorre a combustão completa.

Essa combustão incompleta é devido aos tempos requeridos para ocorrer a vaporização e combustão do óleo de palma em comparação ao diesel. Verifica-se na Tabela 4, que o número de cetano do diesel é maior que o do óleo de palma

O número de cetano indica o tempo do retardo para o início da ignição após a injeção do combustível na câmara de combustão. Quanto menor o número de cetano, maior o retardo a ignição. Isso é causado pela necessidade do combustível de mais calor latente para a sua vaporização e pela temperatura do ponto de ignição. O óleo de palma requer mais energia e conseqüentemente mais tempo para vaporizar, fazendo com que o início seja retardado. Já a temperatura de fulgor do óleo de palma é bem maior que o do diesel conforme Tabela 4.

Já a cinética química requer menos tempo no óleo de palma do que no diesel como pode ser visto na Tabela 5, diesel possui mais carbono que óleo de palma e este traz consigo  $O_2$  o que o diesel não traz. Esses dois fatores, mais carbono e  $O_2$  associado favorecem o óleo de palma.

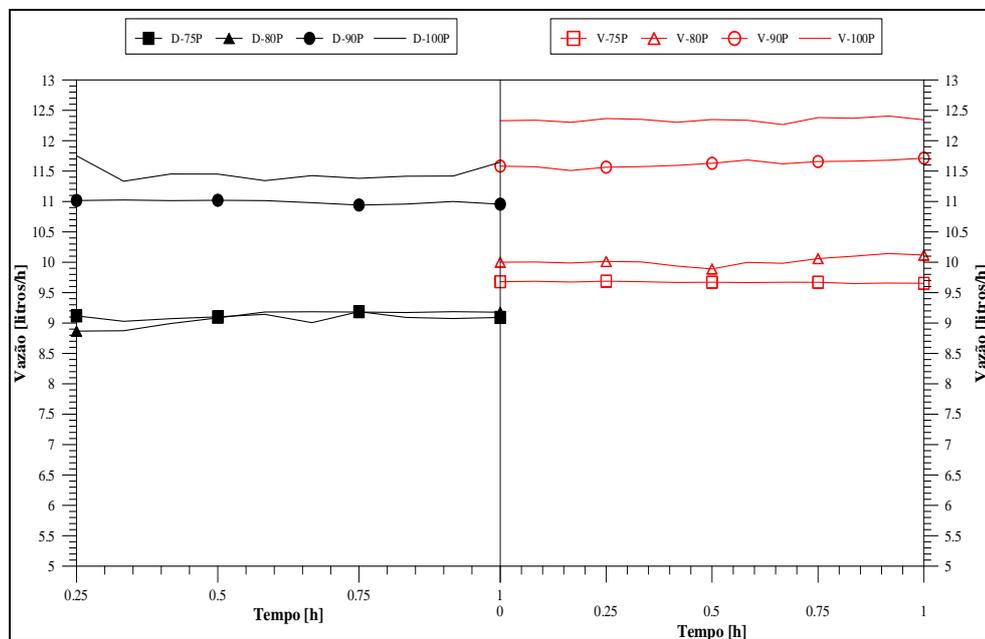


Figura 29 – Gráficos comparativos de vazão do óleo diesel e óleo de palma.

A Figura 30, apresenta resultados do cálculo de consumo específico utilizando a Equação 5.6. Como visto na Figura 29, o óleo de palma teve um consumo maior e na Figura 28, teve uma potência equivalente, espera-se que o consumo específico para óleo de palma seja ligeiramente maior que o do diesel. Isso é verificado nessa figura onde o consumo específico do óleo de palma é no máximo 9,4% maior e na média 7,0% Tabela 11.

Com essas informações em mente, ou seja, que o grupo gerador opera a rotação constante, as potências geradas foram similares e que o consumo específico do óleo de palma foi ligeiramente maior como conseqüência da combustão incompleta, as emissões do motor

devem ser analisadas, iniciando pela análise das temperaturas do gás medido na saída do cilindro dentro do coletor de escape.

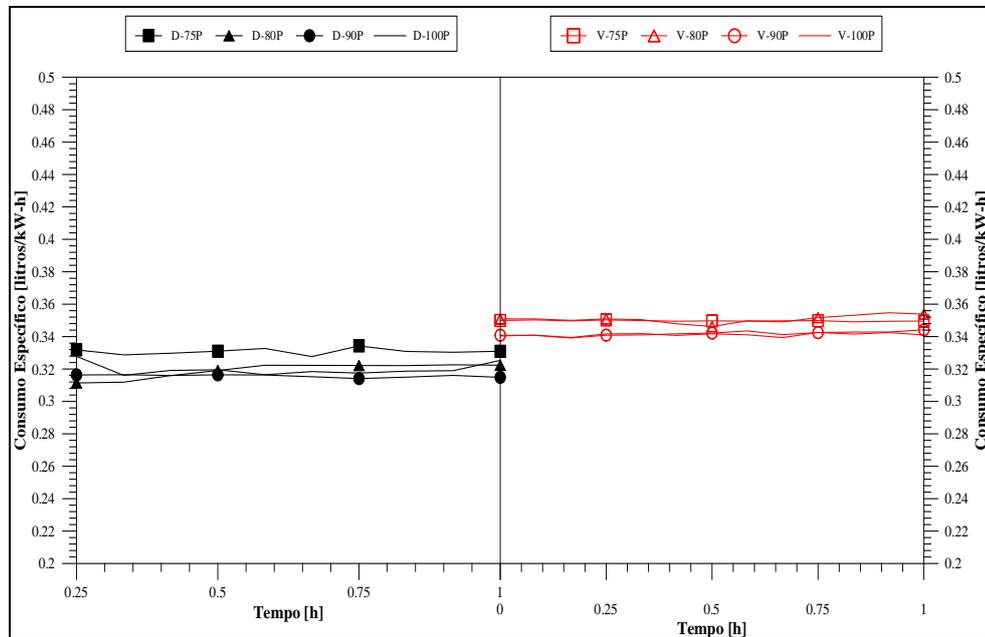


Figura 30 - Gráficos comparativos do consumo específico do óleo diesel e óleo de palma.

Ao final dos ensaios foi detectado que a temperatura indicada dos gases no coletor de escape era menor que a medida no ponto de extração de gases para amostragem, o que fisicamente é irreal, uma vez que o ponto de amostragem está após do coletor de escape. Foi identificado que a causa, foram incrustações no sensor por particulados produzidos na combustão; este fato compromete os valores absolutos, mas não os relativos. Observe na Figura 31, que para todas as cargas, a temperatura dos gases oriundo do óleo de palma é superior ao diesel indicando claramente que, as temperaturas médias na câmara de combustão provocadas pelo óleo de palma é superior a do diesel confirmando a hipótese de que mais energia está sendo liberada na combustão. Uma vez que foi verificado anteriormente que o grupo gerador não consegue combustão completa, nas suas condições operacionais, ficando demonstrado que o óleo de palma possui ainda um potencial para reduzir o consumo específico do motor.

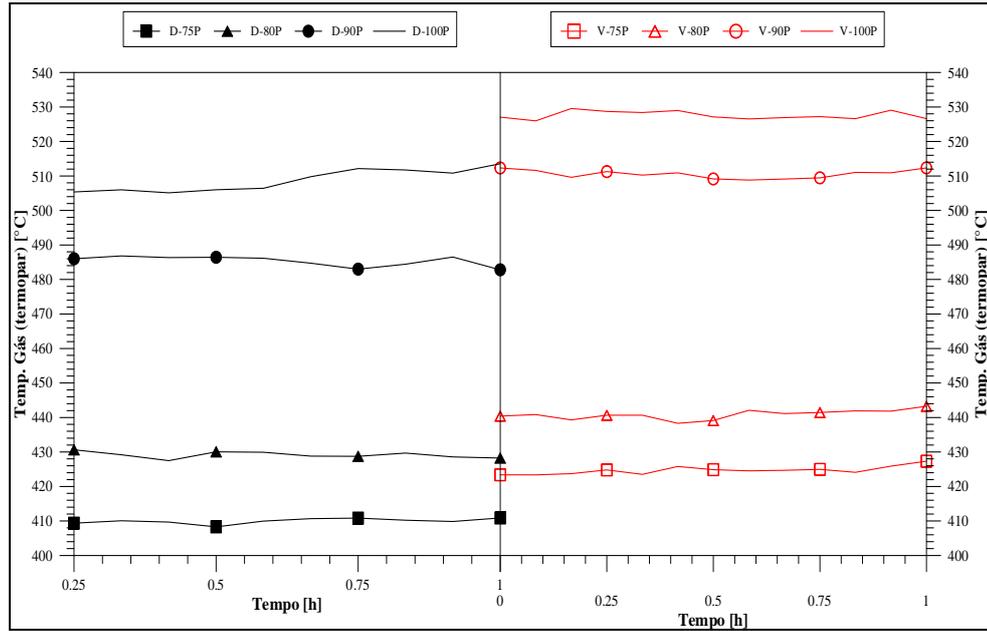


Figura 31 - Temperaturas dos gases no coletor de escape do diesel e do óleo de palma

Para análise da composição dos gases do escape objetivando um melhor entendimento do que está ocorrendo na combustão, amostras dos gases extraídas da tubulação de exaustão a jusante do motor foram analisadas. A Figura 32, mostra as temperaturas que esses gases possuíam antes de serem coletadas no analisador de gases. Vale salientar que todas as amostras foram retiradas a temperaturas menores que 530°C, valor suficiente baixo para caracterizar uma baixa velocidade da reação para as espécies primárias (CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) e o CO<sub>2</sub> foi calculado a partir de O<sub>2</sub> (Equação 5.9).

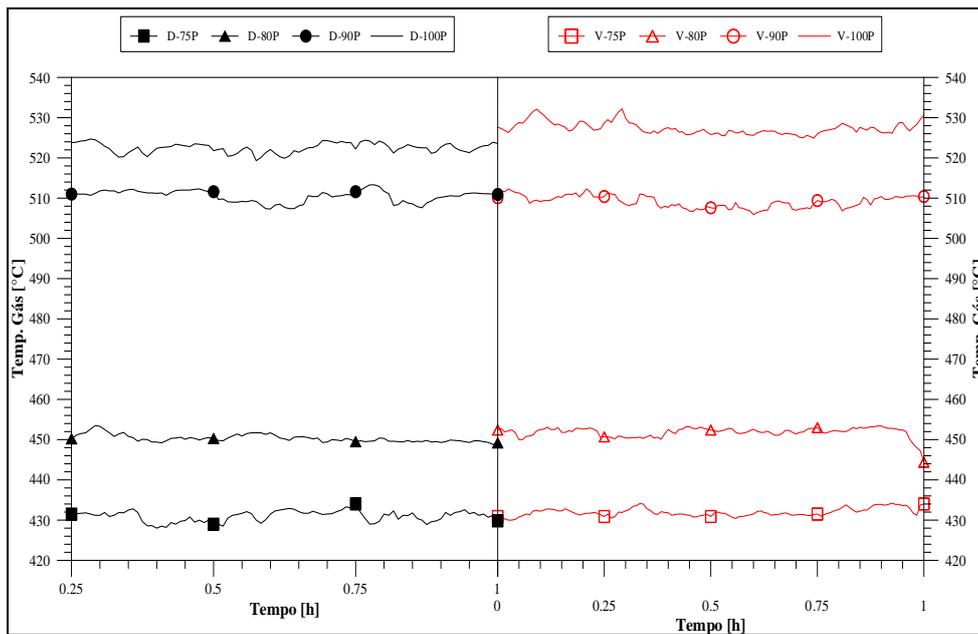


Figura 32 - Temperaturas dos gases no ponto de coleta para o diesel e do óleo de palma

A Figura 33, mostra os teores de  $O_2$  medidos. Percebe-se que os teores para óleo de palma são levemente maiores que quando operando com diesel. Isto é justificável com o fato do óleo de palma trazer  $O_2$  na sua composição, prioritariamente consumido em relação  $O_2$  do ar. É interessante ressaltar que a quantidade inicial de  $O_2$  introduzida no cilindro no tempo de aspiração é a mesma seja para o diesel ou óleo de palma.

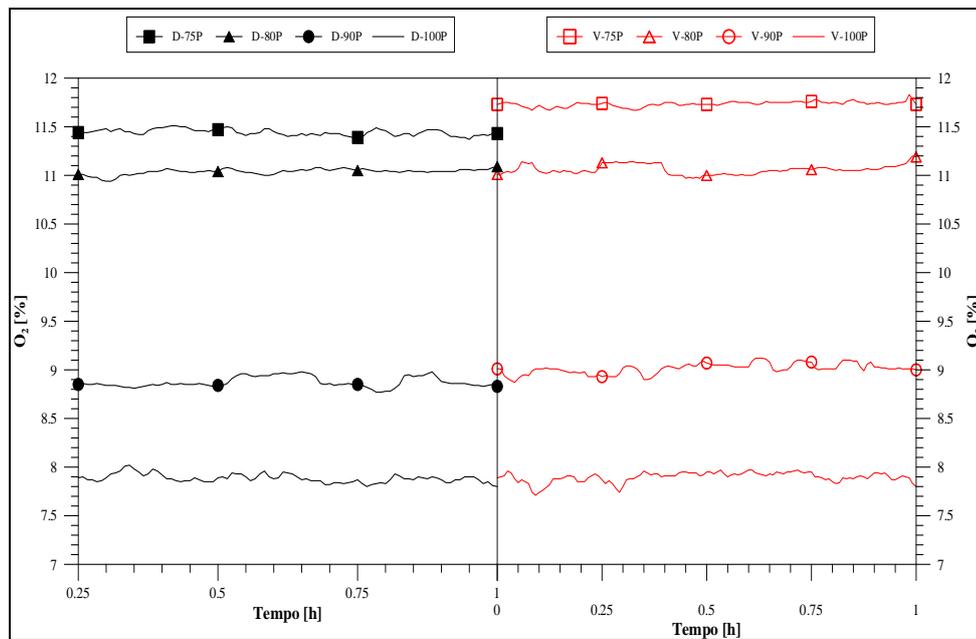


Figura 33 - Comparativo das emissões de  $O_2$  para óleo diesel e para óleo de palma

Conforme descrito anteriormente, neste trabalho considerou-se avaliar a qualidade da combustão comparando-se os teores de CO produzidos pela combustão de óleo de palma e diesel, usando diesel com referência.

A Figura 34, mostra esses resultados. Para 100% de carga, o diesel produziu mais CO do que óleo de palma. Isso é esperado uma vez que a Tabela 5, mostra que o diesel possui mais carbono, em base mássica, que o óleo de palma. Isto indica que apesar da combustão do óleo de palma não ser completa, ela está próxima disso. Possivelmente uma antecipação do início de ignição reduza o consumo específico do motor. Para 90% da carga, o teor de CO emitido pelo óleo de palma é similar ao diesel com um leve excesso para o óleo de palma (5,3%) Tabela 10, mostrando que o óleo de palma tem uma queda na eficiência da combustão, mas ainda em níveis aceitáveis e competitivos com o diesel. Para 80%, os teores de CO emitidos pelo óleo de palma passam a ser superiores ao diesel indicando que a eficiência ficou muito baixa, a níveis não recomendáveis. Isso é decorrência da redução de temperatura média dentro da câmara de combustão como pode ser verificado na Figura 31.

A massa de ar admitida em motores diesel é diretamente dependente da rotação do motor. A rotação constante a massa de ar admitida será sempre a mesma. A variação da carga é provocada pela redução da injeção de combustível, fazendo com que a temperatura adiabática de chama seja reduzida e conseqüentemente a temperatura média no cilindro. Com a redução dessa temperatura, as taxas de transferência de calor para a vaporização do combustível são menores requerendo mais tempo para a vaporização e as velocidades de reação serão menores conforme prevê a equação de Arrhenius. Essa redução de temperatura impacta mais ao óleo de palma do que ao diesel, devido ao primeiro requerer mais calor para a vaporização e atrasando o início da cinética química, Figura 34 confirma este argumento. Na carga de 75%, a temperatura no coletor de descarga é mínima, conforme mostrado Figura 31 e a diferença na emissão de óleo de palma e diesel é a máxima (58%), conforme mostrado na Figura 34.

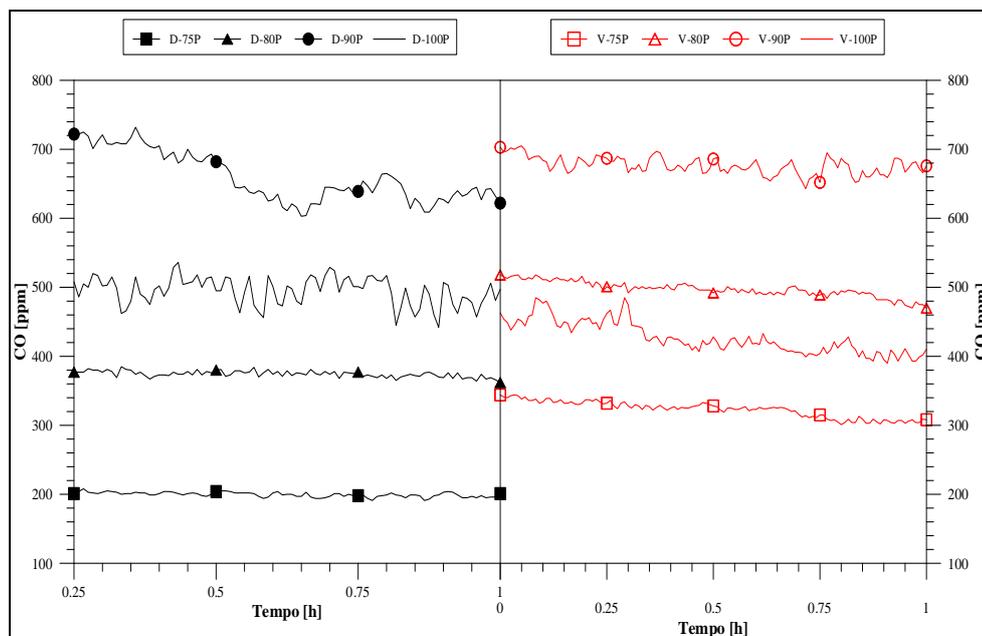


Figura 34 – Emissão do CO para óleo diesel e para óleo de palma

A Figura 35, mostra os teores de  $\text{NO}_x$  nas emissões e como já observado anteriormente, o óleo de palma promove temperaturas mais altas na combustão Figura 31, considerando a análise elemental (Tabela 5) o óleo de palma possui nitrogênio na sua composição; seria razoável antecipar maiores concentrações de  $\text{NO}_x$  operando com óleo de palma do que com diesel. Os resultados obtidos mostram exatamente o oposto. O óleo de palma produz menos concentrações de  $\text{NO}_x$  do que o diesel. Esses resultados são coerentes com os resultados obtidos por Fleury et al. (2002); Wang et al. (2006). Não está claro o

motivo, sendo interessante desenvolver estudos de cinética química para entender esse fenômeno.

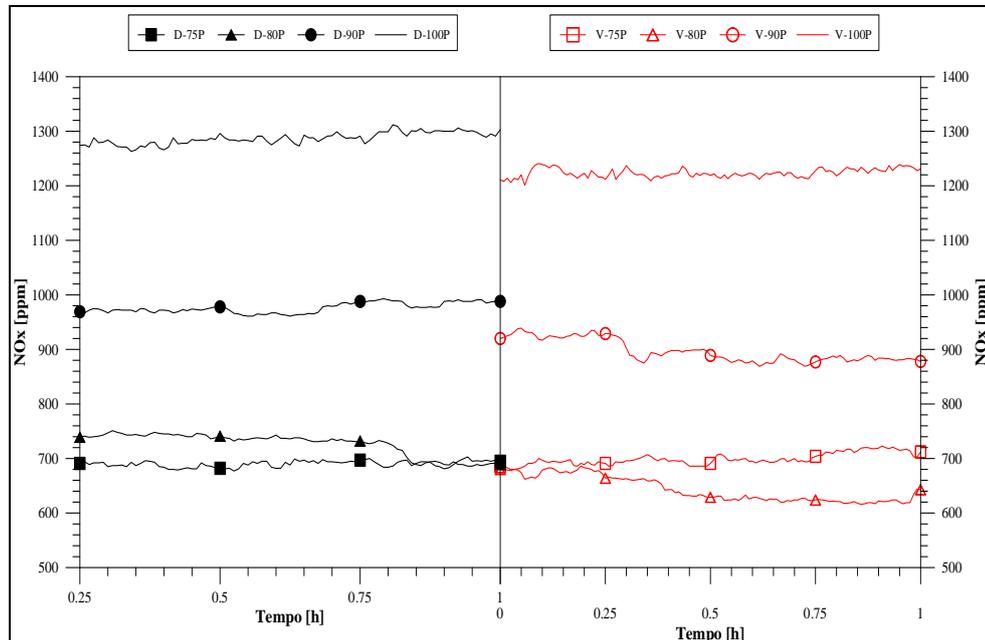


Figura 35 - Emissão do NO<sub>x</sub> para óleo diesel e para óleo de palma

A Figura 36, mostra o resultado do cálculo de CO<sub>2</sub> utilizando a Equação 5.10. Fica patente que, como o diesel possui maiores teores de carbono, conforme análise elementar (Tabela 5) deverá ter maiores concentrações de CO<sub>2</sub> do que o óleo de palma. Salientando que a equação referida, calcula a concentração no equilíbrio, portanto não necessariamente a quantidade emitida efetivamente pelo motor.

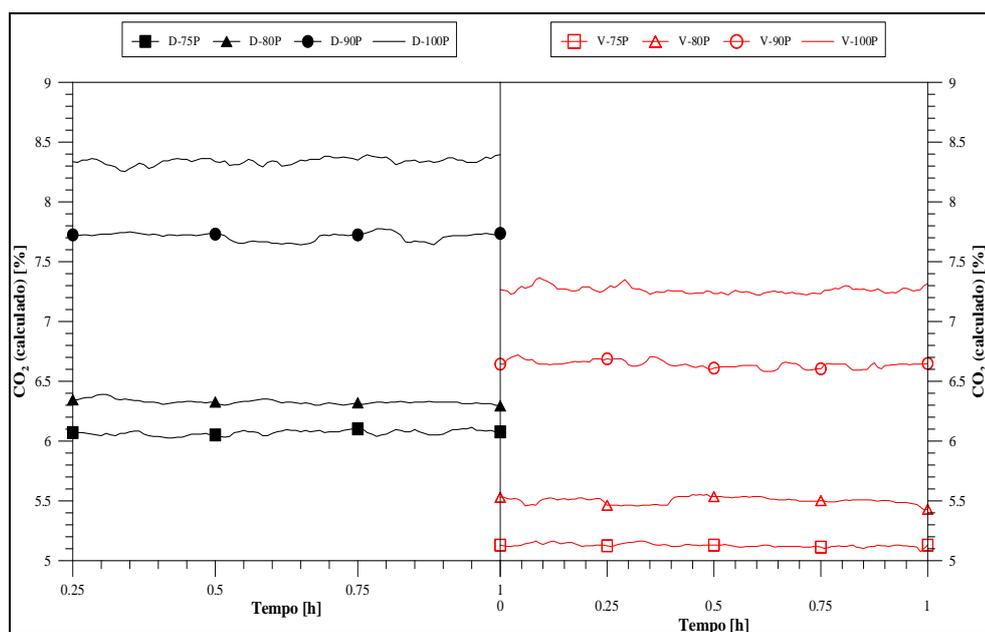


Figura 36 – Emissão do CO<sub>2</sub> calculado para óleo diesel e para óleo de palma

A Figura 37, trata da temperatura do combustível na entrada da bomba injetora e a Figura 38, da temperatura do ar ao longo dos ensaios. A temperatura alvo para os testes de óleo de palma que era de 85°C. A Figura 37 mostra a sua variação ao longo dos ensaios, ficando em média de 87,7°C e com temperatura máxima de 93°C, mostrando a eficiência do sistema de pré-aquecimento utilizado. Já o diesel era alimentado na bomba injetora na temperatura ambiente. Como o laboratório onde os ensaios foram realizados não possui climatização, portanto a temperatura ambiente variava ao longo do dia e do mês, nos limites de 32°C a 42°C. Para os cálculos de eficiência e razão de equivalência, essas variações foram levadas em consideração.

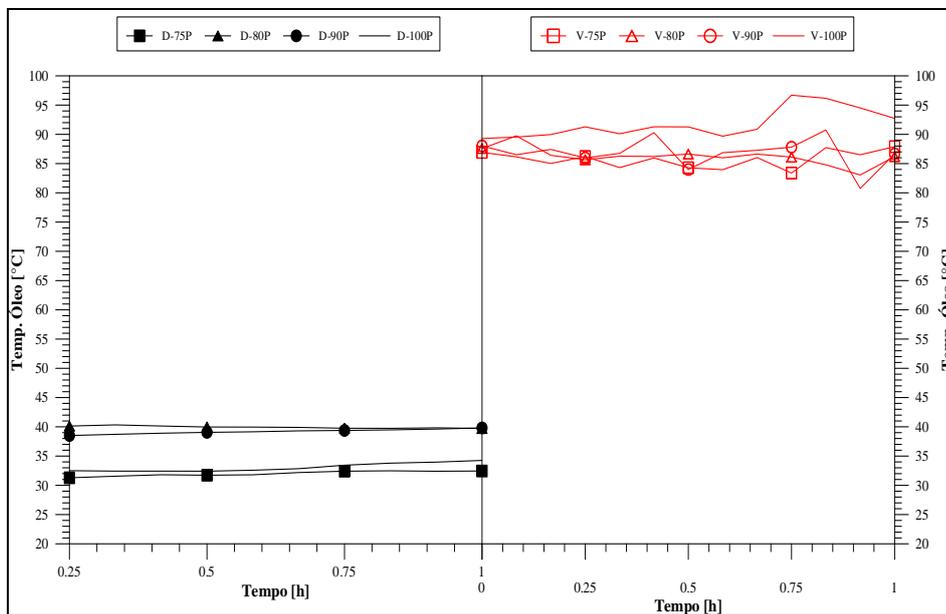


Figura 37 - Temperaturas de injeção do óleo diesel e de injeção do óleo de palma.

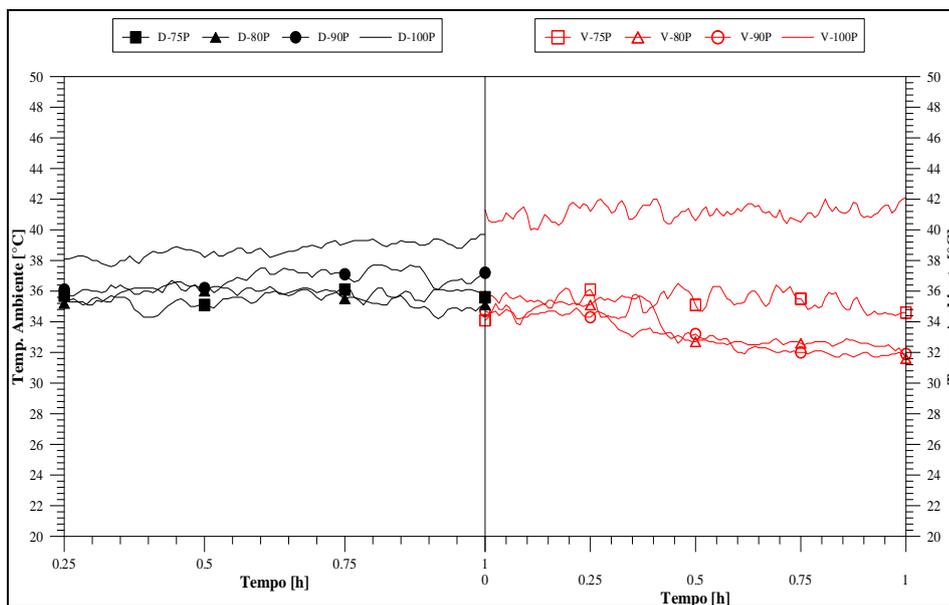


Figura 38 - Temperaturas ambiente dos ensaios.

## 9 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS

### 9.1 VALORES E EMISSÕES MÉDIAS

As Tabelas 10 e 11 mostram os valores médios das propriedades e emissões dos gases de escape durante o período de uma hora, tempo em que os resultados apresentaram uma melhor estabilidade. Esses resultados estão sendo mostrados a fim de facilitar a análise comparativa entre os resultados experimentais medidos. Todos os comentários feitos nas figuras no capítulo anterior utilizaram os valores destas tabelas.

**Tabela 10 - Valores médios das emissões dos gases de escape para o motor com óleo diesel e com óleo de palma.**

<b>Diesel</b>	<b>O<sub>2</sub></b> [%]	<b>CO<sub>2</sub></b> [%]	<b>CO</b> [ppm]	<b>NO</b> [ppm]	<b>NO<sub>x</sub></b> [ppm]	<b>T. amb.</b> [°C]	<b>T. gás</b> [°C]
D-100P	7,87	8,35	491,54	1227,54	1292,13	38,94	522,41
D-90P	8,89	7,70	636,64	929,39	978,18	37,02	509,96
D-80P	11,05	6,32	373,31	682,62	718,51	35,55	450,05
D-75P	11,43	6,08	198,57	656,79	691,46	35,73	431,21
<b>Vegetal</b>	<b>O<sub>2</sub></b> [%]	<b>CO<sub>2</sub></b> [%]	<b>CO</b> [ppm]	<b>NO</b> [ppm]	<b>NO<sub>x</sub></b> [ppm]	<b>T. amb.</b> [°C]	<b>T. gás</b> [°C]
V-100P	7,91	7,25	409,95	1163,56	1224,80	41,20	526,73
V-90P	9,04	6,62	670,52	836,79	880,77	32,15	508,58
V-80P	11,06	5,50	489,25	592,84	623,93	32,58	451,91
V-75P	11,75	5,12	314,03	670,51	705,85	35,29	432,16

**Tabela 11 - Valores médios das propriedades medidas durante o tempo de teste para o motor com óleo diesel e com óleo de palma.**

<b>Diesel</b>	<b>Vazão</b> [l/h]	<b>T. óleo</b> [°C]	<b>T. gás</b> [°C]	<b>Freq.</b> [Hz]	<b>Potência</b> [kW]	<b>Qs</b> [l/kWh]
D-100P	11,44	33,33	510,07	59,61	35,83	0,32
D-90P	10,98	39,40	484,87	60,70	34,81	0,32
D-80P	9,17	39,84	429,15	60,12	28,48	0,32
D-75P	9,10	32,21	410,11	60,63	27,48	0,33
<b>Vegetal</b>	<b>Vazão</b> [l/h]	<b>T. óleo</b> [°C]	<b>T. gás</b> [°C]	<b>Freq.</b> [Hz]	<b>Potência</b> [kW]	<b>Qs</b> [l/kWh]
V-100P	12,35	93,13	527,16	59,75	36,17	0,34
V-90P	11,66	86,30	510,12	59,38	34,03	0,34
V-80P	10,04	85,63	441,54	60,33	28,59	0,35
V-75P	9,66	85,69	425,20	60,44	27,64	0,35

As médias dos dados apresentados nas Tabelas 10 e 11 foram processadas e rearranjadas em função da variação da carga aplicada ao grupo gerador e mostradas nas figuras a seguir. Os círculos cheios representam a operação com diesel e o círculo aberto, operação com óleo de palma. A linha reunindo os círculos tem cunho puramente ilustrativo para facilitar o entendimento.

Observa-se na Figura 39a, que com a redução da carga, a potência com o óleo de palma, inicialmente maior na carga máxima de 100% tem um decréscimo em relação a potência do diesel, voltando a se igualar em torno de 83%, sendo que essa variação relativa entre as duas potências é quase desprezível.

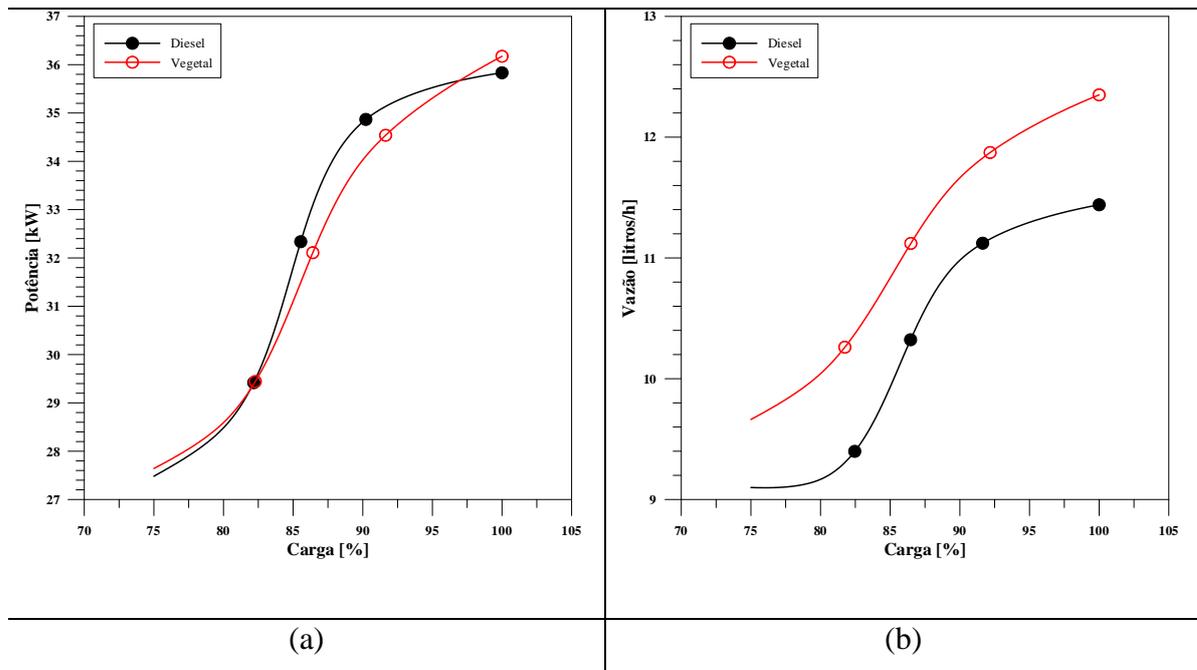


Figura 39a e 39b - Gráfico (a) potencia x carga e o gráfico (b) vazão x carga

Observa-se na Figura 39b, que a vazão mássica do óleo de palma é sempre superior (7,9%) em média que a do diesel e vai diminuindo progressivamente com a diminuição da carga, para ambos combustíveis.

Observa-se na Figura 40.a que o consumo específico operando com óleo diesel é maior para pequenas e grandes cargas. A 100% é alto, diminuindo a carga o consumo atinge o mínimo a 90% e posteriormente, volta a aumentar. O óleo de palma teve sempre o seu consumo específico superior ao do diesel e tendo um ligeiro acréscimo com a diminuição da carga.

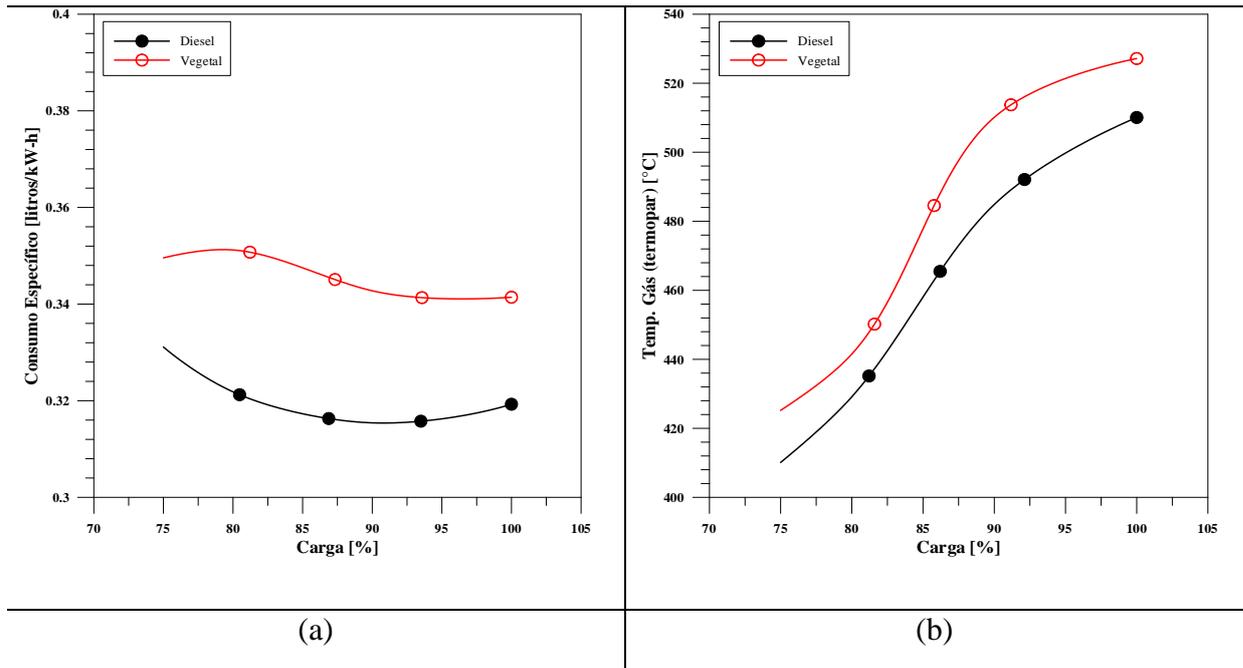


Figura 40 - Gráfico (a) consumo específico x carga e o gráfico (b) temperatura dos gases no coletor x carga

Confirmando a análise da Figura 31, para todas as cargas, a temperatura dos gases oriundo do óleo de palma é sempre superior a do diesel, confirmando a hipótese de que mais energia está sendo liberada na combustão do óleo de palma e com a diminuição da carga há o decréscimo simultâneo das temperaturas fato que pode ser observado na Figura 40.b.

Verifica-se que com a diminuição da carga as temperaturas do óleo de palma e do diesel diminuiram, não mostrou variação relativa significativa entre elas Figura 41.a.

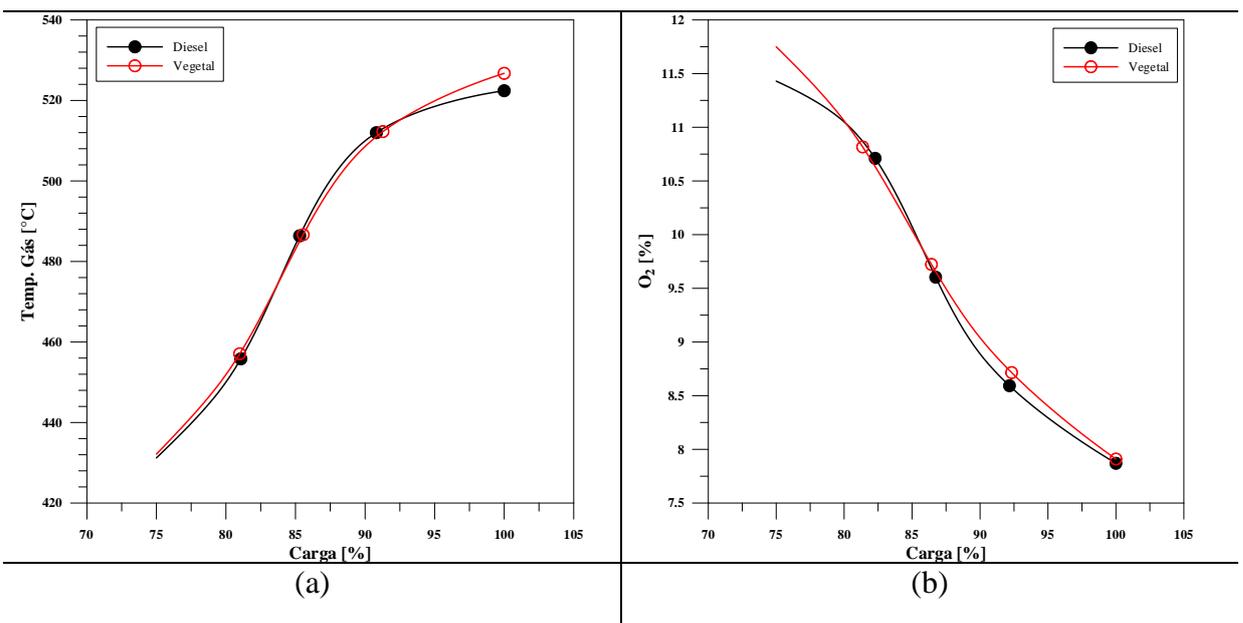


Figura 41 - Gráfico (a) temperatura do gás na amostragem x carga e gráfico (b) emissão de O<sub>2</sub> x carga

Na Figura 41.b, observa-se que com a diminuição da carga houve um pequeno acréscimo do teor de oxigênio presente nos gases de escape, entretanto com valores relativos muito semelhantes entre o óleo de palma e do diesel.

Na Figura 42.a, a 100% da carga o teor de CO é menor para o óleo de palma do que para o diesel, mas essa tendência é invertida com a diminuição da carga até atingir 95%, onde o teor de CO para o óleo de palma passa a ser superior do que o do diesel e os teores de ambos combustíveis atingem os valores máximos por volta de 90% da carga o que significa ser essa a carga mínima de funcionamento do grupo gerador sem comprometimento das condições de operação conforme Figura 39.a e Figura 40.b.

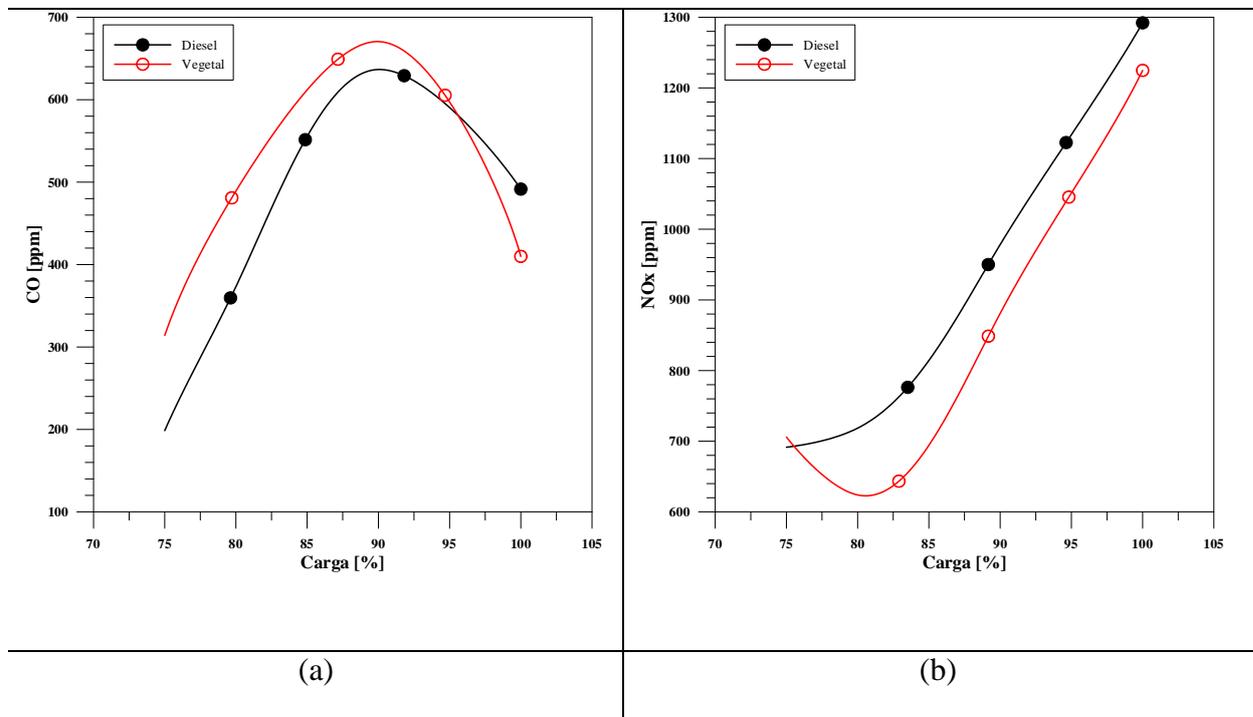


Figura 42 - Gráfico (a) emissão de CO x carga e o gráfico (b) emissão de NO<sub>x</sub> x carga

Na Figura 42.b, conforme esperado, com a diminuição da carga há um decréscimo das emissões de NO<sub>x</sub>, embora as emissões do óleo de palma sejam inferiores ao do diesel

A Figura 43.a mostra o cálculo de CO<sub>2</sub> a Equação 5.10. Pode-se observar que o diesel possui maiores teores de CO<sub>2</sub> como consequência de possuir mais carbono, conforme a análise elementar (Tabela 5), do que o óleo de palma. Com a diminuição da carga há um decréscimo das emissões para ambos os combustíveis.

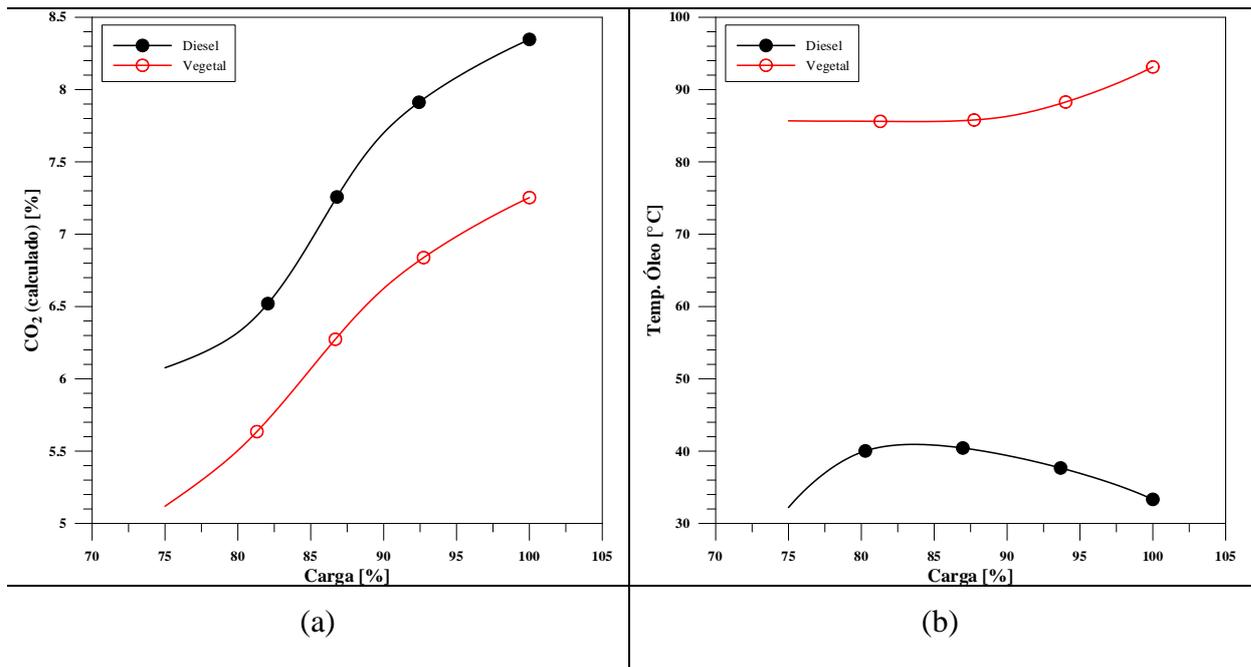


Figura 43 - Gráfico (a) valores calculados de CO<sub>2</sub> x carga e o gráfico (b) temperatura do óleo x carga.

Na Figura 43.b, verifica-se a eficiência do sistema de pré-aquecimento do óleo de palma em relação ao óleo diesel que está sujeito a variação das condições ambientais, para todas as cargas.

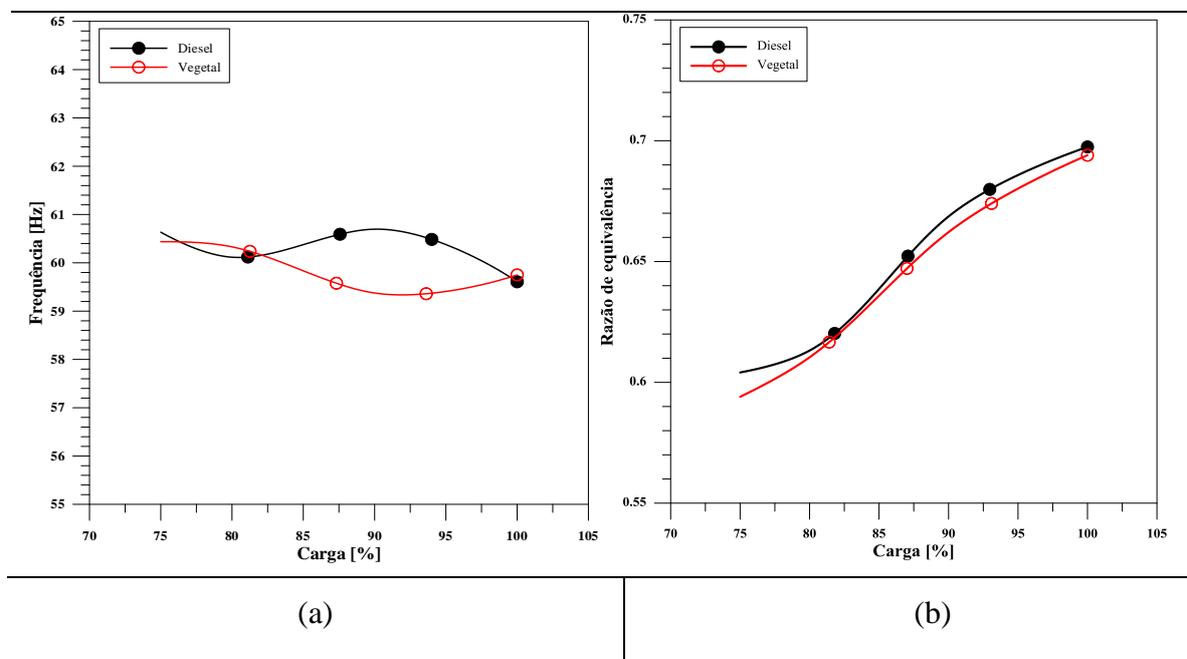


Figura 44 - Gráfico(a) da frequência x carga e o Gráfico (b) razão de equivalência x carga.

A Figura 44 (a) mostra que a frequência produzida pelo grupo gerador, mesmo com a diminuição da carga, não houve variação significativa dos valores medidos, para ambos combustíveis.

Na Figura 44 (b) mostra as curvas obtidas da (Equação 5.11), observa-se que é uma combustão de ambos combustíveis com excesso de ar, longe da proporção estequiométrica (hum) e acima do limite de combustão do diesel, o qual é 0,51. A curva do óleo de palma fica sempre inferior ao do diesel, como consequência da presença de oxigênio na estrutura química do óleo de palma. Esse elemento é consumido prioritariamente fazendo com que o residual de oxigênio seja maior que no caso do diesel, causando uma menor razão de equivalência para o óleo de palma.

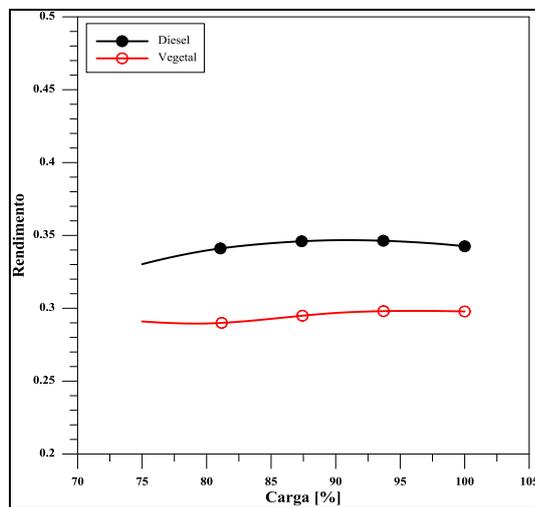


Figura 45 - Rendimento do Grupo Gerador x Carga

A Figura 45 mostra as curvas obtidas das (Equações 5.1 e 5.2), observe que a eficiência do diesel ficou ligeiramente superior a do óleo de palma (11% maior). Como o óleo de palma possui mais energia que o diesel em base volumétrica, existe aqui um potencial de aumento da eficiência do óleo de palma, com o avanço de ponto de injeção ou redução do diâmetro médio da gota de combustível injetada. Esta hipótese deve ser avaliada em trabalhos futuros, mas a diferença de eficiência medida, mesmo sem as alterações propostas já permite a utilização do óleo de palma como substituto do diesel, dependendo do preço de ambos combustíveis no grupo gerador. Além disso, essa diferença, em termos de preço pode ser compensada pelo uso de créditos de carbono uma vez que o uso do óleo de palma o qualifica como emissor de créditos de carbono.

## 10 CONCLUSÕES

Considerando os objetivos deste trabalho, concluí-se:

Quanto ao sistema de pré-tratamento do óleo de palma, ele se mostrou satisfatório no operacional e eficiente. Os resultados mostraram que o sistema de alimentação do motor não identificou a troca, permitindo vazões até maiores que a do diesel e ao longo das 150 horas de operação, o sistema de alimentação do motor (bomba injetora, bicos, tubulações) não apresentaram problemas de deteriorização. Conclui-se então que a 85°C para o óleo de palma é a temperatura indicada para operação do sistema.

Destacamos também as substituições dos equipamentos e elementos do kit original, que apresentaram desempenho eficiente e eficaz, não comprometendo o bom funcionamento do sistema motor gerador, sendo que o único dispositivo que foi conservado do original foi o módulo de controle de troca de combustível.

Nas análises das emissões de CO, no motor em questão, sem nenhuma alteração no motor, mostrou que abaixo de 90% da carga, os teores são maiores para o óleo de palma do que para o diesel, produzindo combustão incompleta o que significa ser este o limite ideal para a troca de combustível, ou seja, de óleo de palma para diesel e, por conseguinte, na temperatura de 520°C para o módulo de controle do kit possa identificar essa troca.

Podemos concluir também que a troca de combustível não afetou significativamente a geração de energia elétrica, uma vez que o sistema funcionou conservando potências e frequências identicamente iguais.

Constatou-se, da caracterização dos combustíveis, que a cada injeção de combustível, mais energia é injetada no motor funcionando com óleo de palma de que com o diesel. Ao mesmo tempo, como o óleo de palma possui oxigênio na sua estrutura, este prioritariamente consumido em substituição ao oxigênio do ar. Por outro lado, foi constatado que o óleo de palma requer mais energia para vaporizar e conseqüentemente requer mais tempo para iniciar a combustão. Esse problema pode ser contornado aumentando a área de troca de calor entre o gás-líquido. Isso pode ser alcançado reduzindo o diâmetro médio das gotas, aumentando a pressão de injeção.

Considerando os dados obtidos, pode-se sugerir para trabalhos futuros alternativas para facilitar a vaporização do óleo de palma, tais como, a redução da perda de calor, isolando

termicamente a cabeça do pistão, antecipação do ponto de injeção do óleo de palma ou aumento da taxa de compressão, utilizando turbo compressor.

Ficou claro nos ensaios que este é o ponto crítico a ser abordado nas pesquisas futuras e diretamente responsável pelo aumento da eficiência e redução do custo operacional. Constata-se que o óleo de palma possui potencial para produzir combustões mais eficientes que o óleo diesel, ou seja, se os problemas de vaporização e cinética química forem resolvidos, isso indica que o óleo de palma se adaptará melhor a motores de baixa rotação e poderá ter um desempenho superior ao do diesel.

A grande surpresa foram os teores de  $\text{NO}_x$  medidos. Apesar das indicações serem de que essas emissões seriam maiores para o óleo de palma, em função das altas temperaturas de combustão, estes se apresentaram menores. Essa medição foi confirmada com outros autores. Isso indica que estudos da cinética química do  $\text{NO}_x$  em motores consumindo óleo de palma devem ser realizados para entender o que causa essa inversão.

Bem como, se o público alvo de atendimento de energia elétrica for comunidades não atendidas pela rede formal de energia, ou seja, aqueles que estão em áreas da floresta amazônica, sugere-se estudos de outras oleaginosas nativas da região, sem valor comercial ou alimentício, como por exemplo, o óleo de muru-muru.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.** Panorama do Potencial de Biomassa no Brasil. Projeto BRA/00/29 – Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global do Clima, 2002. [www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf) (acessado em 2010).

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.** Atlas de Energia Elétrica. 3ª edição. Brasília – DF. 2008.

ALTIN, R. et al. **The potential of using vegetable oil fuels for diesel engines** – Energy Conversion and Management 2001, Vol. 42; pp 529 – 538

ATHAYDE, M. R. et al. **“Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Energia em Comunidade Isoladas”** IV ECOECO- BELÉM- PARA 2001. RESUMO.

BELCHIOR, C. R. P. et al. **The Use of Palm Oil in Diesel Engine**, 18 th International Congress of Mechanical Engineering 2005, Ouro-Preto – MG – Brasil.

BIODIESELBR – **Revista BIODIESELBR.** Maio, 2010. Disponível em: [http://www.biodieselbr.com/noticias/em\\_foco/demanda-externa-pais-30-mi-hectares-palma-12510.htm](http://www.biodieselbr.com/noticias/em_foco/demanda-externa-pais-30-mi-hectares-palma-12510.htm).

CACHAPUZ, P.B.B. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil. Oleaginosas da Amazônia.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2006. 810 p.

CENBIO. **Implantação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Utilização Energética de Óleos Vegetais** – PROVEGAM, São Paulo – São Paulo – Brasil.

COELHO, P.& COSTA, M. – **Combustão**, 1ª ed. 2007. Pag.72-75.

COELHO, S. T. et al. **A Utilização de Óleo de Palma “In Natura” Como Combustível em Grupos Geradores a Diesel.** Congresso Internacional de Biomassa. Campo Grande. MS, 2004.

COELHO, S. T. et al. **Uso de Óleo de Palm “In Natura” Como Combustível em Comunidades Isoladas da Amazônia.** III Workshop Brasil- Japão em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Campinas. SP. 2005

DOMINGUES, P. C. M. **A Interconexão Elétrica dos Sistemas Isolados da Amazônia ao Sistema Interligado Nacional.** Dissertação Universidade Federal de Santa Catarina- Pos Graduação em Engenharia de Produção- Santa Catarina – 2003.

ELS, R.V. et al. **Alternativas Energéticas para Comunidades Isoladas da Amazônia: A Energia Hidrocinética no Maracá**, sul do Amapá. VI Encontro Nacional da ECOECO- Brasília-DF.2005.

**EMBRAPA – ZONEAMENTO AGROECOLÓGICO DO DENDEZEIRO PARA AS ÁREAS DESMATADAS NA AMAZÔNIA LEGAL.** CNPS. Embrapa. Rio de Janeiro:2010. [http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento\\_dende/ZonDende.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_dende/ZonDende.pdf).

EVANS, T. et al. Disparidades Inaceptables en el Campo de la Salud. In .EVANS, T., WHITEHEAD, M., DIDERICHSEN, F., BHUIYA, A., WIRTH, M. (Ed.). **Desafio a la falta de equidad en la salud: de la ética a la acción**. Organización Panamericana de la Salud. Publicación Científica y técnica N. 585. Cap. 1. p. 1 – 11. Washington, DC., Organización Panamericana de la Salud. 2002.

FERRAZ, I. “**Resposta de Tucuruí: o caso dos Parkatêjê**”. ENERGIA NA AMAZÔNIA. Organização Sônia Barbosa Magalhães, Rosyan de Caldas Britto e Edna Ramos de Castro. Museu Emilio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Associação de Universidades Amazônicas. Vol.II, Belém, 1996.

FLEURY, G. et al. **Performance of a Diesel Generator Fuelled with Palm Oil**. Fuel First. 2002. Elsevier Science Ltd. Fuel 81(2002)2097-2102.

FLOWERS, L. et al. **Renewable for Sustainable Village Power**. WindPower 2000 Conference. Palm Springs. April 30 – may 4,2000.

FONSECA, C. H. M.; **Substituição do Óleo Diesel por Combustível Alternativo na Geração de Energia Elétrica**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.2007.

FROTA, W. et al. **Especificidades dos Sistemas Elétrica Isolados da Amazônia**. In. Congresso Brasileiro de Energia, 10 - 2004, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Programa de Planejamento Energético – COPPE/UFRJ, 2004.

IICA. **Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Informes sobre a situação e perspectivas da agroenergia e dos bicomcombustíveis no Brasil**. IICA, 2007.

INOUE, G. H. **Uso do Óleo Vegetal em Motor Estacionário de Ciclo Diesel**. Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Minas Gerais – Brasil 2008.

Jr. PIANOVSKI, G. **Utilização de Misturas de Óleo de Diesel e Ésteres Etilicos de Óleo de Soja Como Combustível Alternativos: Analise do Desempenho e do Processo de Combustão no Motor Diesel**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Pontifícia Universidade Católica do Paraná- PUC-Curitiba-Brasil. 2002.

KALTNER, F.J. **Geração de Energia Elétrica em Pequenas Comunidades da Amazônia, utilizando óleo vegetal “in natura” de espécies nativas como combustíveis em motores diesel**. SAEX 2004. Módulo 1- Biomassa.9p.

LIMA, J. R. “**Políticas de governo e desenvolvimento do setor de energia elétrica do código de águas à crise dos anos 80 (1934-1984)**”. Memória da Eletricidade, Rio de Janeiro, 1995.

MARZULLO, R.C.M. **Análise de Ecoeficiência dos Óleos Vegetais Oriundos da Soja e Palma, Visando a Produção de Biodiesel**. Dissertação a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário “Dossiê Biodiesel”. Disponível em [sistemas.mda.gov.br/condraf/arquivos/1372414257.pdf](http://sistemas.mda.gov.br/condraf/arquivos/1372414257.pdf). Acessado em 2010.

MEINECKE, P. R. **Estudo do Impacto da Oferta de Energia Elétrica em Comunidades Isoladas na Amazônia** – Uma Abordagem Usando Dinâmica de Sistemas. Dissertação. Universidade de Brasília – Centro de Desenvolvimento Sustentável – Brasília-DF-2005.

MIRANDA, R. de M. et al. **Óleo de palma, Alternativa ao Óleo Diesel como Combustível para Geradores de Energia em Comunidade da Amazônia. Embrapa Amazônia Ocidental 2003.** Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000002200000200042&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000002200000200042&script=sci_arttext) >. Acesso em: 5 jul. 2008.

MME – **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis.** Ministério de Minas e Energia-SPGCR/DCR. Agosto 2010. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/spg/galerias/arquivos/publicações/boletim\\_mensal\\_combustíveis\\_renováveis/Boletim\\_DCR\\_nx\\_032-agosto\\_de\\_2010.pdf](http://www.mme.gov.br/spg/galerias/arquivos/publicações/boletim_mensal_combustíveis_renováveis/Boletim_DCR_nx_032-agosto_de_2010.pdf).

NAMOURA, S.M. et al. **Prospecção de Espécies Oleaginosas no Estado do Amazonas.** II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. Brasília-DF. 2007.

ONS – **OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO** – Mapa do Sistema Interligado Nacional. Sistema de Transmissão Horizontal 2012. Disponível em: [www.ons.org.br/conheca\\_sistema/mapas\\_sin](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin). Acessado em 2010.

PIMENTEL, V. S. de B. **Análise e Diagnóstico de Diesel-Generadores Operando com Óleo de palma “in natura”.** Tese, UFRJ, 2002, Rio de Janeiro – Brasil.

PUGAZHVADIVU, M. et al. **Investigations on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Preheated Waste Frying Oil as Fuel** – Renewable Energy 2005, Vol. 30; PP 2189 – 2202.

RAMADHAS, A. S. et al. **Use of Vegetables Oils as I.C. Engine Fuels** – A review – Renewable Energy 2004, Vol. 29; PP 727-742.

ROCHA, H. Z. **Combustão de Óleo Lubrificantes Usados em Motores Diesel.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará –PPGEM. Belém- Pará. 2009.

SALAMA, C. **Estudo da Viabilidade de Utilização de Óleos Vegetais em Substituição ao óleo diesel.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) – Rio de Janeiro. 1982.

SANTOS, A. M. **Análise do Potencial do Biodiesel de Dendê para a Geração Elétrica em Sistemas Isolados da Amazônia.** Dissertação- Universidade Federal do Rio de Janeiro- COPPE /UFRJ- Rio de Janeiro 2008.

SEGUNDO, E.I da C. **Estudo de Energia Eólica para a Ilha de Marajó.** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, INPE – São Jose dos Campos-SP. 2009.

SILVA, O. C. **Experiência da Utilização Energética de Óleo Vegetal in natura em Comunidades isoladas da Amazônia.** 1º Fórum Brasil – Alemanha de Bicomustíveis. CENBIO, 2004.

SOARES, G. F. W. et al. **Operação de um grupo gerador Diesel utilizando óleo vegetal bruto como combustível**. Encontro de Energia no Meio Rural, Ano 3, Setembro 2000.

SOUZA, R. C. R. **Planejamento do Suprimento de Eletricidade dos Sistemas Isolados na Região Amazônica**: Uma Abordagem Multi Objetiva. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica- Departamento de Energia- Campinas- São Paulo- 2000.

TEIXEIRA, A. F. “**A Geração de Energia Elétrica em um Modelo de Desenvolvimento Endógeno para as Comunidades Isoladas do Interior do Estado do Amazonas**”. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica. Sub Área Planejamento em Sistemas Energéticos- Campinas-SP-Brasil – 2006.

TORRES, E. A. **Avaliação de um Motor do Ciclo Diesel Operando com Óleo de palma para Suprimento Energético em Comunidades Rurais**. Encontro de Energia no Meio Rural, Ano 3, Setembro 2003.

VELLOSO, R.. Projeto GEO Cidades “**Relatório Urbano Ambiental Integrado**”. Manaus(AM) 2002.

WANG, Y.D. et al. **An Experimental Investigation of the Performance and Gaseous de Exhaust Emission of a Diesel Engine Using Blends of a Vegetal Oil**. Applied Thermal Engineering (2006).

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)