



PROJETO DE GRADUAÇÃO 2

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA QUEIMA
SIMULTÂNEA DE ÓLEO VEGETAL E GÁS DE
SÍNTESE EM MOTORES DIESEL**

Por,

Marcos Paulo dos Santos Lima

Brasília, 9 de setembro de 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO 2

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA QUEIMA SIMULTÂNEA DE ÓLEO VEGETAL E GÁS DE SÍNTESE EM MOTORES DIESEL

POR,

Marcos Paulo dos Santos Lima

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Carlos Alberto Gurgel Veras, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Armando P. Caldeira, UnB/ ENM

Prof. Mário B. B. de Siqueira, UnB/ ENM

Brasília, 19 de Agosto de 2010

Brasília, 26 de agosto de 2010.

Agradecimentos

Dedico o presente trabalho à minha família, e principalmente a Deus que muito me apoiou e apoia em todos os dias da minha vida; a todos os professores, que com paciência me ajudaram quando foi preciso; a todos os amigos e colegas, que, dia após dia mostraram a sua amizade nas horas necessárias.

Marcos Paulo dos Santos Lima

RESUMO

O presente texto apresenta o projeto que objetiva avaliar o desempenho de motores de combustão interna quando se adiciona gases de síntese proveniente de uma planta de gaseificação de biomassa. Como chama piloto será empregado o óleo vegetal, in natura, proveniente da palmeira do Tucumã, que deu origem a biomassa. Sendo composto pelo estudo teórico de operação no ciclo diesel modo duplo combustível, e dos processos de gaseificação de biomassa, assim como a possibilidade de sua aplicação em comunidades isoladas.

ABSTRACT

The present text presents the project that objective to evaluate the performance of engines of internal combustion when if it adds gases of synthesis proceeding from a plant of gasification of biomass. As it calls pilot will be used the vegetal oil, in natura, proceeding from the palm that gave to origin the biomass. Being composed for the theoretical study of operation in the cycle diesel combustible double way, and of the processes of gasification of biomass, and the possibility of its application in isolated communities.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA | 9 |
| 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 1.3 OBJETIVOS | 13 |
| 1.3 METODOLOGIA | 13 |
| 1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 2.1 GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATUAL | 15 |
| 2.2 TUCUMÃ | 20 |
| 2.3 ÓLEO VEGETAL | 22 |
| 2.3.1 EXTRAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL | 24 |
| 2.3.2 ÓLEO VEGETAL DE TUCUMÃ | 25 |
| 2.4 BIOMASSA | 27 |
| 2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E SEUS DERIVADOS | 28 |
| 2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DO TUCUMÃ | 29 |
| 2.5 GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA | 30 |
| 2.5.1 GASEIFICADOR DE LEITO FIXO CO-CORRENTE | 31 |
| 2.5.2 DIMENSIONAMENTO DO REATOR | 33 |
| 2.6 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA | 35 |
| 2.6.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA 4 TEMPOS | 35 |
| 3 CARACTERIZAÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL | 43 |
| 3.1 GRUPO MOTO-GERADOR | 45 |
| 3.1.1 O MOTOR | 45 |
| 3.1.2 SISTEMA DE FILTRAGEM DE COMBUSTÍVEL | 46 |
| 3.1.3 SISTEMA DE CONTROLE DE COMBUSTÍVEL | 46 |
| 3.1.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO DO COMBUSTÍVEL | 46 |
| 3.1.5 O GERADOR ELÉTRICO | 47 |
| 3.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO | 48 |
| 3.2.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL | 48 |
| 3.2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO DA ENERGIA GERADA | 48 |
| 3.2.3 BANCO DE RESISTÊNCIAS | 49 |
| 4 RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS | 49 |
| 5 CONCLUSÃO | 60 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| ANEXOS | 64 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Mapa de Distribuição de Linhas Elétricas (Fonte: ONS 2008) | 16 |
| Figura 2 – Sistema Elétrico Isolado (Fonte: ANEEL 2008) | 17 |
| Figura 3 - Floresta Amazonica(Fonte:Guedes,2006) | 20 |
| Figura 4 - Palmeira de Tucumã (Fonte: Guedes 2006)..... | 21 |
| Figura 5 - Fruto do Tucumanzeiro (Fonte: Guedes, 2006)..... | 22 |
| Figura 6 – Principais regiões em um reator co-corrente de gaseificação (CDT/UNB, João Nildo de Souza Vianna e Gurgel Veras, 2010)..... | 33 |
| Figura 7 - Ciclo Operativo do Motor 4 Tempos (Silva, 2008)..... | 36 |
| Figura 8 - Ciclo Otto (Cengel, 2001)..... | 36 |
| Figura 9 - Ciclo Diesel (Prof. Joseph MARTIN,2008)..... | 37 |
| Figura 10 - Alimentação Modo Duplo Combustível (Instituto de Pesquisa e Tecnologia, 2008)..... | 38 |
| Figura 11 - Ciclo Modo Duplo Combustível (INstituto de Pesquisa e Tecnologia, 2008)..... | 39 |
| Figura 12 - Características de sprays em diferentes condições e tempos (adaptado de Valentino ET AL., 2009)..... | 40 |
| Figura 13- Ignição espontânea (Prof. Joseph MARTIN, 2008)..... | 41 |
| Figura 14 - Fluxo de Energia | 43 |
| Figura 15 - Bancada Experimental (Veras et al.adaptado, 2010) | 43 |
| Figura 16 – Bancada com reator de 400 mm | 44 |
| Figura 17 – Bancada com o reator de 260mm | 45 |
| Figura 18 – Amostra do fruto sem polpa, casca e castanha | 50 |
| Figura 19 – Óleo da castanha do Tucumã | 51 |
| Figura 20 – Óleo da castanha e da polpa(mesocarpo) do Tucumã..... | 51 |
| Figura 21- Óleo do Tucumã | 52 |
| Figura 22 – Amostra da biomassa do coco do Tucumã..... | 52 |
| Figura 23 – Biomassa e a queima de voláteis, reator de 400 mm de diâmetro interno. | 53 |
| Figura 24- Biomassa em final pirólise, reator 400 mm de diâmetro interno. | 53 |
| Figura 25 – Biomassa, formação de carvão, reator de 400mm de diâmetro interno. | 53 |
| Figura 26 - Biomassa e a queima de voláteis, reator de 260 mm de diâmetro interno 1..... | 54 |
| Figura 27- Biomassa e a queima de voláteis, reator de 260mm de diâmetro interno 2. | 54 |
| Figura 28 - Biomassa em final pirólise, reator 260mm de diâmetro interno. | 55 |
| Figura 29 – Gráfico Consumo x Potencia Gerada (óleo diesel) | 55 |
| Figura 30 - Consumo x Potencia Gerada (diesel+gas) | 56 |
| Figura 31 - Consumo x Potência Gerada (óleo tucumã + gás) | 56 |
| Figura 32 - Consumo x Potência Gerada (óleo diesel + gás) | 57 |
| Figura 33 - Consumo x Potência Gerada (óleo tucumã + gás) | 58 |
| Figura 34 - Temperatura do Gás de Síntese x Tempo..... | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Sistemas Isolados da Amazônia(Aneel, 2008)..... | 18 |
| Tabela 2 - Centrais térmicas a biomassa em operação na região amazônica (Aneel,2008)..... | 19 |
| Tabela 3 - Caracterização física do fruto in natura de tucumã | 21 |
| Tabela 4 – Propriedades físico-químicas de quatro lotes de óleos de amêndoas, (Barbosa ET. AL.,2009)..... | 26 |
| Tabela 5 – Composição de ácidos graxos do óleo da castanha de Tucumã,(Barbosa ET. AL.,2009) | 26 |
| Tabela 6 – Composição físico-química do óleo do epicarpo e mesocarpo (Fonte – Ferreira 2008) | 26 |
| Tabela 7 - Composição de ácidos graxos do óleo do mesocarpo e epicarpo do tucumã (Fonte – Ferreira 2008) | 27 |
| Tabela 8 - Composição físico-química do fruto in natura (Fonte - Ferreira 2008)..... | 29 |
| Tabela 9 – Teores do caroço do Tucumã..... | 30 |
| Tabela 10 - Reações Heterogêneas e Homogêneas | 31 |
| Tabela 11 – Performance características de um reator de 203 mm de diâmetro para produção de gás de síntese(Fonte: Jain, 2006)..... | 35 |
| Tabela 12 – Pesos médio e percentuais relativos das diferentes partes dos frutos frescos (Linda, 2010) | 49 |
| Tabela 13 – Ensaio óleo diesel. | 64 |
| Tabela 14 – Ensaio óleo diesel e biomassa, reator 400 mm de diâmetro..... | 64 |
| Tabela 15 – Ensaio óleo vegetal tucumã e biomassa, reator de 400 mm de diâmetro. | 65 |
| Tabela 16 – Ensaio óleo diesel e biomassa, reator de 260 mm de diâmetro. | 65 |
| Tabela 17 – Ensaio óleo vegetal tucumã e biomassa, reator de 260 mm de diâmetro. | 65 |

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

| | | |
|----------|------------------------------|----------------------|
| <i>P</i> | Potência | [W] |
| <i>U</i> | Voltagem | [Volt] |
| <i>I</i> | Corrente Elétrica | [A] |
| PCI | Poder Calorífico Inferior | [kJ/kg] |
| PCS | Poder Calorífico Superior | [kJ/kg] |
| PCV | Poder Calorífico Volumétrico | [kJ/m ³] |
| A | Área | [Km ²] |

Siglas

| | |
|-------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| IPT | Instituto de Pesquisa e Tecnologia |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas |
| ANEEL | Agencia Nacional de Energia Elétrica |
| GTON | Grupo Técnico de Operação da Região Norte |
| IDH | Índice de Desenvolvimento Humano |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| CCC | Conta de Consumo de Combustíveis |
| SI | Sistema Isolado |
| RE | Relação de Equivalência |
| TGE | Taxa Especifica de Gaseificação |
| TGPE | Taxa Especifica de Produção de Gás |

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

O uso da energia elétrica se tornou um fato quase que indispensável para o ser humano. Principalmente quando a grande maioria dos instrumentos usados para o trabalho, conforto e sobrevivência tem como alimentação energética, a energia elétrica.

A energia elétrica por ser uma energia considerada de alta nobreza, do ponto de vista de um planejamento energético. Principalmente pelo fato de ter uma alta disponibilidade em poder transformá-la em outras formas de energia, atualmente tem a maioria das máquinas e utensílios domésticos vinculados à sua utilização.

Porém, essa forma de energia, principalmente no Brasil, não é de fácil acesso a todos os interessados em seu uso. É de conhecimento geral, que a distribuição de energia elétrica no país ainda é uma distribuição deficiente e desigual a todos aqueles que desejam e fazem uso dessa forma de energia.

Sabe-se também que há vários tipos de políticas nacionais para viabilizar uma melhor distribuição e acesso a toda população por essa forma de energia, porém até então, por características geográficas peculiares, algumas regiões são prejudicadas ao acesso a energia elétrica.

Regiões como o Norte, parte do Nordeste e Centro-Oeste do país sofrem com essa deficiência, principalmente a região Norte. Características tais como: baixa densidade demográfica, solo irregular com várias dificuldades de acesso e locomoção graças a obstáculos naturais, impõem dificuldades ao acesso dessa população às linhas de energia elétrica. Linhas essas que conduzem parte da distribuição convencional de energia elétrica de todo país.

Por esse motivo, na região Norte, a energia elétrica produzida, é em sua maior parte ou em quase toda a sua totalidade produzida em estações termoelétricas a diesel. Havendo assim, grandes dificuldades para a alocação e distribuição de combustível, no caso o óleo diesel, além do alto custo para a operação desse tipo de sistema de produção de energia.

No entanto, a riqueza da matriz energética dessa região é enorme. A grande quantidade de espécies de oleaginosas presentes nesse território, junto aos vários tipos de árvores e palmeiras, faz dessa região um lugar em potencial para o aproveitamento energético dessas espécies. A quantidade de energia na forma de biomassa e seus derivados se aproveitada de maneira consciente e racional pode mudar a vida da população dessa região.

Daí então surge a idéia de empregar junto a um planejamento energético o uso do óleo vegetal e da biomassa no qual esse óleo é provindo, para a alimentação de um sistema gerador de energia elétrica. Podendo assim abastecer as varias comunidades isoladas com a presença desse tipo de

sistema, que é um sistema não muito grande e pode ser facilmente alocado em cada comunidade isolada, ou pequeno povoado. Caracterizando assim pequenas unidades geradoras de energia.

Esse sistema é composto por um conjunto de gaseificação de biomassa junto a um moto-gerador diesel, no qual com algumas adaptações específicas estará apto a gerar energia elétrica com o uso de óleo vegetal in natura e gás de síntese proveniente da gaseificação da biomassa.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil desde que sofreu seu processo de ocupação pela civilização européia em meados do século XVI sempre teve por característica algumas regiões mais desenvolvidas que outras. Ou seja, as regiões menos lembradas sempre foram as regiões menos desenvolvidas. Porém, esse esquecimento se deu principalmente pela grande dificuldade que vários desbravadores passavam para poderem chegar a lugares de difícil acesso e de vários perigos eminentes, com vários tipos de animais perigosos e de povos nativos.

O povoamento do país sempre se deu da região litorânea para o interior do país, de tal maneira que aqueles que habitavam o interior do território sempre estiveram à margem por aqueles que habitavam as regiões mais povoadas e desenvolvidas. Porém o interior, quando lembrado, desperta e muito o interesse quanto as suas potencialidades e riquezas naturais.

A consequência desses fatos nos dias de hoje saltam aos olhos. O “interior” é a região menos beneficiada pelo desenvolvimento tecnológico, como exemplo a região amazônica, na qual se encontra vários povos isolados dispersos em uma grande área, possuindo assim uma baixa densidade demográfica, menor que 2 habitantes por km².

A baixa densidade demográfica, o baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH < 0.6) e a falta de distribuição de rede elétrica caracteriza essa região. A quantidade de povos isolados na região amazônica é grande. São pessoas que vivem da subsistência. Colhem aquilo que a floresta lhes dá. Porém vivem em cultura à parte do restante do país. Isso se dá pelo fato dessa população ser desprovida de melhores condições de vida, como: educação, conforto, alimentação, comunicação e principalmente pela falta de energia elétrica.

A região amazônica na qual é rica em sua biodiversidade, principalmente pela sua grande quantidade de oleoginosas, incluindo vários tipos de palmeiras, como: Tucumã. As população dessa região podem usufruir dessas palmeiras e seus frutos e produzir óleo vegetal in natura e biomassa de boa qualidade. O óleo vegetal, em função das características de cada espécie de origem, pode ser usado para vários fins, como: cosméticos, culinária e até para fins energéticos. A biomassa que restar após a obtenção do óleo pode ser usada para fins energéticos.

A matriz energética que compõem as espécies de palmeiras oleoginosas pode servir de grande utilidade para aqueles que possuem em grande abundância e não faz o uso devido dessa fonte de energia. Ou seja, as comunidades rurais da região amazônica pode fazer uso desse bem para o seu próprio benefício e desenvolvimento. Essa possibilidade pode se tornar viável com o uso do óleo vegetal in natura e do gás de síntese na alimentação de um motor de combustão interna acoplado a um gerador de energia elétrica.

O motor de combustão interna foi inventado por Etienne Lenoir no ano de 1860 na qual desenvolveu um motor de um de dois tempos com ignição a centelha, já no ano de 1862 Alphonse Beau de Rochas descreveu um motor com um ciclo de quatro tempos, no entanto não teve muito sucesso, porém no ano de 1876 Nikolaus Otto mostrou ao mundo um motor com o ciclo de quatro tempos de ignição a centelha no qual poderia desenvolver uma alta performance em meio a indústria com a sua utilização. Já no ano de 1870 o inglês Dugald Clerk mostrou ao mundo o primeiro motor de ciclo dois tempos que comprimiu uma mistura.

Foi pensando em um melhor desenvolvimento termodinâmico do ciclo do motor de combustão interna que Brayton no ano de 1872 atentou ao fato que o ar e o gás combustível deveriam ser comprimidos separadamente antes de serem injetados no cilindro de tal modo que Brayton partia do princípio que o combustível e o oxidante deveriam ser adiados te a sua união, antes da combustão propriamente dita. Isso foi feito para que a queima no cilindro pudesse ocorrer a uma pressão constante.

Os conhecimentos de Brayton influenciaram Rudolf Diesel, no qual desenvolvia estudos direcionados ao aquecimento resultante da compressão do ar para pode causar a ignição do combustível, caracterizando assim uma ignição espontânea. No entanto que no ano 1890, Diesel desenvolveu um motor com esse princípio, mas com a intenção de usar um combustível sólido finamente pulverizado, o sucesso só foi alcançado em 1897, no qual ele desenvolveu ensaios do seu motor com o uso de óleo vegetal como combustível. Seus primeiros motores eram movidos com óleo de amendoim. No entanto, o uso do óleo diesel veio se dar anos depois ao advento de Rudolf Diesel.

As pequenas comunidades rurais isoladas da Amazônia fazem uso de moto-geradores a diesel para produção de energia elétrica. A possibilidade do uso do óleo vegetal nesses motores, que compõem essas pequenas unidades produtoras de energia, gera uma esperança quanto ao uso dessa tecnologia nessas comunidades.

Há várias adaptações necessárias de serem feitas nos motores a diesel com o fim de promover o seu funcionamento com óleo vegetal. Essas adaptações, nas quais são chamadas de kits, já é uma realidade no Brasil e na Europa. Esses kits tem por principal finalidade aquecer o óleo vegetal antes de sua injeção na câmara de combustão, com o objetivo de diminuir a viscosidade do líquido.

No Brasil existem alguns testes com o uso de óleo vegetal em tratores da marca Case, o que mostra a viabilidade do uso do óleo vegetal em motores Diesel. Na Europa também há vários casos de usos e testes de óleo vegetal em motores como: Deutz, fabricante de motores e tratores diesel na Alemanha (Agritechnica Show de Hanover, Alemanha 2007) por exemplo e outros.

No entanto, não é só a obtenção de energia advinda do óleo vegetal que chama a atenção para solucionar a questão de produção de energia elétrica para comunidades isoladas com o uso de pequenas unidades geradoras de energia elétrica.

A gaseificação de biomassa é uma solução que junto ao uso do óleo vegetal pode produzir ótimos resultados. O fato da madeira ter sido usada pelo ser humano como um dos primeiros combustíveis demonstra como a biomassa é uma importante fonte energética. Mas desde o século XVIII o homem tem tentado dominar a tecnologia da gaseificação de biomassa e produção de gás de síntese de tal forma que já no século XIX, no seu início por volta de 1812, a gaseificação do carvão se tornou um processo comercial, já no ano de 1821 já existia as primeiras plantas de gaseificação na Europa.

Porém, no ano de 1860 surgiu o primeiro motor de combustão interna a ser movido a gás, no entanto o gás de síntese só foi usado para mover o primeiro motor no ano de 1900. O desenvolvimento do processo de gaseificação foi evoluindo e entre os anos de 1910 e 1920 Georges Christian Peter Imbert desenvolveu a gaseificação de biomassa. A gaseificação até então era feita somente com o carvão. No ano de 1945, mais de 500.000 veículos empregavam a tecnologia da gaseificação para o seu funcionamento.

A utilização do gás de síntese em pequenas unidades geradoras de energia elétrica, como moto-geradores, também é uma das soluções para o funcionamento de pequenas unidades geradoras em lugares de difícil acesso, assim como na região amazônica, isso se dá pelo fato de serem unidades de pequeno porte.

O uso dos recursos proporcionados pelas espécies de palmeiras oleoginosas como fonte de energia para a produção de energia elétrica é de extrema importância para facilitar o abastecimento de energia elétrica nas pequenas comunidades rurais isoladas da Amazônia. O simples uso do óleo vegetal provindo do coco de uma palmeira oleoginosa e o uso da casca do coco dessa espécie em um gaseificador de biomassa, para a produção de gás de síntese, faz do Tucumã uma importante fonte energética dentre os vários tipos de palmeiras amazônicas.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo:

- Revisão bibliográfica sobre o assunto;
- Caracterização dos combustíveis;
- Avaliação preliminar da planta de gaseificação, reator;
- Avaliação do ciclo motor Diesel modo duplo combustível e sua chama piloto.
- Realização de ensaios de longa duração.
- Discussão e sugestão de melhorias.

1.3 METODOLOGIA

A bancada experimental consiste de um sistema de gaseificação de biomassa que se encontra em plena união com um grupo moto-gerador e um sistema de aquisição de dados. A metodologia proposta consiste em utilizar esses equipamentos disponíveis para analisar o uso do gás de síntese junto ao próprio óleo extraído da biomassa que será gaseificada e assim alimentar um motor de combustão interna. Analisando desse modo o consumo específico e a energia elétrica gerada. Tudo isso se dá de tal modo que o foco seja diretamente direcionado para o uso desse pequeno sistema de geração de energia em pequenas comunidades isoladas.

O funcionamento é destinado para o uso de combustível local, no caso floresta amazônica, que fará o uso de óleo vegetal e biomassa proveniente de alguma espécie vegetal local. No caso desse presente trabalho será analisado o uso específico do Tucumã.

1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, tais que, primeiro capítulo tem por principal função demonstrar a importância do tema em questão junto a possibilidade e necessidade do emprego e utilização do mesmo nos dias atuais.

O segundo capítulo demonstra uma revisão dos principais conceitos que serão necessários para abordar o trabalho, sendo que conceitos como: óleo vegetal, biomassa, gaseificação de biomassa, motores de combustão interna, alimentação de um motor com óleo vegetal e uma demonstração da realidade de distribuição de energia elétrica no país.

Logo em seguida, o terceiro capítulo apresenta a composição e os detalhes da bancada de experimental, junto a dados de sua montagem e detalhes de seu funcionamento.

O quarto capítulo é composto por resultados experimentais obtido na realização do trabalho, junto a alguns dados obtidos da bibliografia, de tal modo que venham caracterizar o uso do Tucumã para o fim de obtenção de energia com o seu uso em pequenas unidades geradoras de eletricidade.

O quinto capítulo é a conclusão do trabalho junto a sugestão de melhorias e de perspectivas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATUAL

A Amazônia Legal é uma área muito grande sendo composta por 5.217.423 km². Essa área é tão importante que corresponde 61% da área total do território nacional. Porém em todo esse território não há de uma distribuição de energia elétrica igualitária quando comparado a todo território nacional.

O fato de o Brasil ser um país de grande extensão faz com que o sistema nacional de produção e transmissão de energia elétrica, a qual faz a ligação entre as regiões: Sul , Sudeste ,Centro-Oeste , Nordeste e Norte (parte dessa região) , venha ser composto por uma grande extensão de linhas de transmissão de energia elétrica.

As características que cada região possui, são diferentes uma das outras. Isso fez que com o decorrer do tempo, um layout característico da distribuição dessas linhas de transmissão elétrica fosse formado. No entanto, esse fato veio mostrar que tanto a geração, a distribuição e a transmissão de energia elétrica, foi principalmente caracterizado pelos valores econômicos e tecnológicos presentes em cada uma dessas regiões.

A energia elétrica produzida no país, é proveniente em sua maioria de fontes hídricas e térmicas. Dentre essas várias regiões, as empresas produtoras de energia elétrica estão unidas formando o Sistema Interligado Nacional, SIN. Esse sistema é responsável por cerca de 96,6% de toda a energia elétrica distribuída em todo o país, de tal forma que é composta por uma verdadeira malha de redes de transmissão elétrica. O restante da produção energética é feita por pequenos sistemas isolados, no qual grande parte se encontra na região Norte, principalmente na região da Amazônia Legal.

Segundo, Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. ed. – Brasília : Aneel, 2008, o segmento de transmissão no Brasil é composto por mais de 90.000 km de linhas e operado por 64 concessionárias. Sendo que o SIN é composto por 89.200 km. Essa grande rede espalhada por quase todo o país permite a troca de energia elétrica entre as estações que com déficit de produção de energia. Isso se dá pelo fato de haver várias estações produtoras que se situam em diferentes regiões e climas. Sendo que quando uma represa, pelo fato de maior parte da energia ser de origem hidráulica, está passando por um processo de enchimento, devido às chuvas naquela região, venha suprir a falta de geração de energia em outra região que venha estar com sua represa passando por um processo de falta de água graças a uma seca local. Desse modo as regiões interligadas se suprem.



Figura 1 - Mapa de Distribuição de Linhas Elétricas (Fonte: ONS 2008)

É possível observar no mapa que a expansão das linhas de transmissão elétrica se deu principalmente nas regiões de maior poder econômico nacional. Porém, a versatilidade e a potencialidade da expansão dessas linhas são enormes. Segundo, Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. ed. – Brasília : ANEEL, 2008, o Sistema Interligado é caracterizado por uma permanente expansão, sendo que permite tanto a conexão de novas grandes hidrelétricas quanto a integração de novas regiões. No ano de 2003 a extensão dessas linhas era de 77.600 km, já no ano de 2008 a extensão dessas linhas passou para 89.200 km.

O outro sistema, que atende ao restante da população nacional, e que nos é de grande e principal interesse, é o Sistema Isolado. O Sistema Isolado se encontra principalmente na Região Norte e abastece cerca de 3,4% de toda população nacional, se instalando em uma área que corresponde a 45% do território brasileiro. A população atendida por esse sistema é de 1.300.000 pessoas consumidoras, dá para se notar a tão grande importância desse sistema de abastecimento de energia elétrica. Esse número corresponde ao abastecimento de 380 localidades.



Figura 2 – Sistema Elétrico Isolado (Fonte: ANEEL 2008)

Segundo dados da GTON, Grupo Técnico de Operação da região Norte, no início de 2008, na região amazônica existia em operação um número de 277 sistemas isolados autorizados pela ANEEL, totalizando 1267 unidades geradoras e uma potência nominal instalada de 3068 MW. Os dados que compõem o parque térmico do sistema isolado da Amazônia se encontram na tabela abaixo:

Tabela 1 - Sistemas Isolados da Amazônia (Aneel, 2008)

| Estado | Concessionária | Número de Unidades (2008) | Potência Nominal (MW) |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| Acre | Eletronorte | 24 | 94,4 |
| | Eletoacre | 78 | 44,2 |
| Amapá | Eletronorte | 39 | 178,1 |
| | CEA | 13 | 17,6 |
| Amazonas | Manaus Energia | 103 | 1332,1 |
| | CEAM | 435 | 358,8 |
| Pará | CELPA | 151 | 101,5 |
| | Jari Celulose | 13 | 70,6 |
| Rondônia | Eletronorte | 12 | 614,1 |
| | CERON | 161 | 106,0 |
| Roraima | Boa Vista Energia | 03 | 62,0 |
| | CER | 75 | 22,6 |
| Maranhão | CEMAR | 03 | 0,9 |
| Mato Grosso | CEMAT | 157 | 65,1 |
| Total Parque Térmico | | 1267 | 3068,0 |

Os municípios que recebem a energia elétrica proveniente desse sistema estão localizados no interior dos estados da Região Norte e nas capitais que compõem essa região, menos Belém. Esse abastecimento é feito na sua maioria com energia elétrica provinda de combustíveis fósseis. No caso, com o uso de pequenas unidades geradoras movidas a óleo diesel.

O abastecimento dessas unidades térmicas é feito com grande dificuldade e prejuízo. O fato de se ter uma logística ineficiente para o abastecimento de óleo diesel a essa região dá ao governo grandes prejuízos.

Por isso o governo instituiu um imposto chamado: Conta de Consumo de Combustíveis, CCC. A cobrança da CCC tem por finalidade cobrir os gastos do uso de combustíveis fósseis destinados à geração termoeletrica e para o consumo publico no Sistema Interligado e no Sistema Isolado, no qual é cobrada na conta de todos os consumidores de energia elétrica do país.

O acompanhamento e gestão da CCC são feitos pela Eletrobrás, sendo ela, o órgão responsável pelo adquirir e distribuir o óleo combustível em cada unidade geradora. Sendo que to da a eficiência do uso desse combustível é acompanhada pelo Grupo Técnico de Operação da Região Norte, GTON.

A forma de se obter o valor de pagamento da CCC é feita com referência ao consumo específico de um motor diesel que é de 0,3 L/kWh. Sendo que, o custo do consumo acima desse valor será de responsabilidade do proprietário do motor.

A Conta de consumo de Combustível, CCC, tem como prazo para o seu término, através da Lei n. 10.438 o ano de 2022. Essa mesma lei, diz que qualquer empreendimento que promova a substituição de derivados de petróleo ou que venha permitir uma diminuição dos custos da CCC, deverá ser acometida de uma sub-rogação dos benefícios do rateio da CCC.

A sub-rogação como forma de incentivo aos investimentos em novas fontes de energia paga 75% dos investimentos de pequenas centrais produtoras de energia elétrica, incluindo centrais de biomassa e óleo vegetal. Tudo isso para promover a substituição ou diminuir a geração elétrica térmica com combustíveis fósseis, principalmente o óleo diesel.

Isso é muito interessante, principalmente para a aplicação e desenvolvimento dos conhecimentos da tecnologia que inspira esse trabalho.

Segundo, Danielle R.S. Guerra e Manoel Fernandes Martins Nogueira, até o ano de 2007 apenas uma usina de biomassa solicitou a sub-rogação da CCC (Usina de Itacoatiara, AM). Existem outras usina que operam na região Norte, como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 2 - Centrais térmicas a biomassa em operação na região amazônica (Aneel,2008)

| Propriedade | Local de Instalação | Potência (MW) |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|
| BK Energia São José do Rio Claro S.A. | Itacoatiara-AM | 9,0 |
| Maggi Energia S.A. | Itacoatiara-AM | 5,0 |
| Tramontina Belém S. A. | Belém-PA | 1,5 |
| Pampa Exportações Ltda. | Belém-PA | 0,4 |
| Floraplac Industrial Ltda. | Paragominas-PA | 1,25 |
| Nordisk Timper Ltda. | Belém-PA | 0,2 |
| Intel Ltda. | Breves-PA | 0,7 |
| Madenorte S.A. | Breves-PA | 3,0 |
| Serraria Nova Conceição Ltda. | Tomé-Açu-PA | 1,0 |

Porém, pode-se observar que o uso da tecnologia de centrais térmicas a biomassa ainda não é encarada com um grande interesse pelas concessionárias. Agora esse interesse é ainda menor quando se trata do uso do óleo vegetal e do gás de síntese para a geração de energia elétrica. Isso se deve ao fato da falta de conhecimento e de desenvolvimento tecnológico na área. No entanto esse projeto pode mudar a visão e o interesse de muitas pessoas.

A região Norte possui uma matriz energética de excelente qualidade para o uso de biomassa e de óleo vegetal. Porém o seu uso só se torna viável quando não há a necessidade de haver um transporte de longa distância, ou seja, se torna viável apenas para uso local. O que para seu uso em pequenas comunidades e povoados com uma produção de óleo vegetal e biomassa local, até mesmo de maneira extrativista, venha ser compensatório. Pois a quantidade de energia não é tão grande e as centrais de produção de energia elétrica não serão de grande porte.

2.2 TUCUMÃ

A Região Norte é uma região muito rica em sua biodiversidade e riquezas naturais. A quantidade de espécies vegetais superar as expectativas em termos de riqueza e conhecimento ainda não conhecidos. Dentre as varias espécies vegetais se encontram aquelas que pertencem ao grupo dos vegetais oleoginosos, principalmente palmeiras que tem um potencial de produção relevante. Dentre estas palmeiras oleoginosas se encontra o Tucumã, do gênero *Astrocaryum*.

O tucumanzeiro é uma planta que se encontra em regiões de clima tropical úmido, onde há grande incidência de chuvas, na qual essa é a característica climática de grande parte da região amazônica. Enfim, a mesma região em que possui uma distribuição precária de energia elétrica. Por isso o aproveitamento desse tipo de biomassa é algo de grande importância, principalmente pelo fato de se encontrar em abundancia em toda a Região Norte.



Figura 3 - Floresta Amazonica(Fonte:Guedes,2006)

Dentre as principais espécies de Tucumã que são encontradas na America do Sul pode-se citar as: *A.vulgare*, *A.tucuma Mart*, *A.giganteum*. A primeira espécie citada é mais conhecida como tucumã do Pará, sendo encontrada em toda a região norte da America do Sul e na porção leste da Amazônia, já a segunda espécie é conhecida como tucumã do amazonas ou tucumã Açu, tem a sua incidência em toda a America do Sul, principalmente na região norte do litoral, acima do estado do Pará.

Segundo, Oliveira 2008, essa palmeira possui uma alta perenidade e rusticidade e pode ser plantada em diversos tipos de solos, principalmente em arenosos. A suas sementes levam um período de demora para germinação de 8 meses a 2 anos, o que é considerado um período longo.

No entanto, esse período pode ser facilmente bem administrado para a produção dessa espécie, que segundo. Pode se obter um menor período de germinação com um tratamento em estufa,

com uma temperatura em torno dos 40 graus Celcius por 60 dias, em que esse período poderá se encontrar em torno de 3 meses.

Segundo, Calzavara 1968, Medina e Shanley 2005, o tucumazeiro dá início a sua produção na idade de 4 a 8 anos, quando essas palmeiras medem em torno de 1,5 m a 5 m de comprimento. Embora algumas dessas palmeiras venham frutificar durante o ano todo, o período de florescência se dá entre os meses de março e julho e seu período normal de frutificação se dá entre janeiro e abril, que são meses chuvosos.

O tucumazeiro é uma palmeira muito resistente. Fato esse que se observa principalmente no arco do desmatamento, onde podem ser observado várias dessas palmeiras presentes em meio aos pastos. Pastos estes formados através do uso de queimadas. O tucumazeiro é considerado uma planta invasora de pastos, mas pode ser encontrado principalmente em matas e florestas.



Figura 4 - Palmeira de Tucumã (Fonte: Guedes 2006)

O fruto do Tucumã tem a seguinte caracterização física:

Tabela 3 - Caracterização física do fruto in natura de tucumã

| Parâmetros | Médias | Ribeiro & Soares ²⁵ | Morais & Dias ²² |
|-------------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Peso do Fruto (g)* | 22,01 ± 2,19 | 20,59 | 28,55 |
| Comprimento (mm)* | 38,50 ± 2,14 | 38,80 | 41,00 |
| Diâmetro (mm)* | 31,23 ± 1,12 | 28,90 | 34,40 |
| Peso do Mesocarpo (g)** | 5,68 ± 0,57 | 6,07 | n.d. |
| Peso do Epicarpo (g)** | 6,75 ± 1,00 | 4,92 | n.d. |
| Peso do Endocarpo (g)** | 10,03 ± 1,19 | 8,01 | n.d. |
| Mesocarpo (%) | 25,00 ± 0,57 | 29,48 | 29,65 |
| Epicarpo (%) | 29,40 ± 1,00 | 23,90 | 22,97 |
| Endocarpo (%) | 45,60 ± 1,19 | 38,90 | 46,21 |

* e ** Médias analisadas de 100 e 30 unidades do fruto, respectivamente.

n.d. = valor não determinado.

O fruto é considerado uma drupa, de superfície lisa e colorido do amarelo até um laranja forte ou próximo de uma coloração avermelhada. O seu formato é ovalado ou esférico. A espessura de seu mesocarpo se dá entre 2,8 a 10 mm, do endocarpo e da amêndoa, tendo uma consistência mucilaginosa, sendo oleaginosa, com sabor adocicado e aroma característico (FERRÃO, 1999; LIMA; TRASSATO; COELHO, 1986).



Figura 5 - Fruto do Tucumazeiro (Fonte: Guedes, 2006)

O fruto do tucumã pode ser usado para várias utilidades, tanto na área alimentícia como na artesanal na fabricação de biojóias, e agora na área energética. Na área alimentícia sua polpa é comestível e serve de ingrediente para vários tipos de alimentos, da polpa também pode extrair o seu óleo, sendo este de cor amarelada e cheiro característico. Já o seu endocarpo, por ser duro e moldável, pode ser usado no trabalho artesanal, mas nesse presente trabalho a sua principal utilidade será a sua queima em um reator para a produção de gás de síntese. De sua castanha pode-se extrair um óleo ou manteiga vegetal in natura para na qual também pode ser utilizado na alimentação de um motor de combustão interna.

O óleo vegetal que será utilizado nesse trabalho será o óleo proveniente de todo o fruto do tucumã.

2.3 ÓLEO VEGETAL

Os óleos vegetais são mais conhecidos como óleos ou gorduras na qual tem como característica básica a sua insolubilidade em água. Os seus principais constituintes são os acilgliceróis, nos quais são considerados os ésteres de glicerol e ácidos graxos. Na natureza os fosfolípidos e os acilgliceróis são os componentes principais dos óleos vegetais e pertencem a um grupo de compostos orgânicos denominados ésteres. Este grupo é composto pela união entre um ácido e um álcool. Óleos vegetais fazem parte de um grande grupo chamado lipídeos.

Segundo, Hui 1996, os lipídeos contêm pequenas quantidades de vários componentes minoritários, muitos dos quais têm impacto significativo sobre as suas propriedades físicas e químicas.

Esse grupo de substâncias tem sido explorado e usado pelo homem para vários fins, um desses fins é o seu uso como combustível e teve principal destaque nos trabalhos propostos por Rudolf Diesel no final do século 19.

Os lipídeos são compostos por componentes majoritários e componentes minoritários, que determinam e caracterizam cada tipo de substância lipídica, principalmente óleo vegetal.

Os componentes majoritários são: ácidos graxos e os acilglicerois. Já os componentes minoritários são os: hidrocarbonetos, fosfolipídeos, esteróis, tocoferóis e os carotenóides. Por conseguinte, cada um dos vários tipos de compostos serão explicados, começando pelos componentes majoritários .

Ácidos graxos, é um composto que serve como base para a formação de varias classe de lipídeos. Sendo formador de acilgliceróis, fosfogliceróis, glicolipídios, esteróis e ate mesmo ceras. A estrutura de todo o ácido graxo é composta por um a cadeia carbônica e um grupo terminal carboxílico, é um ácido carboxílico. Sendo que as varias classe se caracterizam por diferentes tamanhos de cadeia e pelo número, posição e configuração de suas ligações duplas (HUI 1996 e Andrea Guedes 2008).

Os ácidos carboxílicos se caracterizam por apresentar uma representação como essa RCO_2H , de tal maneira que R é uma cadeia carbônica longa e pode apresentar insaturações. A polaridade da molécula de um elemento desse grupo se dá de tal maneira que a região apolar se encontra na cadeia R e a região polar se encontra na estrutura restante (Graziola; Solis; Curi, 2002).

A parte apolar que determina a cadeia hidrocarbônica determina a classificação do ácido graxo com relação ao seu tamanho. Sendo que aqueles que possuem em sua estrutura uma quantidade entre dois a quatro átomos de carbono se classificam como cadeia curta, já aqueles que possuem entre seis a dez átomos de carbono são classificados como de cadeia média e aqueles que possuem acima de doze átomos de carbono são considerados de cadeia longa.

Já a presença de duplas ligações (insaturações) na cadeia hidrocarbônica classifica a substância como sendo saturada ou insaturada. As substâncias que não apresentam essa dupla ligação em sua cadeia hidrocarbônica é denominada de saturada, já a substancia que possui essa dupla ligação em sua cadeia hidrocarbônica é classificada como insaturada, de tal maneira que se apresenta apenas uma insaturação será uma monoinsaturada, caso apresente mais do que uma insaturação será considerada poliinsaturada, (Graziola; Solis; Curi, 2002).

Acilglicerois, segundo Hui 1996, são acil (ésteres de glicerol) e são os principais constituintes dos lipídeos de armazenamento em plantas e em grande parte dos animais. Cerca de 98% das gorduras

são compostas de misturas de triacilgliceróis, ou seja, moléculas de glicerol na qual cada molécula esterifica com três ácidos graxos.

Continuando segue-se a descrição dos componentes moritários.

Hidrocarbonetos, são compostos formados apenas por átomos de carbono e hidrogênio, podendo se classificar como: alcanos, alcenos, alcinos e aromáticos. (Luciano do Amaral,1995)

Fosfolipídeos, são constituídos somente por dois ácidos graxos esterificados ao glicerol e a substituição do terceiro ácido graxo tem um grupo polar contendo ácido fosfórico e uma parte nitrogenada (Vaclavik ; Christian,2003).

Esteróis, são os componentes principais da fração insaponificável da maioria das gorduras. São compostos que têm um núcleo esteróide e uma cadeia lateral de 8 a 10 átomos de carbono e uma hidroxila. Diferem-se dos triglicerídeos pela forma arredondada. O colesterol é o principal esteroide de origem animal, embora também existam em plantas, chamados estanois; os mais comuns são sitosterol e estigmasterol (Vaclavik; Christian, 2003).

Tocoferóis, são importantes constituintes minoritários da maioria dos óleos vegetais; em gorduras animais estão em pequenas quantidades ou ausentes. Os tocoferóis são antioxidantes, auxiliando na prevenção de rancidez oxidativa, e são também fontes de vitamina E. São parcialmente removidos pelo calor durante o processamento e podem ser adicionados depois, para melhorar a estabilidade oxidativa dos óleos (Vaclavik; Christian, 2003).

Carotenóides, são talvez, mais familiares para nós no dia-a-dia, como pigmentos predominantes em muitas raízes, frutas e flores. Cenoura, tomate e pimentas vermelhas e pétalas de cravo são os exemplos mais comuns (Barton; Nakanishe; Meth-Cohn, 1999).

Todos estes componentes do óleo vegetal lhe agrega um grande valor e é objetivo de pesquisa para vários setores industriais, como o de energia e de cosméticos.

2.3.1 EXTRAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL

O óleo pode ser extraído das plantas oleoginosas através de maneiras de possam permitir um melhor rendimento e aproveitamento da quantidade de óleo extraído. Algumas maneiras de extração tem por características um melhor rendimento para essa coleta de óleo. Dentre essas maneiras ou métodos de extração se encontra: a extração mecânica, extração por solvente e a extração por solvente com pré-prensagem.

A **extração mecânica** é a operação de separação de líquidos de sólidos pela aplicação de forças de compressão, e geralmente usada nas indústrias de alimentos e bebidas. Normalmente são necessários pré-tratamentos de despulpamento, redução de tamanho e aquecimento antes da separação do líquido para aumentar o rendimento (Brennan et al., 1990).

A principal finalidade desta operação é a máxima separação de óleo, o que significa mínima matéria graxa no resíduo e mínimas perdas posteriores na purificação (Rittner, 1995).

A prensa de parafusos, ou expeller é um tipo de prensa contínua em que polpa do fruto ou sementes alimentam um cilindro de paredes espessas contendo um parafuso rotativo polido de tamanho decrescente (Brennan et al., 1990).

A **extração por solvente** é muito usado no processamento industrial, muitos produtos são separados de sua estrutura natural original por extração sólido-líquido, como por exemplo, na produção de óleos vegetais, utilizando solventes orgânicos, tais como hexano, acetona e éter. Na extração por solvente, duas fases estão em contato íntimo e o(s) soluto(s) pode(m) se difundir do sólido para a fase líquida, resultando na separação dos componentes contidos originalmente no sólido (Geankoplis, 2003).

O material a ser submetido à extração é previamente triturado e laminado a fim de facilitar a penetração do solvente, uma vez que, deste modo, além de estar contido no interior das células (sendo removido por difusão), também estará em forma de uma camada em volta das partículas do material, sendo removido por simples dissolução (Moretto; Fett, 1998).

Na operação de prensagem, mesmo que realizada em dois estágios, a torta apresenta ainda cerca de 5-6% de óleo residual. Pela extração de óleo desta torta por solvente consegue-se reduzir esta quantidade para menos de 1%.

A **extração por solvente com pré-prensagem**, é feita de tal modo que a prensa é operada para gerar uma torta com 15-18% de óleo, e o restante, será extraído por solvente. As partículas têm seu tamanho novamente reduzido antes de serem levadas ao extrator por solvente. O resíduo é moído e comercializado para alimentação animal (Tandy, 1991).

2.3.2 ÓLEO VEGETAL DE TUCUMÃ

O óleo vegetal do Tucumã é composto pelos óleos provindos do endocarpo (amêndoa) junto ao óleo provindo mesocarpo (polpa) e epicarpo(casca) do fruto.

Os índices de acidez e de peróxidos são parâmetros importantes para a determinação da qualidade do óleo, já que determina a presença da sua rancidez hidrolítica e oxidativa. Isso poderá ser visto nas tabelas e informações mais adiante.

O óleo da amêndoa ou castanha, Segundo Ribeiro e Soares, o endocarpo do Tucumã constitui 45 % do endocarpo do fruto e ele reporta a importância desse óleo para o seu uso como combustível alternativo ao diesel, pois dele pode-se extrair entre 40 – 50% de óleo cujos os ácidos graxos são 90% saturados e de cadeias carbônicas entre 8 e 14 átomos.

Segundo (Barbosa et AL,2009) as análises propriedades físico-químicas de quatro lotes de óleos de amêndoas e obteve os seguintes resultados apresentados na tabela a seguir:

Tabela 4 – Propriedades físico-químicas de quatro lotes de óleos de amêndoas, (Barbosa ET. AL.,2009)

| Lote | Índice de Acidez (mg KOH/g) | Índice de Saponificação (mg NaOH/g) | Índice de Peróxidos (meq O ₂ /kg) | Índice de Iodo (g I ₂ /100 g) | massa específica (g/cm ³) |
|------|-----------------------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| 1 | 37,5 ± 0,4 | 210,5 ± 0,4 | 13,9 ± 0,9 | 2,2 ± 0,2 | 0,8889 ± 0,0089 |
| 2 | 79,4 ± 0,2 | 245 ± 1 | 1,4 ± 0,1 | 4,1 ± 0,8 | 0,9064 ± 0,0016 |
| 3 | 1,98 ± 0,01 | 216 ± 2 | 3,6 ± 0,6 | 0,40 ± 0,04 | 0,8927 ± 0,0005 |
| 4 | 5,0 ± 0,1 | 218,6 ± 0,7 | 5,0 ± 0,2 | 8,3 ± 0,3 | 0,8933 ± 0,0017 |

Lote 1 obtido por prensagem mecânica e lotes 2 a 4 por Soxhlet com hexano

Ele também estimou a massa molecular média que é do valor aproximado de 672,93 g/mol. A tabela seguinte mostra a composição dos ácidos graxos do óleo da castanha de Tucumã.

Tabela 5 – Composição de ácidos graxos do óleo da castanha de Tucumã,(Barbosa ET. AL.,2009)

| Éster metílico | % Área (coluna apolar) | % Área (coluna polar) | % Área média |
|----------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| C8:0 | 2,04 | 2,03 | 2,03 |
| C 10:0 | 1,88 | 1,79 | 1,83 |
| C 12:0 | 51,74 | 51,10 | 51,42 |
| C 14:0 | 26,17 | 26,01 | 26,09 |
| C 16:0 | 5,55 | 5,54 | 5,55 |
| C 18:0 | 2,36 | 2,36 | 2,36 |
| C 18:1 (n=9) | 6,00 | 5,93 | 5,97 |
| C 18:2 (n=9) | 2,15 | 2,04 | 2,09 |
| Σ | 97,88 | 96,80 | 97,34 |

O óleo do mesocarpo e endocarpo do tucumã segundo (Bastos e Assunção et AL, 2008), o grau de maturação e as condições de armazenamento são fatores preponderantes para alterar as propriedades químicas do óleo.

Esse óleo, segundo Ferreira 2008, no qual analisou frutos considerados sadios e íntegros. O óleo provindo do mesocarpo e epicarpo do fruto tem as seguintes características físico-químicas apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 6 – Composição físico-química do óleo do epicarpo e mesocarpo (Fonte – Ferreira 2008)

| Parâmetros | Média |
|------------------------------------|---------------|
| Índice de Acidez (mg KOH/g) | 5,27 ± 0,01 |
| AGL (% ácido oléico) | 2,75 ± 0,01 |
| Índice de Peróxidos (meq/kg) | 2,99 ± 0,02 |
| Índice de Saponificação (mg KOH/g) | 202,71 ± 0,36 |
| Índice de Refração (20 °C) | 1,4651 |
| Densidade a 20 °C (g/L) | 0,91 |

Já a composição dos ácidos graxos do óleo do mesocarpo e epicarpo do tucumã apresenta as seguintes características apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 7 - Composição de ácidos graxos do óleo do mesocarpo e epicarpo do tucumã (Fonte – Ferreira 2008)

| Ácido graxo | Estrutura | Média (%) |
|-----------------|-----------|--------------|
| Cáprico | 10:0 | 0,8 ± 0,01 |
| Palmítico | 16:0 | 22,90 ± 1,34 |
| Esteárico | 18:0 | 2,95 ± 0,05 |
| n-Nonadecílico | 19:0 | 2,63 ± 0,02 |
| Saturados | - | 29,28 |
| Oléico | 18:1 | 67,62 ± 1,22 |
| Monoinsaturados | - | 67,62 |
| Linoléico | 18:2 | 1,15 ± 0,01 |
| Poliinsaturados | - | 1,15 |
| N.D | - | 1,95 |

N.D = Identidade não determinada.

2.4 BIOMASSA

Todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica é caracterizado como biomassa. A biomassa pode ser encontrada de várias formas, sendo que as mais encontradas e utilizadas são: madeira, bagaço de cana de açúcar, bagaço do milho, sementes, cocos etc. A biomassa é um material sólido, sendo constituída principalmente por carbono e de fácil manuseio.

O aproveitamento da biomassa é uma de suas vantagens para o seu uso como fonte de energia, tal que o simples fato de poder aproveitar refugos industriais como o bagaço da cana de açúcar, cascas advinda do beneficiamento de grãos etc. Já para as comunidades isoladas os refugos como a casca de cocos que foram beneficiados para a extração de óleos vegetais pode ser usado como combustível com excelente aproveitamento energético.

A facilidade de produção de biomassa é um fator de grande importância. A produção de espécies vegetais que possuam uma biomassa de boa qualidade energética aliada com outros subprodutos advindos do seu aproveitamento e manipulação demonstra a grande quantidade de energia que se pode obter. Principalmente para um país que possui uma grande extensão de terras agricultáveis.

O aproveitamento da biomassa feito em várias indústrias por meio da utilização do calor, gerado pela queima direta desse combustível, produzido pela sua combustão na alimentação de fornos, caldeiras e outros dispositivos. Muitas das vezes substituindo combustíveis fósseis. Mesmo assim nem sempre é possível aproveitar todo o potencial energético disponível na biomassa. O aproveitamento da biomassa no processo de gaseificação nessas situações é desprezado.

Existem algumas vantagens na utilização da biomassa como combustível, principalmente em relação às reduzidas emissões de poluentes. As emissões líquidas de CO_2 durante a queima de biomassa podem ser consideradas praticamente nulas, pois esse gás emitido é reabsorvido no próximo ciclo de vida do carbono. Quando comparado com combustíveis fósseis como o diesel, a quantidade de enxofre em uma biomassa é muito menor, o que resulta em uma baixa emissão de SO_2 . Além

disso, ela contém baixos níveis de cinza (<1%) o que reduz a quantidade deste rejeito a ser depositada no meio ambiente. Por isso a biomassa pode ser caracterizada como um combustível renovável.

2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E SEUS DERIVADOS

A biomassa deve ser caracterizada com o objetivo de definir características físicas e químicas da mesma, com o intuito de avaliar sua utilização em diversos meios de aplicações. Segundo Vieira et al. (2000), os seguintes fatores devem ser considerados para caracterizar uma biomassa utilizada em gaseificadores:

Análise Elementar

Consiste na verificação do conteúdo de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio que determina a composição da biomassa.

Análise Imediata

Analisa o conteúdo de cinzas, carbono e material volátil. Segundo (Norma NBR 8112 da ABNT, 1986), a análise imediata e composta de quatro categorias: Teor de Umidade, Teor de Matéria Volátil, Teor de Cinzas, Teor de Carbono Fixo. Segundo a norma NBR 8112 da ABNT, 1986.

Poder Calorífico

O poder Calorífico é a quantidade de calor liberado quando uma dada quantidade de combustível (geralmente uma quantidade de massa) à temperatura ambiente é completamente queimada e os produtos da combustão são arrefecidos até a temperatura ambiente. O poder calorífico depende da fase em que o H_2O se encontra nos produtos. Quando esta é a fase líquida, o poder calorífico é designado por Poder Calorífico Superior (PCS), e quando a fase é gasosa, por Poder Calorífico Inferior (PCI) (Yunus A. Cengel et al., 2001).

Tamanho da Partícula

O tamanho da partícula tem influência diante o seu aquecimento, difusão dos seus gases reativos e no seu índice de reação sólido-gás em meio a sua superfície. Principalmente em gaseificadores de leito fluidizados deve-se considerar a influência deste fator na velocidade mínima de fluidização.

Por isso o tamanho da partícula dependerá do tipo de gaseificador utilizado. Sendo que para gaseificadores de leito fixo utilizam partículas de 50 a 200 mm.

Densidade, Forma e Dureza das Partículas

Quando há circulação de um fluido em meio a partículas pouco densas, pode haver a formação de canais preferenciais para o escoamento desse fluido, o que implica em uma diminuição da uniformidade de queima na biomassa. Quando se tem partículas de biomassa com formato

inapropriado para uma queima uniforme usa-se o processo de peletização para poder obter uma melhor forma da biomassa. Isso acontece quando se usa algumas palhas de grãos como biomassa a ser gaseificada, em que o processo se torna muito mais eficiente quando se faz a sua peletização.

Umidade

É um dos fatores mais importantes para o estudo da viabilidade de um resíduo ou material a ser gaseificado. No processo de combustão a água evaporada consome uma grande quantidade da energia liberada, além de provocar sérios problemas para a obtenção da ignição e implicar em uma considerável diminuição da temperatura dos produtos da combustão.

A umidade tem grande influência sobre o poder calorífico do gás de síntese, havendo a ocorrência da perda de parte desse calor para evaporar a água. Outra inconveniência que também ocorre é a influência na composição do gás de síntese quanto a sua composição. Pois há uma influencia em torno do deslocamento do consumo de CO e na formação de H_2 .

Em sistemas de gaseificação, a umidade altera significativamente o poder calorífico do gás obtido, portanto recomenda-se uma faixa de 15 a 20% de umidade (Reed, 1988).

O processo de secagem da biomassa pode ser realizado de maneira natural ou por meio de secadores.

Densidade do Granel

Expressa o peso dos pedaços de biomassa contidos em um recipiente de determinado volume (Silva et al., 2007).

2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DO TUCUMÃ

Segundo Ferreira 2008, a biomassa do fruto do tucumã apresenta as seguintes características físico-químicas que se encontram na tabela a seguir:

Tabela 8 - Composição físico-química do fruto in natura (Fonte - Ferreira 2008)

| Determinação | In natura (%) | Torta (%) |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Umidade | 44,90 ± 0,30 | 8,20 ± 0,05 |
| Proteínas | 3,54 ± 0,07 | 7,13 ± 0,13 |
| Lipídios | 40,49 ± 0,54 | 14,49 ± 0,44 |
| Fibra bruta | 10,93 ± 0,10 | 18,63 ± 0,35 |
| Cinzas | 2,53 ± 0,05 | 4,40 ± 0,20 |
| Carboidratos totais | 8,54 ± 0,61 | 65,78 ± 0,30 |
| Energia (kJ/100g) | 1728,02 ± 8,88 | 1767,04 ± 15,95 |

A extração de óleos vegetais advindos de palmeira oleoginosas, seja de comunidades isoladas, que vivem de uma cultura extrativista ou de indústrias que produzem óleos em grandes quantidades

desse mesmo insumo, gera uma grande quantidade de refugo, principalmente o caroço do fruto. O caroço do fruto do Tucumã, segundo Pantoja, Regiani, tem as seguintes teores característicos:

Tabela 9 – Teores do caroço do Tucumã

| Teores | Umidade (%) | Cinzas (%) | Lípidios (%) | Proteínas (%) |
|--------|-------------|------------|--------------|---------------|
| | 6,51 | 2,92 | 2,99 | 4,96 |

2.5 GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA

A quantidade de energia contida na biomassa pode ser aproveitada através do processo de gaseificação. É bom lembrar que a biomassa se apresenta de forma sólida, e assim sendo na maioria das vezes é aproveitada para ser queimada em fornos, servindo como fonte de energia para a geração de calor para o funcionamento de caldeiras e turbinas a vapor.

Se houver um manejo correto da biomassa a tal ponto de gerar um consumo sustentável haverá um fechamento do ciclo de produção – consumo de gás carbônico, a tal ponto de não haver um aumento na concentração de gases de efeito estufa presentes na atmosfera. O que gera uma consciência ecológica em meio a produção de energia (Fernades, 2004).

A gaseificação é uma reação de queima parcial de um combustível, sendo obtida apenas quando há a presença de carbono na matéria. No entanto esse combustível é considerado como sendo de médio ou baixo poder calorífico.

Esse processo, gaseificação, ocorre em duas etapas, tal que, na primeira etapa a biomassa sofre o que é chamado de pirólise, de tal maneira que haja a produção de gás e carvão, e na segunda etapa ocorre uma redução desse gás (composto por vapor d'água e dióxido de carbono) no qual haverá a formação de monóxido de carbono e hidrogênio. Isso ocorre em uma temperatura da ordem de 700 °C. Deve-se destacar que em meio a esse processo também há a formação de metano e de outros hidrocarbonetos, formação essa que é dependente do tipo de projeto e das condições de operação do gaseificador.

A composição do gás de síntese é: hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio e metano. Esse gás pode ser queimado direto em processos de geração de energia. Ele também pode ser usado para alimentar um motor de combustão interna (como um motor Diesel, como no presente trabalho) e em turbinas a gás simples ou até mesmo combinadas a uma turbina a vapor.

A classificação de um gaseificador varia desde o modelo de construção aos seus parâmetros de operação, como o poder calorífico, o agente de gaseificação, pressão de trabalho e a direção do movimento relativo entre a biomassa e o agente oxidante.

O poder calorífico depende da pressão de operação e de qual tipo de agente de gaseificação (Nogueira & Torssero, 2000).

O balanço de energia de um gaseificador permite avaliar o desempenho energético das principais tecnologias de gaseificadores..

A eficiência nos processos de gaseificação pode ser obtida por:

$$\eta(\%) = 100 \cdot \frac{PCI_{gás}}{PCI_{insumo}} \quad [1]$$

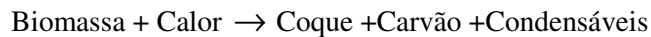
2.5.1 GASEIFICADOR DE LEITO FIXO CO-CORRENTE

O gaseificador de leito fixo é o tipo de gaseificador que será usado nesse trabalho, ele fará parte do nosso instrumento de pesquisa e estudo, no qual fornecerá o gás de síntese para a queima conjunta com o óleo vegetal no motor de ciclo diesel.

Nesse tipo de gaseificador, no reator, as partículas se movem com a ação da gravidade, não precisando de nenhum fluxo de ar para o seu movimento.

Para um melhor entendimento desse tipo de gaseificador leito fixo será demonstrado a seguir as reações termo-químicas que acontecem nesse processo. Junto a essas demonstrações estarão descritas algumas etapas:

1. A pirólise ocorre em torno de uma temperatura de 600 °C



2. Oxidação dos voláteis (reações exotérmicas) que tem uma conseqüente produção de CO_2 e H_2O . Esses produtos servem como agentes redutores no processo e também há a oxidação parcial do carbono fixo.



3. Reações heterogêneas (sólido – gás) entre o coque residual e os gases serão apresentadas, assim como algumas reações homogêneas que ocorrem na fase gasosa decorrente dos produtos das reações anteriores.

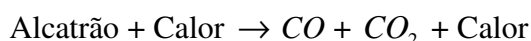
Tabela 10 - Reações Heterogêneas e Homogêneas

| Reações Heterogêneas | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| <i>Reações de Bouduard</i> | $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$ | -111 MJ/k.mol |
| <i>Reação carbono – vapor</i> | $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ | +133 MJ/k.mol |
| <i>Reação de formação do metano</i> | $C + 2 H_2 \rightarrow CH_4$ | -75 MJ/k.mol |

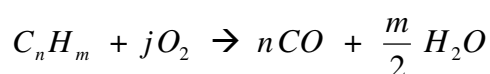
Reações Homogêneas

| | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| <i>Reação de deslocamento da água</i> | $CO + H_2O \rightarrow CO + H_2$ | <i>-41 MJ/k.mol</i> |
| | $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2$ | <i>+165 MJ/k.mol</i> |

O alcatrão formado é craqueado em um processo de destruição térmica, de tal modo que pode se obter CO , CO_2 , CH_4 outros hidrocarbonetos.



Os produtos da pirólise sofrem uma oxidação parcial de tal maneira que a sua equação genérica se dá por:



Embora o processo de gaseificação venha ser um processo complexo, as equações anteriores não são suficientes para descrever todo o processo, mas através delas é possível obter algumas conclusões. A adição de água como agente de gaseificação, em uma proporção de 30%, proporciona o aumento na produção de hidrogênio e de monóxido de carbono na composição do gás de síntese. Tudo isso se dá pelo fato de haver o deslocamento nas equações reação carbono - vapor e nas reações homogêneas pré observadas.

No processo de gaseificação, a biomassa sólida é transformada em combustível através da sua oxidação parcial com ar. A degradação térmica da biomassa (pirólise, volatilização, etc.), ocorre a temperaturas relativamente baixas, em torno de 600 °C (Wander, 2001).

Quando ocorre o processo de pirólise, há a produção e liberação de alcatrão, e gases não condensáveis, tal que a proporção pode atingir o patamar de 70 a 90%, sendo que o restante 10 a 30% vem corresponder ao carvão que possui uma grande reatividade. Os gases da pirólise são parcialmente queimados com o ar ao redor das partículas. No entanto são necessárias reações exotérmicas para que venha fornecer a energia necessária para a realização da pirólise e secagem do combustível sólido.

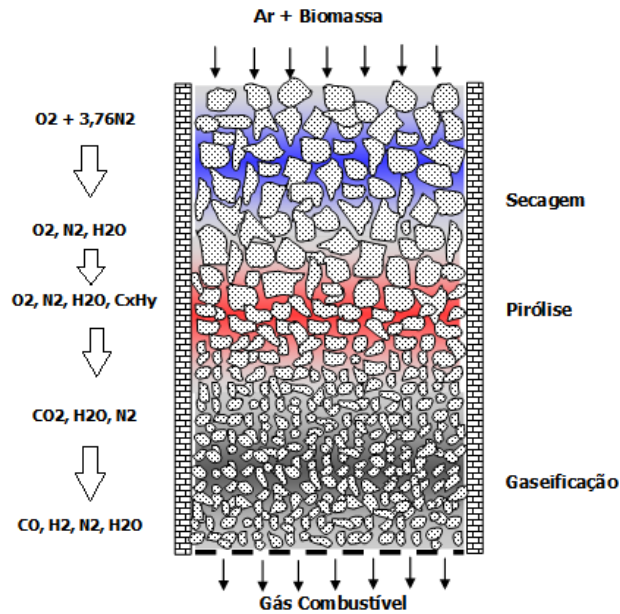
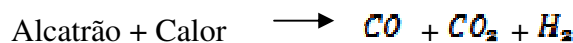


Figura 6 – Principais regiões em um reator co-corrente de gaseificação (CDT/UNB, João Nildo de Souza Vianna e Gurgel Veras, 2010)

A temperatura que se estabelece na zona de oxidação dos gases da pirólise é alta a tal modo que seja suficiente para haver a quebra térmica dos produtos da pirólise em produtos de peso molecular menor, como por exemplo, o alcatrão que é um dos principais problemas para o uso do gás de síntese em motores de combustão interna e em turbinas a gás.



2.5.2 DIMENSIONAMENTO DO REATOR

A construção de um sistema de gaseificação é composta de vários parâmetros para os seus componentes. Um dos parâmetros primordiais é o dimensionamento do reator.

Um sistema de gaseificação de biomassa é composto de um reator para geração de gás de síntese, uma unidade de limpeza do gás e de um sistema de comunicação ao motor.

Segundo Anil Kr Jain 2006, o parâmetro de projeto mais importante de um reator é o seu diâmetro. Existem duas abordagens diferentes para a determinação do diâmetro de um reator. O uso de modelo cinético é uma abordagem (Jain et al. 1999 e 2002). A outra abordagem é a utilização da taxa de gaseificação específica (TCE). Essa segunda abordagem foi detalhada em um estudo feito pelo mesmo.

O estudo verificou o uso de cinco diferentes diâmetros de reatores no qual os seus diâmetros internos eram distintos e com os seguintes valores: 152, 203, 244, 303 e 343 mm. O fluxo de ar para cada diâmetro foi considerado um parâmetro variável, tal que a taxa específica de gaseificação (SGR) variou de 100 a 270 kg / h.m². Para cada reator, a taxa de produção de gás de síntese, a qualidade do

gás, a temperatura e a pressão em vários pontos foram monitorados de tal maneira a determinar a taxa de gaseificação, a taxa de gaseificação específica, a relação ar/combustível, a taxa de equivalência e a eficiência do gás a frio.

Os métodos e materiais consistem em oito tomadas para o reator de menor diâmetro e de dez tomadas de dados para cada um dos reatores restantes. Em cada um, a taxa de escoamento de gás, o valor do aquecimento de gás, a taxa específica de gaseificação, a eficiência de gaseificação, a taxa de ar consumida e a razão equivalente foram determinados.

Foi feita a medida de temperatura, a medida de pressão, a análise de gases, a taxa de escoamento de gás, o calor de produção de gás, o peso e o tempo de uso, a relação de equivalência (RE), a taxa específica de gaseificação (TGE), a taxa específica de produção de gás (TGPE) e da eficiência de gaseificação.

$$RE = \frac{\text{Massa de ar usada}}{\text{Massa Estequiométrica}}$$

$$TGE = \frac{\text{Fluxo de Massa usada} \left[\frac{kg}{h} \right]}{\text{Área da Seção do Reator} [m^2]}$$

Foi verificado que o aumento da taxa de escoamento de gás em um reator simples induziu um aumento linear da: razão ar/combustível, taxa equivalente, taxa específica de gaseificação nos reatores analisados. A eficiência de gaseificação aumentou com o aumento da taxa específica de gaseificação.

O aumento da TGPE é linear com relação a TGE, de tal modo que a melhor eficiência de gaseificação se encontra quando a SGPR se encontra em torno de 410 a 429 m³/h m².

Alguns dados podem ser constatados na tabela abaixo:

Tabela 11 – Performance características de um reator de 203 mm de diâmetro para produção de gás de síntese(Fonte: Jain, 2006)

| Run No. | Gas flow rate (m ³ hr ⁻¹) | ER (φ) | SGR (kg h ⁻¹ m ⁻²) | SGPR (m ³ h ⁻¹ m ⁻²) | L.H.V. of P.G. (MJ m ⁻³) | η (%) |
|---------|--|--------|---|--|--------------------------------------|-------|
| 1 | 5.66 | 0.27 | 128.8 | 174.8 | 4.21 | 39.82 |
| 2 | 7.20 | 0.30 | 142.3 | 222.4 | 4.15 | 45.19 |
| 3 | 8.63 | 0.34 | 153.5 | 266.5 | 4.07 | 49.25 |
| 4 | 10.27 | 0.36 | 169.7 | 317.2 | 4.10 | 53.41 |
| 5 | 11.60 | 0.38 | 181.2 | 358.3 | 4.05 | 55.80 |
| 6 | 12.10 | 0.38 | 185.0 | 373.7 | 4.05 | 57.01 |
| 7 | 13.28 | 0.39 | 195.5 | 410.1 | 4.02 | 58.78 |
| 8 | 13.80 | 0.39 | 198.5 | 426.2 | 3.85 | 57.62 |
| 9 | 15.50 | 0.41 | 229.5 | 478.7 | 3.65 | 53.07 |
| 10 | 17.40 | 0.44 | 247.5 | 537.4 | 3.38 | 51.14 |

2.6 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

O motor de combustão interna tem como princípio de funcionamento o aproveitamento da expansão volumétrica gerada dentro de sua câmara de combustão. Esse movimento advindo do comportamento dos gases no interior da câmara de combustão irá induzir o movimento de suas peças móveis nas quais são unidas formando mecanismos e que assim irá gerar uma força resultante desejada.

A expansão é ocasionada pela combustão da mistura ar (oxigênio) e combustível dentro da câmara de combustão, na qual há uma liberação de energia por se tratar de uma reação exotérmica. Nos motores de ciclo diesel essa combustão é ocasionada pelo aumento da pressão no interior do cilindro no qual haverá um aumento na temperatura e o combustível irá se auto-ignitar, já nos motores de ciclo Otto a combustão é ocasionada por uma centelha ignitante.

Os motores alternativos são classificados como motores por ignição a centelha ou motores por ignição por compressão, dependendo de como o processo é iniciado no interior do cilindro. No primeiro caso, a combustão da mistura ar e combustível é iniciada através da faísca de uma vela de ignição. No caso de motores de ignição por compressão, a mistura é auto-inflamada, devido a comprimir-se o ar acima do valor da temperatura de auto-ignição do combustível (Çengel, 2001).

2.6.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA 4 TEMPOS

O motor 4 tempos é caracterizado por seu pistão realizar 4 cursos completos (dois ciclos mecânicos) no interior do cilindro. As válvulas de admissão e de escape devem se abrir uma vez a cada ciclo, sendo que a árvore de comando as aciona há o giro com metade da velocidade de rotação do virabrequim, a qual completa duas rotações a cada ciclo. Os motores quatro tempos, por possuir

uma grande variedade de modelos, sendo que, a cada modelo corresponde a um modo de trabalho o qual deverá ser caracterizado por um ciclo termodinâmico próprio.

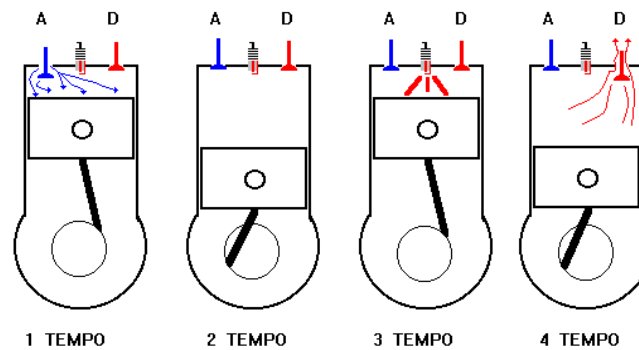


Figura 7 - Ciclo Operativo do Motor 4 Tempos (Silva, 2008)

Em seguida serão explicados os ciclos ideais termodinâmicos de Otto, Diesel e de Diesel modo duplo combustível para motores quatro tempos.

CICLO OTTO

Os motores de do ciclo Otto 4 tempos são caracterizados por possuírem quatro transformações termodinâmicas que correspondem e são observadas durante os cursos completos do pistão do motor.

Nos motores do ciclo Otto (usam álcool e gasolina e gases derivados de petróleo como GNV e GLP), a queima do combustível dentro da câmara se dá por causa de uma centelha elétrica, fornecida pelo sistema de ignição. O seu ciclo ideal correspondente é observado na figura a seguir, tal que:

- 1-2 compressão isentrópica
- 2-3 adição de calor a volume constante
- 3-4 expansão isentrópica
- 4-1 rejeição de calor a volume constate

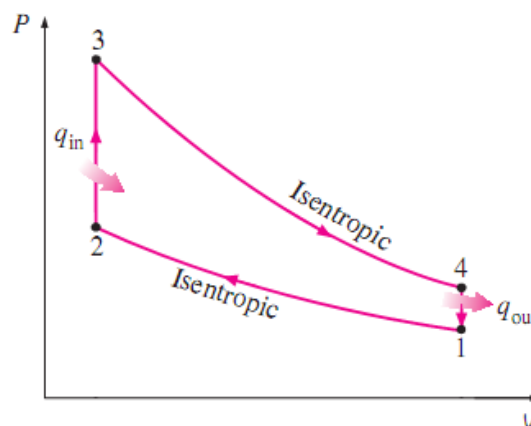


Figura 8 - Ciclo Otto (Cengel, 2001)

O controle de carga nos motores de ciclo Otto é determinado com a entrada de ar, na qual há uma válvula que controla a quantidade de ar que vai entrar no motor, junto a isso há um sistema de

controle de injeção de combustível que irá delegar certa quantidade de combustível correspondente à quantidade de ar admitida para que a mistura resultante seja adequada a combustão induzida por uma centelha ignitante.

O rendimento térmico dos motores dessa tecnologia se encontra em torno de 25 e 30%.

CICLO DIESEL

O ciclo Diesel é o ciclo proposto por Rudolf Diesel nos anos de 1890, tal que nos motores a Diesel há uma compressão do ar até uma temperatura que seja superior a temperatura de combustão do diesel, ou combustível adequado escolhido. Posteriormente há uma injeção de combustível nesse ambiente de espaço comprimido que se encontra a uma alta temperatura, que por conseguinte há a ocorrência de combustão.

Os motores do ciclo Diesel possuem uma livre passagem de ar, de tal modo que o ar admitido na câmara de combustão corresponde ao volume máximo ao qual a câmara suporta. Sendo que o controle de carga nesse tipo de tecnologia é proveniente da bomba injetora do motor, a qual estará encarregada de determinar a carga de trabalho através da quantidade de combustível injetado. Esse tipo de comando pode ser mecânico ou eletrônico.

Esse ciclo é constituído por quatro transformações termodinâmicas, que podem se visualizadas conforme o seu ciclo ideal logo mostrado:

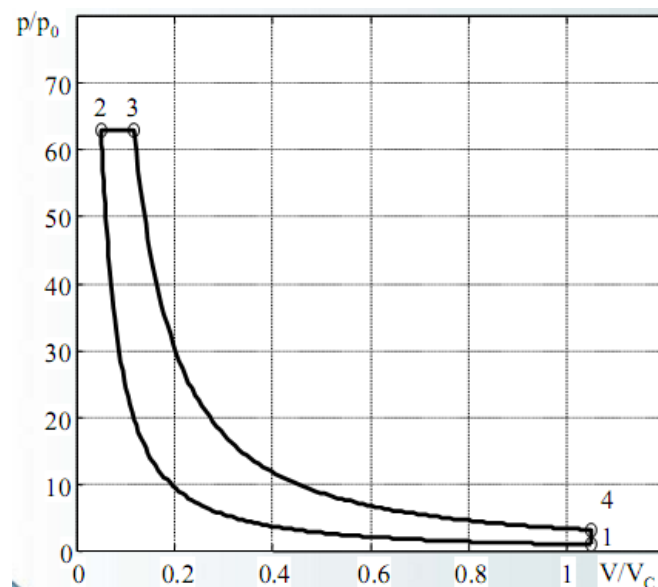


Figura 9 - Ciclo Diesel (Prof. Joseph MARTIN,2008)

As transformações são:

- 1-2 compressão isentrópica
- 2-3 adição de calor a pressão constante

3-4 expansão isentropica

4-1 rejeição de calor a volume constante

Os motores Diesel possuem uma alta taxa de compressão, pelo fato de serem motores que possuem uma combustão por compressão. A taxa de compressão é a razão de volume da câmara de combustão do motor quando o pistão se encontra no ponto morto inferior (PMI) e o ponto morto superior (PMS). Pelo fato da taxa de compressão dos motores Diesel ser maior que o dos motores Otto, os motores Diesel possuem uma maior eficiência.

É bom ressaltar que devido ao fato de o motor Diesel trabalhar sujeito a uma maior pressão, suas peças internas estarão sujeitas a um maior esforço, sendo que essas mesmas peças devem ser mais resistentes do que de um motor do ciclo Otto.

Os motores Diesel queimam o combustível de uma forma mais completa, visto que funcionam a velocidades inferiores aos da gasolina. Os rendimentos térmicos de motores Diesel de grandes dimensões encontram-se entre 35 e 40%. O maior rendimento térmico e o menor custo tornam esse tipo de motor a melhor escolha para a sua aplicação em máquinas que necessitam de uma quantidade de energia, tais como motores de locomotiva, geradores de emergência, navios e caminhões pesados (Çengel, 2001)

CICLO DIESEL NO MODO DUPLO COMBUSTÍVEL - CHAMA PILOTO

O motor usado nesse trabalho é um motor construído para operar no ciclo Diesel. Mas o seu modo de operação é de duplo combustível, ele fará uso do gás de síntese e do óleo vegetal in natura proveniente da biomassa que servira como fonte do gás de síntese, através do seu processamento.

O presente trabalho terá como característica o tipo de ciclo Diesel no modo duplo combustível.

Antes de descrever esse tipo de ciclo, a figura a seguir faz alusão a alimentação do motor.

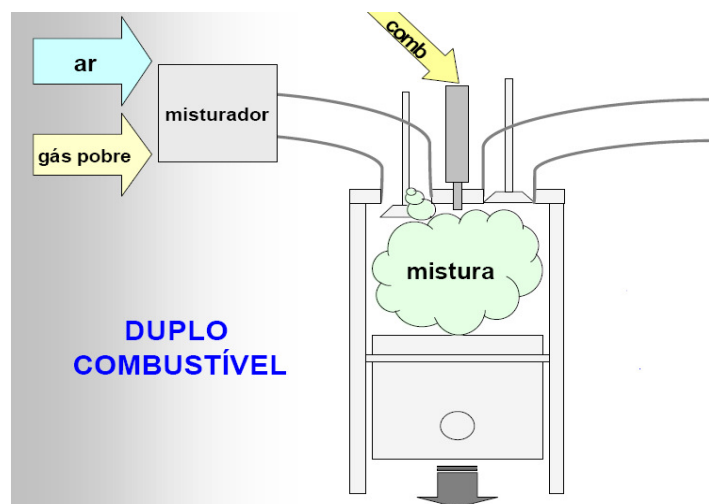


Figura 10 - Alimentação Modo Duplo Combustível (Instituto de Pesquisa e Tecnologia, 2008)

O funcionamento do motor conforme o modo proposto se baseia no fato de que haverá a injeção de ar junto a outro tipo de combustível na fase gasosa, esse combustível na fase gasosa será o gás de síntese, à câmara de combustão. Por conseguinte deve-se haver uma regulagem na injeção de óleo, de tal modo que possa haver a ignição do motor apenas pelo efeito de compressão, pois se trata de um motor por ignição a compressão.

Esta redução de quantidade de óleo na câmara de combustão pode ser de grande expressão, reduzindo assim o consumo de óleo pelo motor.

O ciclo diesel modo duplo combustível proposto será considerado de característica ideal, de tal maneira que a sua descrição não venha condizer com a perfeita realidade, mas se aproxima da mesma.

A Figura 10 demonstra os processos e os correspondentes quatro tempos do ciclo Diesel modo duplo combustível.

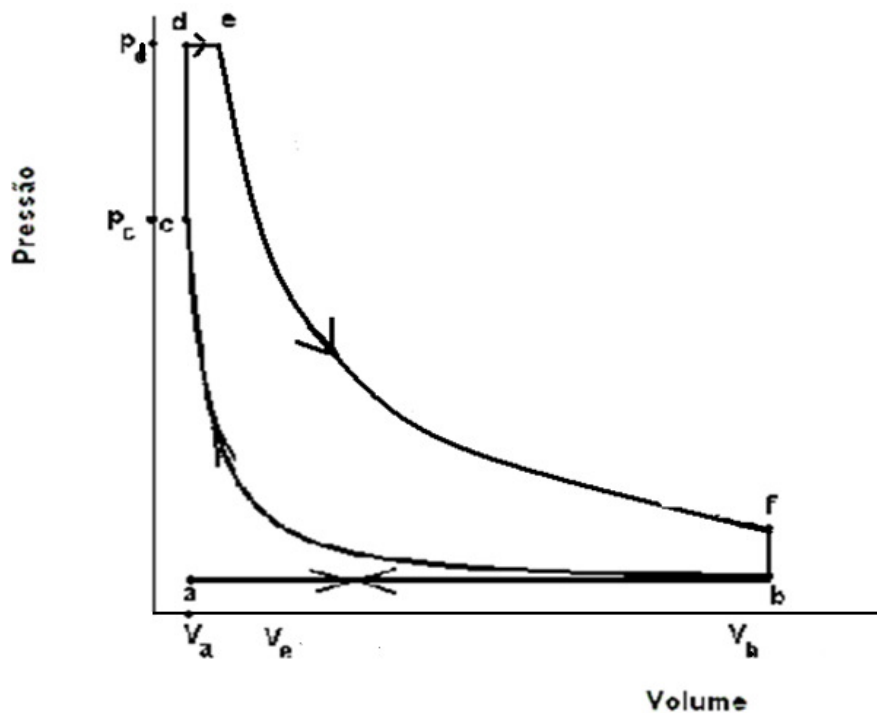


Figura 11 - Ciclo Modo Duplo Combustível (Instituto de Pesquisa e Tecnologia, 2008)

É sabido que o combustível usado será uma mistura composta por óleo vegetal e gás de síntese. O caminho de *a-b* descreve uma admissão de combustível na câmara de combustão. No caminho de *b-c* acontece uma compressão isentrópica. Já no caminho *c-d* há uma combustão e uma conseqüente admissão de calor a volume constante advinda da queima do óleo e seqüencialmente de maneira quase instantânea do gás de síntese. No entanto o caminho *d-e* o processo é caracterizado por ainda apresentar algumas gotículas remanescentes de óleo, como a pressão se encontra em um estado maior que o estado de combustão do óleo, haverá uma combustão mais lenta do mesmo gerando uma expansão de característica quase isobárica e uma conseqüente admissão de calor, mesmo que seja em

uma quantidade menor comparado com o processo anterior. Logo em seguida, com o fim da combustão há a continuação da expansão de maneira isentrópica descrevendo o caminho *e-f*, que por conseguinte, no caminho *f-b* haverá uma descarga com uma conseqüente rejeição de calor e por final no caminho *b-a* ocorrerá a exaustão dos gases resultantes da combustão.

A esse ciclo deve-se deixar bem claro a ação da chama piloto, a qual é induzida pelas etapas *c-d* e *d-e*. É possível concluir que durante a etapa *b-c* o motor age comprimindo uma mistura de ar e gás de síntese a um volume pré-determinado como acontece em todo ciclo Diesel, induzindo assim uma alta taxa de compressão e aquecendo o gás resultante (ar e gás de síntese) e a uma temperatura que excede à temperatura de combustão do óleo. Em seguida, quando o pistão atinge o ponto morto superior o óleo, através da bomba injetora, é injetado em forma de spray, gerando micro gotículas as quais tem sua superfície de contato aumentada melhorando assim a sua eficiência na combustão. Com a combustão do óleo de maneira muito rápida, instantânea, haverá a combustão do gás de síntese. Sendo assim nesse ponto o óleo estará exercendo o papel de agente da chama piloto para a combustão do gás de síntese. Servindo de ignitante para a combustão do gás.

O motor de trabalho é constituído por um sistema de injeção tal que seus principais componentes são: bomba injetora e os bicos injetores os quais determinam a quantidade de combustível que é injetado dentro da câmara de combustão do motor.

A bomba injetora se encarrega de deslocar o combustível do tanque até o motor, limitar a quantidade máxima de combustível a ser injetado, a partir do comando do operador, na câmara de combustão e ajustar automaticamente a quantidade de combustível injetada na câmara (débito).

No presente trabalho o combustível, líquido, irá se deslocar por ação da gravidade, pois o tanque de óleo se encontra a uma altura maior do que a do motor.

Os bicos injetores têm a função de pulverizar o combustível dentro da câmara de combustão. Nesse estágio a qualidade da pulverização conta muito, porque será ela a responsável pela eficiência e eficácia da combustão.

Esta é uma foto do spray de óleo combustível feito pelo bico injetor, tal que permite observar a quantidade de combustível injetada durante diferentes condições de tempo.

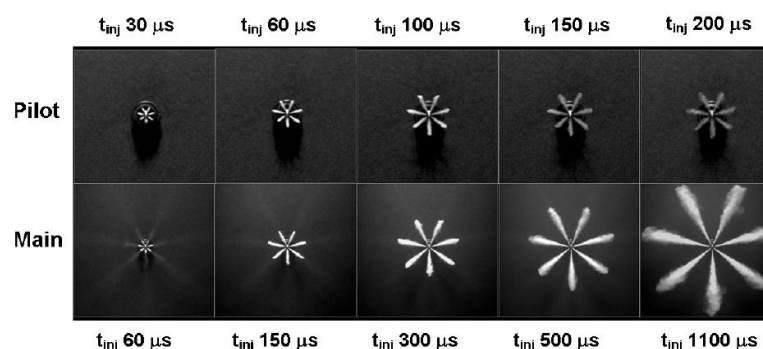


Figura 12 - Características de sprays em diferentes condições e tempos (adaptado de Valentino ET AL., 2009).

É essa injeção que vai caracterizar a chama piloto, na qual servirá de ignitante para a queima do gás de síntese.

Para o presente motor de trabalho poder operar no modo de duplo combustível, foi necessária a instalação de duas linhas paralelas de alimentação, uma para óleo Diesel e outra para óleos vegetais, e também foi feita a instalação de um sistema elétrico de controle da mudança dos combustíveis, para maior facilidade na operação do sistema. O sistema consiste de válvulas solenóides que controlam a passagem dos combustíveis para o sistema de injeção. Estas válvulas são controladas por chaves, que foram instaladas no painel do grupo moto-gerador. (Rodrigues, 2008)

2.6.2 FUNCIONAMENTO DO MOTOR DIESEL COM ÓLEO VEGETAL

O óleo vegetal a temperatura ambiente possui uma viscosidade diferente do óleo Diesel, nesse caso a viscosidade do óleo vegetal é maior o que implica em dificuldades de utilização. No entanto, caso esse óleo seja aquecido pode-se atingir uma viscosidade semelhante a do óleo Diesel.

O fato de haver uma diferença de viscosidade entre o óleo Diesel e o óleo vegetal in natura implica na necessidade do uso de um sistema de pré-aquecimento do óleo in natura para a sua aplicação no motor. Isso vai fazer que a passagem do óleo pelas linhas de alimentação seja facilitada havendo assim uma conseqüente melhora nas condições de pulverização do mesmo pelo bico injetor na câmara de combustão.

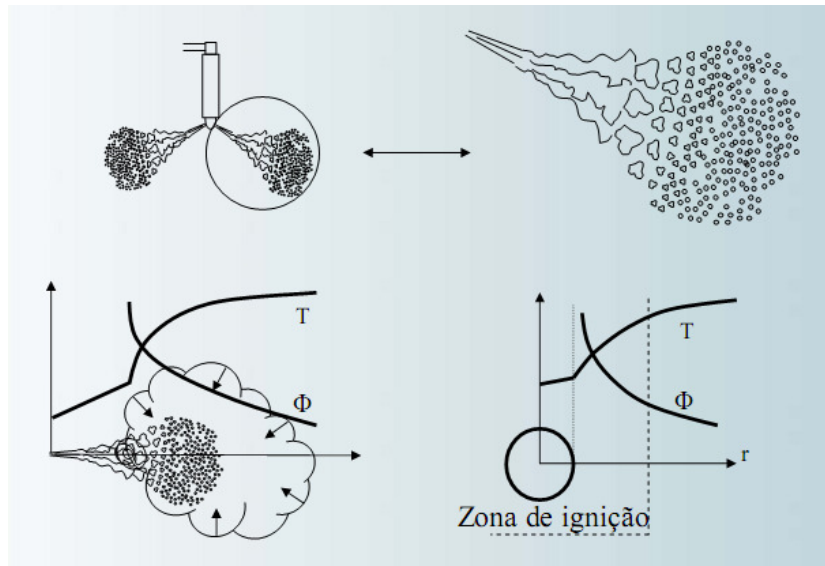


Figura 13- Ignição espontânea (Prof. Joseph MARTIN, 2008)

O fato de alimentar o motor com óleo vegetal sem um processo de aquecimento favorece a formação de detritos e gomas nos componentes internos do motor. Isso se dá pelo fato de o óleo vegetal apresentar um número de cetano. Quanto menor o número de cetano, maior será o tempo de retardo da ignição e maior será a quantidade de combustível que permanecerá na câmara sem queimar o que na sua queima gera uma quantidade de energia superior do que a necessária.

Os compostos oxigenados também são agentes formadores de goma ésteres e cetonas, por exemplo, que como vimos anteriormente são compostos formadores do óleo vegetal.

Esse pré-aquecimento é uma prevenção para a formação de detritos. O pré-aquecimento é obtido através de uma resistência de fita que estará em contato com as linhas advindas da bomba injetora que alimentam o motor com o óleo combustível.

2.6.3 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

O consumo específico de combustível é a quantidade em massa do combustível consumida em um determinado tempo para a produção de uma determinada quantidade de energia. Na situação do ciclo modo duplo combustível, combustível admitido pelo motor não será apenas o óleo combustível, mas sim também o gás de síntese. No entanto a medida será tomada será o debito do óleo e o consumo específico de combustível será considerado como o consumo específico do óleo operando com gás de síntese.

$$c_s \triangleq \frac{\dot{m}_c}{P_e} = \frac{1}{\eta_s PCI}$$

3 CARACTERIZAÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL

O presente projeto tem por objetivo a queima simultânea de óleo vegetal e gás de síntese em motor do ciclo Diesel. Por isso a bancada é composta por uma unidade gaseificadora de biomassa e um grupo moto-gerador junto a um sistema de aquisição de dados.

Um esquema de fluxo energético é mostrado na figura logo abaixo:

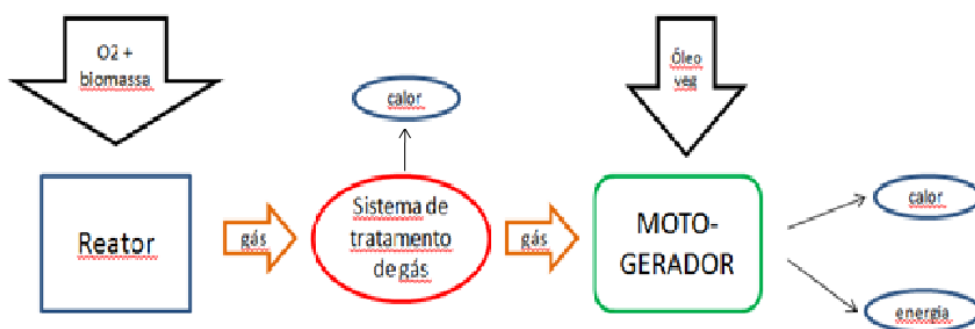


Figura 14 - Fluxo de Energia

A unidade gaseificadora é composta por: reator (1), separador de partículas (2), trocador de calor (3), filtro (4). A união da unidade gaseificadora com o motor é feita por duas válvulas borboletas manuais nas quais servem para controlar a mistura de gás de síntese e ar que irá alimentar o motor. O motor possui duas linhas de combustível líquido. Na qual uma é destinada para o óleo Diesel e a outra para o óleo vegetal. Válvulas solenóide se encarregam de controlar a seleção do combustível líquido a qual o motor será alimentado. A linha de alimentação de Diesel está presente pelo fato de que o óleo vegetal não proporciona uma fácil partida do motor quando este está frio. O sistema pode ser visto em uma figura esquemática logo abaixo:

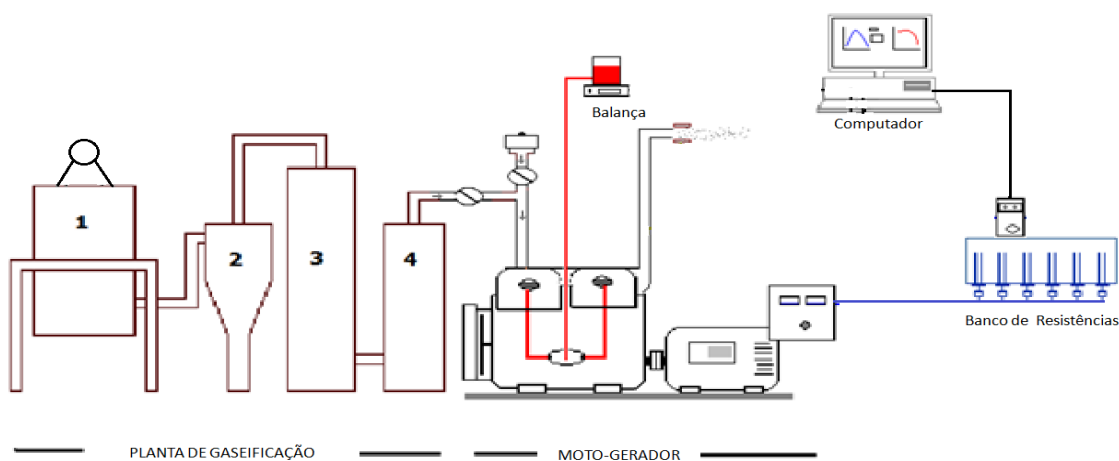


Figura 15 - Bancada Experimental (Veras et al.adaptado, 2010)

A bancada é composta de uma balança a qual medirá a variação de massa do reservatório de óleo combustível. Toda a energia produzida no gerador deverá ser transferida para a água contida em um tanque equipado por um banco de resistências elétricas. Esse aparato também está conectado ao computador, que com a ajuda de um software tomará os dados da energia consumida pela água e da energia produzida pelo gerador. O ensaio será realizado utilizando cargas pré-determinadas a partir da combinação do uso das resistências elétricas de potência conhecidas, presentes no banco de resistências. A cada nível de carga pré-selecionado será medido o consumo de óleo combustível, para então poder traçar a curva de consumo e de eficiência do motor usando o óleo in natura escolhido junto ao gás de síntese da biomassa.

Os dados obtidos servirão de fonte de informação para obter a avaliação da combustão da mistura óleo vegetal e gás de síntese no motor Diesel disponível.

A bancada é composta de dois reatores co-correntes de tamanhos e capacidades de produção de energia diferentes.

O primeiro reator tem capacidade de produzir 30 kW de energia, seu diâmetro interno é de 400mm. Sua descrição não pode ser bem detalhada pelo fato de estar em pleno processo de patente. O segundo reator tem as mesmas características de funcionamento, porem possui um diâmetro 200mm.



Figura 16 – Bancada com reator de 400 mm

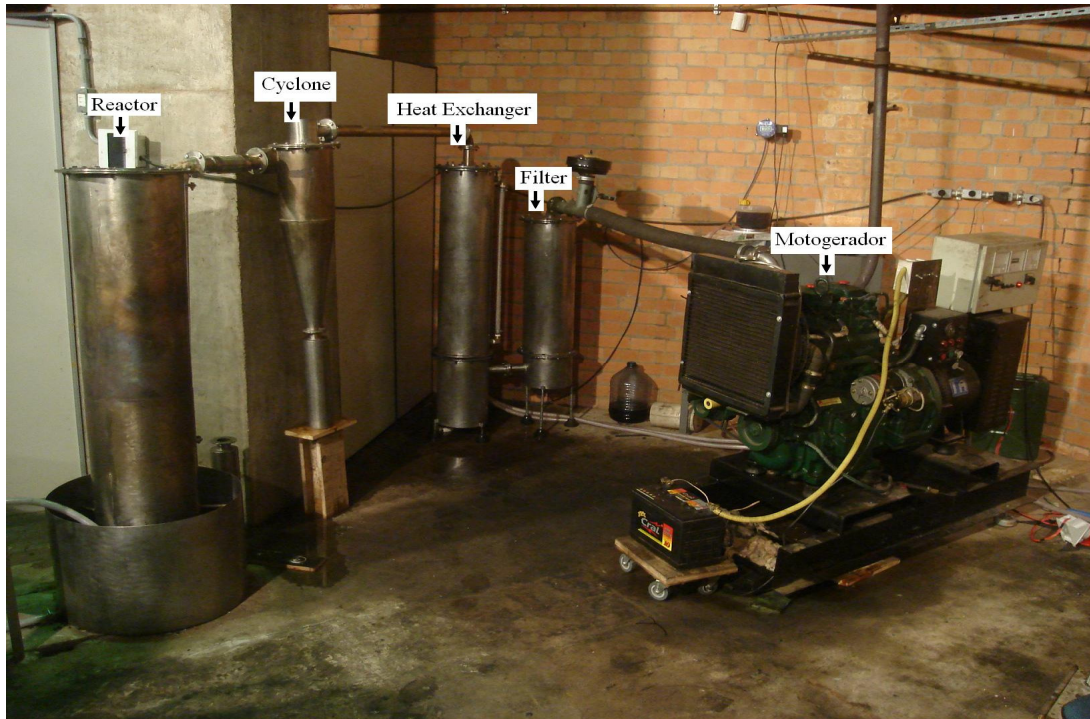


Figura 17 – Bancada com o reator de 260mm

3.1 GRUPO MOTO-GERADOR

É um equipamento montado pela empresa Leon Heimer do Brasil LTDA, sendo que é composto por um motor importado sendo alojado em um chassi de fabricação própria. O gerador elétrico também está montado sobre esse chassi. As dimensões e peso característicos são:

- Comprimento: 1.500mm
- Largura: 650mm
- Altura: 1.300mm
- Peso: 430kg

3.1.1 O MOTOR

É um motor fabricado na Índia de marca Kirloskar, modelo DM-20, no qual se encontra acoplado ao gerador de energia elétrica.

Ficha técnica do motor:

- Cilindros/disposição: 2 cilindros em linha
- Válvulas: 2 por cilindro, no cabeçote
- Comando de válvulas: lateral no bloco
- Diâmetro x curso: 100mm x 120mm
- Cilindrada total: 1.884 cm³

- Taxa de compressão: 17,0:1
- Potência: 23,0cv (16,9kW) a 1.800 rpm
- Refrigeração: a água, circuito fechado, bomba centrífuga
- Lubrificação: óleo, com bomba tipo diafragma
- Admissão: aspiração natural
- Injeção de combustível: bomba injetora mecânica de controle automático, acionada por solenóide, com pré-bomba do tipo diafragma.

3.1.2 SISTEMA DE FILTRAGEM DE COMBUSTÍVEL

É um sistema não original, sendo composto por dois sistemas paralelos, no qual um serve para o óleo Diesel e o outro para o óleo vegetal in natura. Esses sistemas são da marca Vox, modelo FSB 6004. São ligados a solenóides e uma união na forma de T que o comunica a uma bomba injetora. O tanque se situa a uma altura maior que a bomba injetora. Por isso o óleo chega ate a bomba pela ação da própria força gravitacional.

3.1.3 SISTEMA DE CONTROLE DE COMBUSTÍVEL

Os combustíveis são trocados sem interrupção, para que o motor não venha apagar, ou se desligar. Por isso o equipamento e composto por um sistema de controle elétrico, no qual permite essa troca de combustível sem interrupção. Esse sistema é composto por uma válvula solenóide corta combustível, na qual uma é usada para o óleo Diesel e a outra por uma válvula globo que libera a alimentação do óleo vegetal in natura. Seu controle é feito por chaves instaladas no painel de controle do grupo moto-gerador, e por válvula junto a tubulação de óleo vegetal in natura.

As características das válvulas utilizadas são:

- Marca: Yannar
- Modelo: Válvula Corta-Combustível
- Tensão de alimentação: 12 V.

3.1.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO DO COMBUSTÍVEL

A necessidade de um pré-aquecimento do óleo vegetal in natura faz com que a tecnologia utilizada venha ser o uso de uma fita do tipo traço térmico enrolada em torno da linha de combustível.

Essa fita é composta de um cabo de 3 vias, sendo neutra, e as outras fase e terra. Sendo revestida com um silicone próprio para suportar altas temperaturas.

A ficha técnica característica do sistema de aquecimento das linhas é:

- Fabricante: Higher Elétrica LTDA.
- Modelo: HTRC 32
- Comprimento do cabo de alimentação: 500 mm
- Potência fixa por metro: 40 W
- Comprimento da resistência: 2 m
- Potência total do traço: 80 W
- Revestimento da linha aquecida: fita isolante a base de fibra de vidro, fornecida pelo fabricante do traço térmico

3.1.5 O GERADOR ELÉTRICO

O gerador elétrico que compõem a bancada é da marca Heimer Diesel, modelo GEHK-18. Esse gerador tem a capacidade de produzir até 12KW de potência em corrente alternada, com uma tensão de saída de 220 V a partir da energia obtida pelo motor.

O grupo moto-gerador possui um gerador o qual sua instrumentação nos fornecerá a frequência da corrente (corrente alternada) a qual o motor está fornecendo. Também será obtida a corrente de saída do gerador assim como a sua tensão de saída. Utilizando os dados de tensão de saída e de corrente fornecida, a equação nos fornece:

$$P = I \cdot U \quad [2]$$

Sendo assim, podemos calcular qual será a potência que estará sendo gerada pelo gerador, ou seja, a potência efetiva de saída do grupo moto-gerador. O ensaio será realizado utilizando com cargas pré-determinadas a partir da combinação do uso de resistências elétricas de potência conhecida. A cada nível de carga pré-selecionado será medido o consumo de óleo combustível, para então poder traçar a curva de consumo e de eficiência do motor usando cada óleo in natura escolhido junto ao gás de síntese da biomassa.

A ficha técnica característica do gerador elétrico é:

- Marca: Heimer do Brasil LTDA.
- Modelo: GEHK-18
- Tensão de saída: 220V, corrente alternada
- Frequência de saída: 60Hz
- Rotação de trabalho: 1.800rpm
- Potência máxima fornecida: 12kW

3.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO

Os resultados da análise de energia obtida pelo grupo moto-gerador serão obtidos a partir de uma instrumentação que faz parte do mesmo aparato, sendo original de fábrica. Este aparato também é composto por um multímetro o qual é demonstrado em seu painel. Essa instrumentação servirá para fazer a medição do consumo de combustível tendo como base as cargas aplicadas no gerador.

3.2.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível será aferido através da utilização de uma balança eletrônica de precisão, no qual serão tomadas as medidas de massa de óleo combustível consumida em intervalos de tempo distintos.

A balança que disponível no laboratório para ser utilizada possui as seguintes características

- Marca: Toledo,
- Linha: Ohaus Adventurer
- Modelo: ARD 110
- Capacidade: 4.100g
- Incremento: 0,01g
- Modos de pesagem: g, mg, kg, ct e contagem de peças
- Repetibilidade (desvio-padrão): 0,01g
- Linearidade: 0,02g
- Tara: Capacidade total por subtração
- Tempo de estabilização: 3 segundos
- Sensibilidade à temperatura: 10 ppm/°C
- Temperatura de operação: 10 a 30°C
- Alimentação elétrica: Adaptador Externo - 110, 220 VCA, 50/60Hz
- Display: LCD
- Tamanho dos dígitos: 12mm (altura)
- Tamanho do prato de pesagem: 180mm (diâmetro)
- Dimensões: 207mm x 110mm x 343mm

3.2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO DA ENERGIA GERADA

A medição de energia gerada será obtida coletando os valores de carga aplicadas no gerador, de tal modo que a obtenção destes dados será feita com o auxílio de um computador. O computador fará uso do software Amazon V3.0.0. Este software é encarregado de registrar os dados coletados pelo

relógio de medição em intervalos de 10 segundos, sendo que assim será obtida a quantidade de energia consumida.

O sistema de medição de energia disponível no laboratório tem as seguintes características:

- Marca: Autonix
- Modelo: TZN 4 S

3.2.3 BANCO DE RESISTÊNCIAS

O uso de um banco de resistências se torna necessário para que haja a dissipação da energia gerada pelo gerador. Essa solução permite obter os resultados do consumo de energia elétrica e assim obter uma eficiência desejada. Para isso o laboratório é equipado com um tanque de água com uma alimentação constante, sendo que nesse tanque está montado um banco de resistências elétricas do tipo mergulhão que são ligadas ao gerador elétrico e servem para aquecer a água contida dentro do tanque.

O banco de resistências que está disponível no laboratório possui as seguintes características:

- Marca: IMC
- Modelo: Ebulidor Niquelado
- Potência aproximada: 0.9 kW e 10.5 kW

4 RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS

A bancada experimental foi preparada para operar nos dias 13 e 23 de agosto de 2010.

O óleo vegetal in natura usado nos testes foi obtido da extração um lote de frutos no laboratório de Química da Universidade de Brasília. As características físicas do material, frutos, do qual foi extraído o óleo são as seguintes:

Tabela 12 – Pesos médio e percentuais relativos das diferentes partes dos frutos frescos (Linda, 2010)

| Descrição | Peso Médio(g) | Percentual(%) |
|-----------------|---------------|---------------|
| Fruto sem polpa | 21.75 | 100 |
| Casca | 12.00 | 55.17 |
| Amêndoa | 9.75 | 44.83 |

Total de 1363 indivíduos

O óleo usado, foi obtido com a extração de um primeiro lote de frutos do Tucumã da Amazônia, do gênero *Astrocaryum* sendo que a quantidade beneficiada foi de 35 kg do fruto sem a polpa, do qual foram obtidos 24.5 kg de casca e 10.5 kg de amêndoas ou castanha.



Figura 18 – Amostra do fruto sem polpa, casca e castanha

Dentro desse lote foram separados sub lotes de 2 kg de castanha, nas quais foram processadas em menores tamanhos e feita extração sólido-líquido com solvente (hexano). A massa então processada foi colocada dentro de extratores, sendo um total de 5, onde foi feita uma recirculação de hexano a cada 10 minutos num total de 5 vezes. Em cada vez era trocada a massa contida em cada extrator de maneira tal que pudesse haver uma recirculação de manual do hexano. O hexano foi mantido a uma temperatura de 55 ± 5 °C, para uma melhor eficiência.

A mistura resultante foi introduzida em um retro-evaporador no qual tem a função de extrair óleo com a diferença de volatilidade. Para 1 L de mistura foi obtido 400 mL de óleo vegetal misturado a pequena quantidade de água e hexano, no qual foi submetido a uma linha de vácuo para extrair a água e o hexano restante, sendo obtido como produto 250 mL de óleo de amêndoa. Esse óleo quando encontrado em temperatura ambiente se mostra em um estado sólido, isso se dá devido ao seu grau de insaturação.

Também foi obtido o óleo da polpa do Tucumã no qual foi feita uma extração por prensagem. Os frutos foram despulpados e levados a uma prensa hidráulica e assim foi obtido o seu óleo.

Fez-se uma mistura de mesma proporção em massa dos óleos obtidos para poder caracterizar o óleo que poderia ser aproveitado de todo o fruto. Foi constatado pela bibliografia um poder calorífico inferior de 37000 J/kg, valor esse que se encontrou dentro de uma média com relação a outros óleos extraídos de diferentes espécies vegetais de oleoginosas. A densidade desse óleo é de 0,91 kg/L



Figura 19 – Óleo da castanha do Tucumã



Figura 20 – Óleo da castanha e da polpa(mesocarpo) do Tucumã



Figura 21- Óleo do Tucumã

A biomassa obtida após a extração do óleo foi usada no reator do sistema de gaseificação.

Foi feita uma análise de umidade da biomassa, na qual foi encontrada uma umidade de 8,93%, considerada aceitável pela literatura.

A figura a seguir mostra o tipo de biomassa usada no processo de gaseificação, advinda do coco do Tucumã:



Figura 22 – Amostra da biomassa do coco do Tucumã

Durante o processo de gaseificação foi observado e determinado o comportamento da queima da biomassa no reator, e foi obtida a seguinte configuração no topo da biomassa do gaseificador:

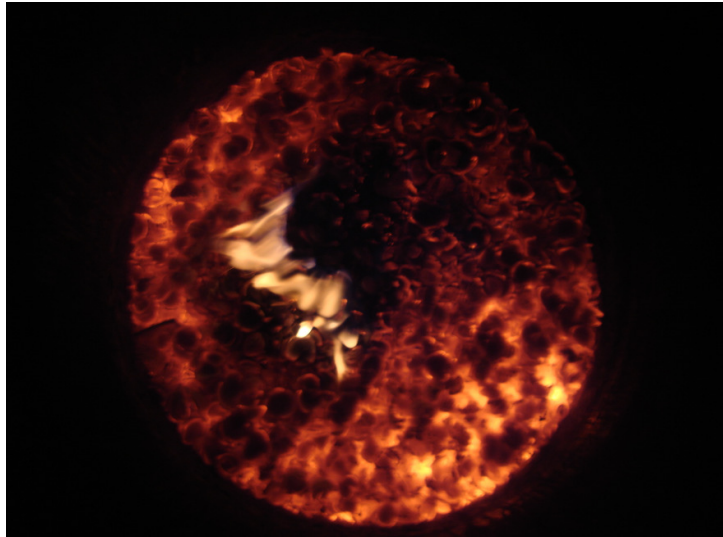


Figura 23 – Biomassa e a queima de voláteis, reator de 400 mm de diâmetro interno.



Figura 24- Biomassa em final pirólise, reator 400 mm de diâmetro interno.



Figura 25 – Biomassa, formação de carvão, reator de 400mm de diâmetro interno

Já para o reator de 200mm de diametro também foi observado as seguintes configurações de queima da biomassa:



Figura 26 - Biomassa e a queima de voláteis, reator de 260 mm de diâmetro interno 1.



Figura 27- Biomassa e a queima de voláteis, reator de 260mm de diâmetro interno 2.

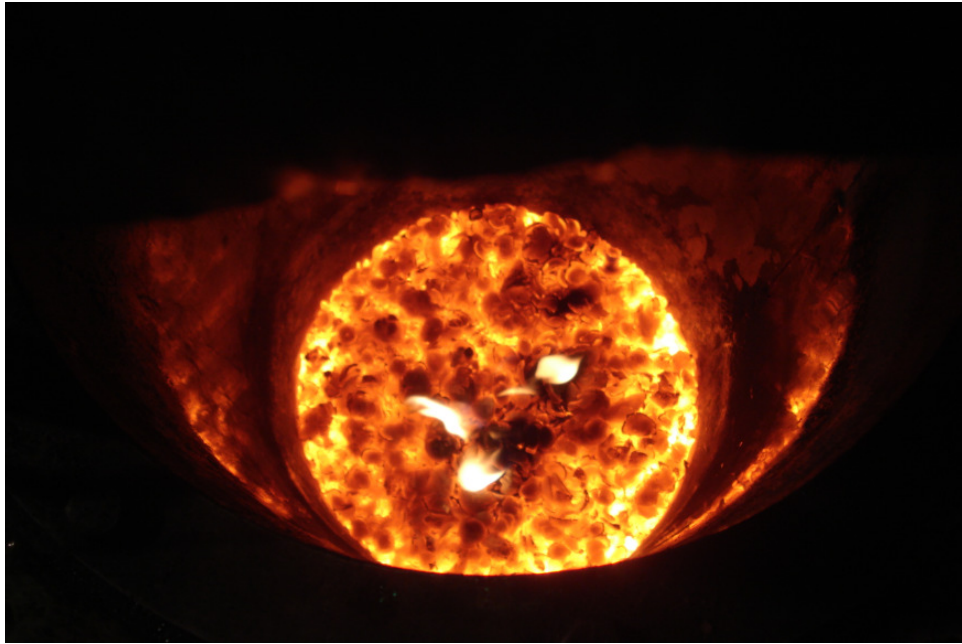


Figura 28 - Biomassa em final pirólise, reator 260mm de diâmetro interno.

O moto-gerador quando caracterizado para o seu uso com apenas a alimentação de óleo diesel, foi obtido o seguinte gráfico característico de consumo e potência gerada:

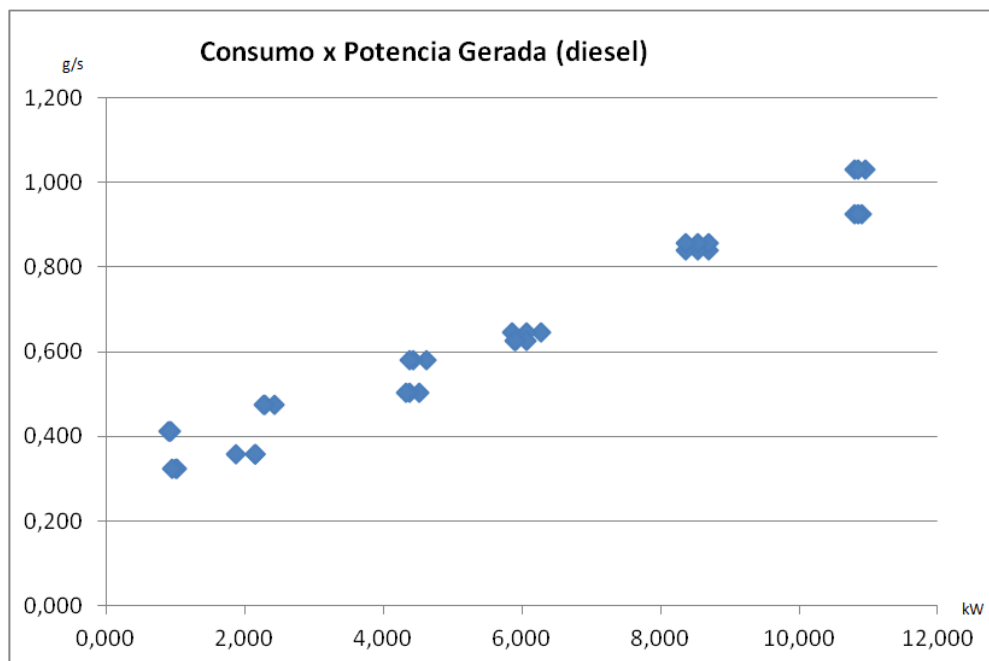


Figura 29 – Gráfico Consumo x Potencia Gerada (óleo diesel)

No ensaio realizado no dia 13 de agosto de 2010 foi obtido o gráfico para o uso de óleo diesel e casca do tucumã, gerando assim uma alimentação do motor composta por gás de síntese e óleo diesel e concluiu que:

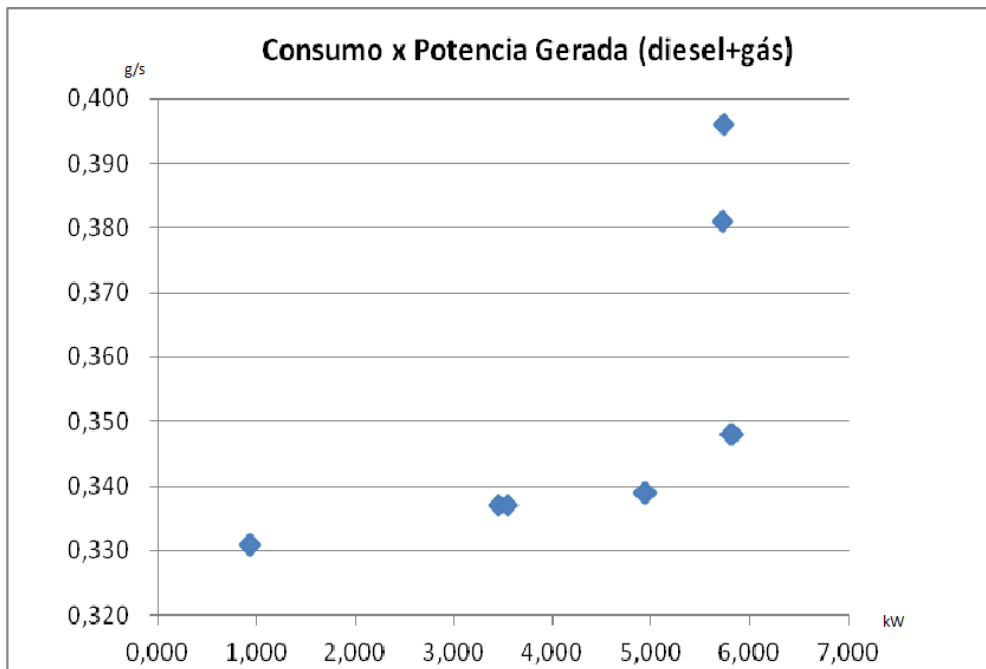


Figura 30 - Consumo x Potencia Gerada (diesel+gás)

Pode ser observado que o efeito do gás de síntese na combustão formando o ciclo modo duplo combustível gerou uma economia de óleo diesel considerável. Porém a entrega de potência para o motor não foi menor do que para uma alimentação apenas com óleo diesel.

No mesmo dia foi feita a alimentação do motor com o gás de síntese e o óleo vegetal in natura do tucumã. Foi obtido os seguintes resultados:

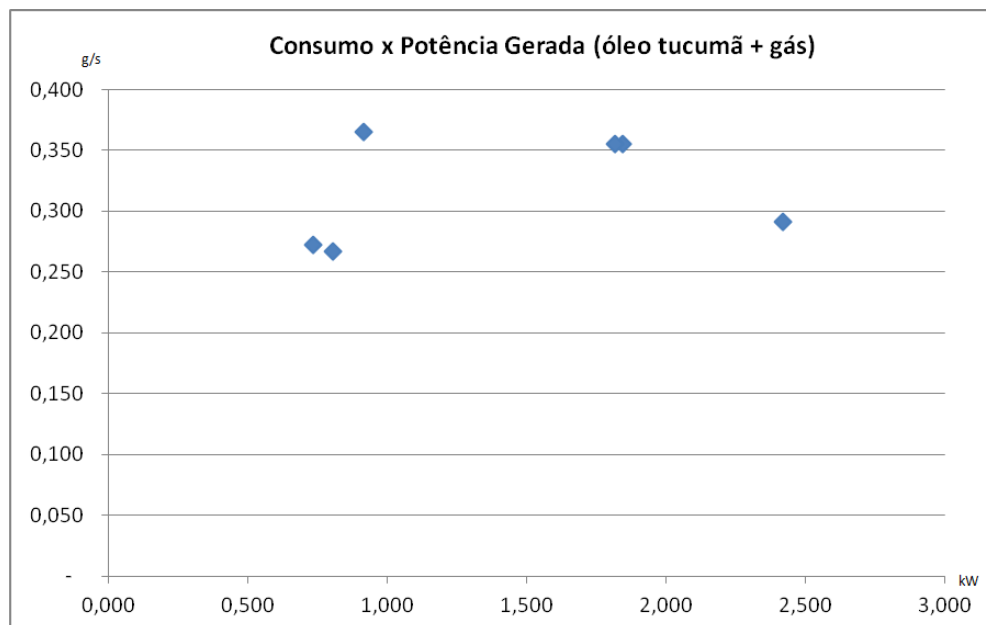


Figura 31 - Consumo x Potência Gerada (óleo tucumã + gás)

O desempenho do motor com estes combustíveis, nessa situação, não foi muito satisfatório, já que o motor não conseguiu entregar uma quantidade de potência razoável.

Estes últimos resultados induziram a fazer uma substituição do reator de 400 mm de diâmetro interno por uma reator menor, com 260 mm de diâmetro interno, e assim poder verificar a variação dos efeitos resultante do processo de gaseificação de uma mesma biomassa em reatores de diferentes diâmetros.

Após ter sido feito alguns ajustes no reator de 260 mm de diâmetro, foram feitos novos ensaios com este no dia 23 de agosto. Os procedimentos foram os mesmos do ensaio anterior e para o ensaio com a alimentação do motor pelo óleo diesel e o gás foram obtidos os seguintes resultados:

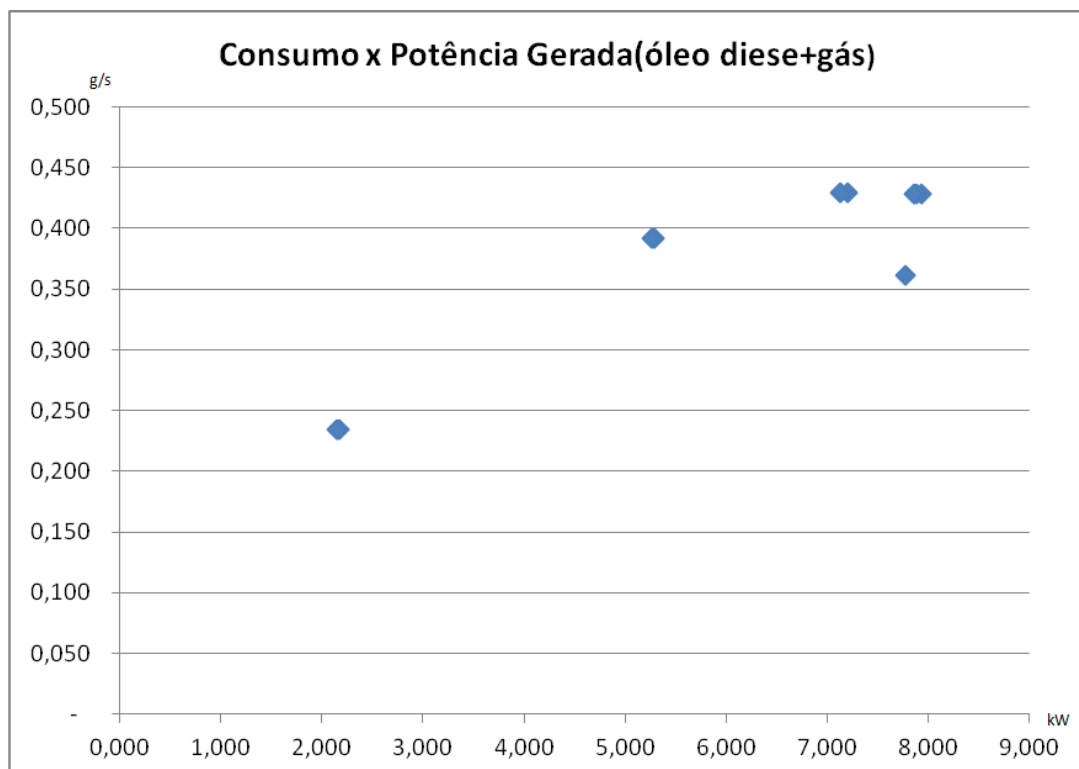


Figura 32 - Consumo x Potência Gerada (óleo diesel + gás)

Nesse ensaio pode ser observado que o motor funcionou com uma faixa de potência maior do que quando ele foi alimentado com o gás de síntese provindo do gaseificador maior.

Logo em seguida foi feito o ensaio do sistema com a alimentação do motor com gás de síntese e o óleo vegetal de tucumã. Os resultados foram mais satisfatórios e pode ser visto no gráfico a seguir:

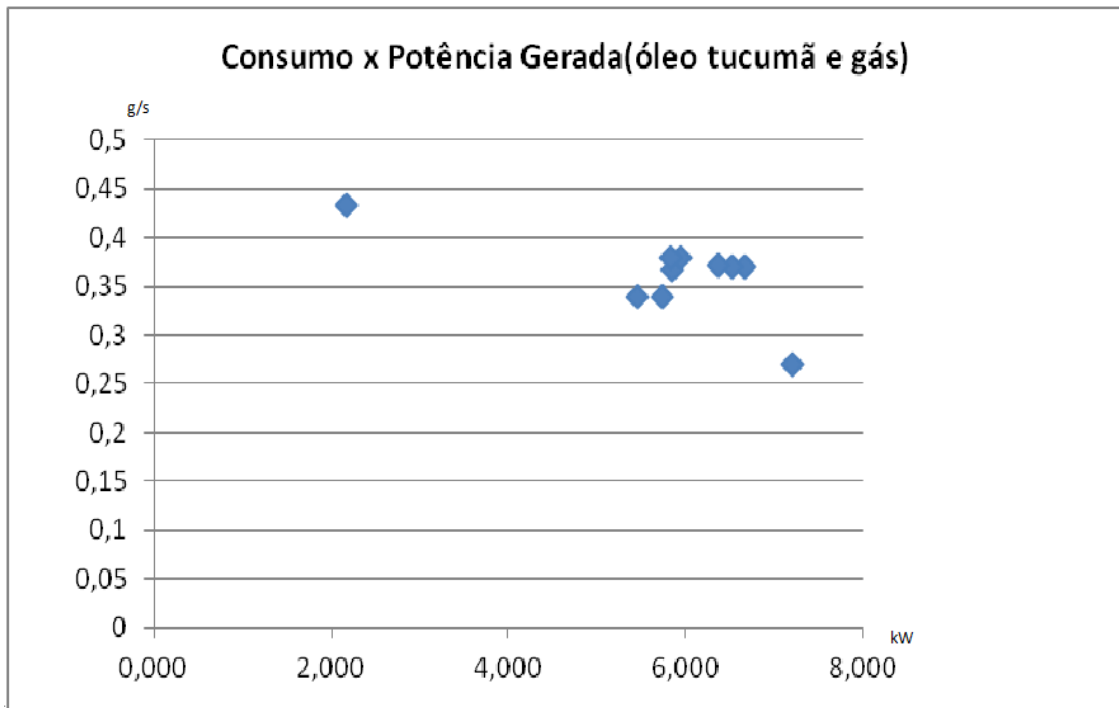


Figura 33 - Consumo x Potência Gerada (óleo tucumã + gás)

Os resultados observados demonstram que o uso de um reator menor para a utilização da biomassa do tucumã resulta em uma melhor eficiência do sistema. É bom saber disso, pois o uso de um sistema de menores proporções em uma comunidade isolada é mais facilitado do que para o uso de um sistema com maiores proporções. Também é bom observar que a potência entregue pelo motor com óleo vegetal e gás de síntese, quando em sua quantidade máxima atingida, quando comparada com a potência obtida com a alimentação do motor com gás de síntese e óleo diesel, possuem consumos próximos.

O consumo de biomassa também foi levado em conta, de tal maneira para o primeiro reator (400mm) o consumo médio foi de 0,108 kg/min, já no segundo reator (260 mm) foi constatado um consumo médio de 0,473 kg/min. Também foi determinado o consumo médio de óleo vegetal, sendo que para o primeiro reator foi constatado um consumo de 0,018 kg/min e para o segundo foi de 0,019 kg/min. Esse consumo médio de óleo vegetal das duas configurações da bancada mostra que a grande diferença obtida nos resultados tem como principal agente os parâmetros de projeto do reator do gaseificador.

Para o gaseificador maior foi observado o seguinte comportamento da temperatura do gás síntese obtido:

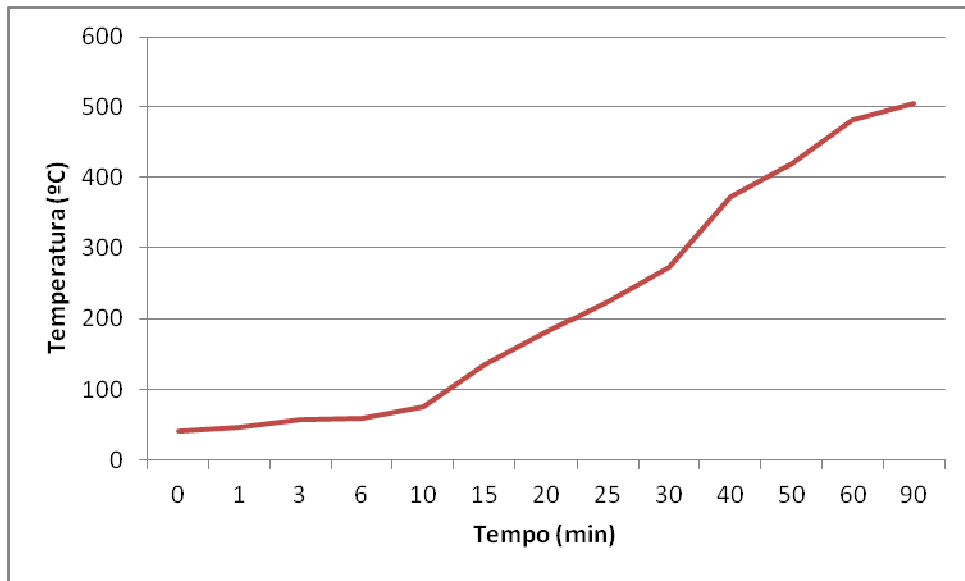


Figura 34 - Temperatura do Gás de Síntese x Tempo

Para os cálculos relativos ao dimensionamento dos diâmetros internos do reator foi feito um código computacional (EES) para verificar os parâmetros que correspondem às diferentes áreas de seção dos reatores. Parâmetros como: PCI do gás, PCI do óleo, Taxa de gaseificação específica (TGE), fluxo de massa e outros são determinados.

Para o reator de 260 mm de diâmetro foi obtido os seguintes resultados:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

| | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------------------------|--|---|---|
| $A_r = 0,05309 \text{ [m}^2\text{]}$ | $CC = 1880 \text{ [cm}^3\text{]}$ | $\eta = 0,25 \text{ [dim]}$ | $\eta_{oil} = 0,85 \text{ [dim]}$ | $\dot{m}_B = 10 \text{ [kg/hr]}$ | $\dot{m}_D = 0,3 \text{ [g/s]}$ |
| $\dot{m}_G = 28,18 \text{ [m}^3\text{/hr]}$ | $OF = 20 \text{ [dim]}$ | $OF_{st} = 15 \text{ [dim]}$ | $PCI_D = 42 \text{ [kJ/g]}$ | $PCI_G = 3500 \text{ [kJ/m}^3\text{]}$ | $\phi = 0,75 \text{ [dim]}$ |
| $\dot{Q}_D = 12,6 \text{ [kJ/s]}$ | $\dot{Q}_G = 27,4 \text{ [kJ/s]}$ | $rpm = 1800 \text{ [1/min]}$ | $TGE = 188,3 \text{ [kg/m}^2\text{-hr]}$ | $\dot{V}_1 = 3,384E+06 \text{ [cm}^3\text{/min]}$ | $\dot{V}_G = 129,4 \text{ [m}^3\text{/hr]}$ |
| $\dot{W}_{liq} = 10 \text{ [kW]}$ | | | | | |

No qual a taxa de gaseificação específica TGE é um fator importante para os resultados obtidos.

Para o reator de 400 mm de diâmetro foi obtido os seguintes resultados:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

| | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------------------------|--|---|---|
| $A_r = 0,1257 \text{ [m}^2\text{]}$ | $CC = 1880 \text{ [cm}^3\text{]}$ | $\eta = 0,25 \text{ [dim]}$ | $\eta_{oil} = 0,85 \text{ [dim]}$ | $\dot{m}_B = 10 \text{ [kg/hr]}$ | $\dot{m}_D = 0,3 \text{ [g/s]}$ |
| $\dot{m}_G = 28,18 \text{ [m}^3\text{/hr]}$ | $OF = 20 \text{ [dim]}$ | $OF_{st} = 15 \text{ [dim]}$ | $PCI_D = 42 \text{ [kJ/g]}$ | $PCI_G = 3500 \text{ [kJ/m}^3\text{]}$ | $\phi = 0,75 \text{ [dim]}$ |
| $\dot{Q}_D = 12,6 \text{ [kJ/s]}$ | $\dot{Q}_G = 27,4 \text{ [kJ/s]}$ | $rpm = 1800 \text{ [1/min]}$ | $TGE = 79,58 \text{ [kg/m}^2\text{-hr]}$ | $\dot{V}_1 = 3,384E+06 \text{ [cm}^3\text{/min]}$ | $\dot{V}_G = 129,4 \text{ [m}^3\text{/hr]}$ |
| $\dot{W}_{liq} = 10 \text{ [kW]}$ | | | | | |

Ou seja, é provado que a taxa de gaseificação, parâmetro primordial para o rendimento de um gaseificador, do reator menor (260 mm) é maior do que a do reator maior (400 mm).

5 CONCLUSÃO

O uso de um tipo de biomassa em diferentes tamanhos de reatores em um gaseificador co-corrente produz diferentes resultados de eficiência de gaseificação e de taxas específicas de gaseificação. O que foi constatado nesse trabalho.

O uso conjunto do óleo in natura e da biomassa de tucumã se mostrou viável para servir de insumo para a produção de energia elétrica em uma pequena unidade geradora de eletricidade, seja ela instalada em unidades isoladas ou não, bastando ser feitas as devidas adaptações no motor para a alimentação do óleo vegetal e ter um reator compatível com todo o conjunto.

O reator de maior diâmetro (400 mm) se mostrou incompatível com o conjunto de geração de energia junto ao uso da biomassa do tucumã, porém pode ser compatível para o uso de alguma outra biomassa.

O conjunto formado pela bancada mostrou ser de fácil operacionalidade, tal que com um simples treinamento e estudo dos processos se torna possível operar sem dificuldades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andréa M. M. Guedes; orientador, Luiz Ferreira de França; co-orientadora, Nádia Cristina Fernandes Corrêa. Estudo da extração de óleo da polpa de tucumã por CO₂ supercrítico ,2006.

Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. ed. – Brasília : Aneel, 2008.

Çengel, Y. A. e Boles, M. A. 2002. Thermodynamics, an engineering approach, 4ª edição, McGraw- Hill; Çengel, Y. A. e M. A. Boles, 2001.

Dasappa, S., Paul, P.J., Mukunda, H.S., Rajan, N.K.S., Sridhar G. and Sridhar, H.V., 2004, “Biomass Gasification Technology – a Route to Meet Energy Needs”, Current Science Vol. 87, No. 7, 10 October 2004

Gonçalo Rendeiro... [et al.]/Combustão e gaseificação de biomassa sólida Brasília : Ministério de Minas e Energia, 2008. (Soluções energéticas para a Amazônia)

Henham, A. and Makkar, M.K., 1998, “Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Deisel Engine”, Energy Conversion Management Vol. 39, No. 16-18, pp. 2001-2009, 1998

João Nildo de Souza Vianna e Carlos Alberto Gurgel Veras,2008, “Estudo e Avaliação do Desempenho e Uso de Biocombustíveis Craqueados” Laboratório de Energia e Ambiente – LEA-ENM, Universidade de Brasília.

Kaupp A.; Goss, J.R, “State-of-the-Art for small Gas Producer-Engine Systems”, Final report to USDA, Forest Service (1984).

MARTIN ,Joseph. “Motores de combustão interna” Universidade de Brasília (2008).

Nogueira, L.A., Trossero, M.A. “Dendroenergia: Fundamentos e aplicações.”, Agencia Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, Brasília. (2000).

IPT- Instituto de Pesquisa Tecnológica, “Motores de combustão interna”,acesso em: 20 nov. 2008, disponível em: [HTTP://www.cenbio.iee.usp.br/download/.../MotoresGaseificadores.pdf/](http://www.cenbio.iee.usp.br/download/.../MotoresGaseificadores.pdf/)

Reed, T.B., Das, A, “Handbook of Biomass Downdraft Gasifer Engine Systems”,”Biomass Energy Foundation Press”, Golden,Colorado, USA, (1998).

Rice Bran Oil Mixed Fuel Mode”, Renewable Energy 32 (2007) 1565-1580.

Rodrigues, A. C., 2008, “Projeto e Avaliação de uma Central de Geração Elétrica de 5 kW por Gaseificação de Biomassa”, UNB, Brasília.

Rodrigues, A. C., 2008, “Projeto e Avaliação de uma Central de Geração Elétrica de 5 kW por Gaseificação de Biomassa”, UNB, Brasília.

Silva, Jamil Lima – Implementação de um Sistema de Controle para um Banco de Ensaio em Motores de Combustão Interna. Dissertação de Mestrado, UnB, 2008.

Singh, R.N., Singh, S.P., Pathak, B.S., 2005, “Investigation on Operation of CI Engine Using Producer Gas and

Veras, C. A. G., Nietzke, G., Rodrigues, A. C., Rodrigues, P. A., Xavier, E. A., Silva, D. C. B. (2008). “Geração de Energia Elétrica por Gaseificação de Biomassa e Queima Direta de Óleo Vegetal em Motor do Ciclo Diesel”, In: Prêmio Petrobrás de Tecnologia.

Vieira, L. dos S. R., Vianna Jr, A. L., Nascimento, M. V. G., 2000, “Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de energia Elétrica para Projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa – Versão 1”, Relatório Técnico CEPEL, nº ADG – A / PER 789/00.

Wander, P. R., “Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativa de energia renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul”, tese de doutorado, Universidade do Rio Grande do Sul, (2001).

ANEXOS

Tabela 13 – Ensaio óleo diesel.

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | | SAIDA | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|-------|-------|----------------------------|------------------|------------|----------------|
| Car ga | QUADRO ELÉTRICO | | | | CONSUMO COMBUSTÍVEL | | | Interva lo de Δt [s] | Potência [kW] | Eficiência | CEC |
| | Inicial | | Final | | Débito (g/s)* | | | | | | |
| | Tempo h m s | Medida [V.h] | Tempo h m s | Medida [V.h] | 1 | 2,000 | 3 | | | | |
| 0.9 | # 29 36 | 369945 | 22 30 16 | 369955 | 0,413 | | | 40 | 0,900 | 5,19 | 1652,00 |
| | # 29 36 | 369945 | 22 31 18 | 369971 | 0,413 | | | 102 | 0,918 | 5,29 | 1620,23 |
| | # 29 36 | 369945 | 22 32 19 | 369987 | 0,413 | | | 163 | 0,928 | 5,35 | 1602,83 |
| | # 29 36 | 369945 | 22 33 37 | 370006 | 0,413 | | | 241 | 0,911 | 5,25 | 1631,69 |
| 2.5 | # 34 25 | 370025 | 22 35 8 | 370054 | 0,475 | | | 43 | 2,428 | 12,17 | 704,31 |
| | # 34 25 | 370025 | 22 36 9 | 370091 | 0,475 | | | 104 | 2,285 | 11,45 | 748,48 |
| | # 34 25 | 370025 | 22 37 0 | 370123 | 0,475 | | | 155 | 2,276 | 11,41 | 751,28 |
| 4.2 | # 37 27 | 370137 | 22 38 2 | 370182 | 0,580 | | | 35 | 4,629 | 19,00 | 451,11 |
| | # 37 27 | 370137 | 22 39 3 | 370255 | 0,580 | | | 96 | 4,425 | 18,17 | 471,86 |
| | # 37 27 | 370137 | 22 39 35 | 370293 | 0,580 | | | 128 | 4,388 | 18,01 | 475,90 |
| 6.0 | # 40 26 | 370367 | 22 41 1 | 370428 | 0,645 | | | 35 | 6,274 | 23,16 | 370,08 |
| | # 40 26 | 370367 | 22 42 5 | 370534 | 0,645 | | | 99 | 6,073 | 22,42 | 382,37 |
| | # 40 26 | 370367 | 22 42 51 | 370603 | 0,645 | | | 145 | 5,859 | 21,63 | 396,29 |
| 8.25 | # 43 39 | 370697 | 22 44 3 | 370755 | 0,840 | | | 24 | 8,700 | 24,66 | 347,59 |
| | # 43 39 | 370697 | 22 44 57 | 370882 | 0,840 | | | 78 | 8,538 | 24,20 | 354,16 |
| | # 43 39 | 370697 | 22 45 42 | 370983 | 0,840 | | | 123 | 8,371 | 23,73 | 361,26 |
| 10.15 | # 46 14 | 371080 | 22 46 38 | 371153 | 1,029 | | | 24 | 10,950 | 25,34 | 338,30 |
| | # 46 14 | 371080 | 22 47 27 | 371299 | 1,029 | | | 73 | 10,800 | 24,99 | 343,00 |
| | # 46 14 | 371080 | 22 48 4 | 371412 | 1,029 | | | 110 | 10,865 | 25,14 | 340,93 |
| 8.25 | # 48 36 | 371501 | 22 49 0 | 371559 | 0,856 | | | 24 | 8,700 | 24,20 | 354,21 |
| | # 48 36 | 371501 | 22 49 54 | 371686 | 0,856 | | | 78 | 8,538 | 23,75 | 360,91 |
| | # 48 36 | 371501 | 22 50 31 | 371768 | 0,856 | | | 115 | 8,358 | 23,25 | 368,69 |
| 6.0 | # 50 55 | 371833 | 22 51 27 | 371887 | 0,625 | | | 32 | 6,075 | 23,14 | 370,37 |
| | # 50 55 | 371833 | 22 52 29 | 371987 | 0,625 | | | 94 | 5,898 | 22,47 | 381,49 |
| | # 50 55 | 371833 | 22 53 6 | 372048 | 0,625 | | | 131 | 5,908 | 22,51 | 380,81 |
| 4.2 | # 54 5 | 372132 | 22 54 40 | 372176 | 0,502 | | | 35 | 4,526 | 21,47 | 399,32 |
| | # 54 5 | 372132 | 22 55 9 | 372210 | 0,502 | | | 64 | 4,388 | 20,81 | 411,90 |
| | # 54 5 | 372132 | 22 56 0 | 372270 | 0,502 | | | 115 | 4,320 | 20,49 | 418,33 |

Tabela 14 – Ensaio óleo diesel e biomassa, reator 400 mm de diâmetro.

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | | SAIDA | | | | |
|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|---------------------|-------------|------|----------------------------|------------------|----------------|-----|--|
| QUADRO ELÉTRICO | | | | CONSUMO COMBUSTÍVEL | | | Interva lo de Δt [s] | Potência [kW] | Eficiência | CEC | |
| Inicial | | Final | | Débito (g/s)* | | | | | | | |
| Tempo (t1) hh mm ss | Medida [W.h] | Tempo (t2) hh mm ss | Medida [W.h] | 1 | opacidade % | | | | | | |
| 14 3 9 | 419823 | 14 9 5 | 419915 | 0,331 | | 356 | 0,930 | 7,60 | 1280,83 | | |
| 14 3 9 | 419823 | 14 10 41 | 419940 | 0,331 | | 452 | 0,932 | 6,70 | 1278,74 | | |
| 14 13 41 | 420062 | 14 14 5 | 420085 | 0,337 | | 24 | 3,450 | 24,37 | 351,65 | | |
| 14 13 41 | 420062 | 14 16 35 | 420233 | 0,337 | | 174 | 3,538 | 25,00 | 342,91 | | |
| 14 20 55 | 420516 | 14 21 27 | 420560 | 0,339 | | 32 | 4,950 | 34,77 | 246,55 | | |
| 14 20 55 | 420516 | 14 23 30 | 420728 | 0,339 | | 155 | 4,924 | 34,58 | 247,85 | | |
| 14 31 0 | 421421 | 14 32 2 | 421521 | 0,348 | | 62 | 5,806 | 39,73 | 215,76 | | |
| 14 31 0 | 421421 | 14 34 40 | 421777 | 0,348 | | 220 | 5,825 | 39,86 | 215,06 | | |
| 14 52 48 | 423517 | 14 54 30 | 423682 | | | 102 | 5,824 | #DIV/0! | 0,00 | | |
| | | | | | | 0 | | #DIV/0! | #DIV/0! | | |
| 15 2 40 | 424415 | 15 6 9 | 424747 | 0,381 | | 209 | 5,719 | 35,74 | 239,85 | | |
| 15 2 40 | 424415 | 15 20 18 | 426100 | 0,396 | | 1058 | 5,733 | 34,47 | 248,65 | | |

Tabela 15 – Ensaio óleo vegetal tucumã e biomassa, reator de 400 mm de diâmetro.

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | | | | | SAÍDA | | | | | |
|------------------|------------|----|----|--------------|------------|----|----|--------------|-------|--------------|-------------|---------------------|---------------|------------|-----|
| QUADRO ELÉTRICO | | | | | | | | | | Débito (g/s) | opacidade % | Intervalo de Δt [s] | Potência [kW] | Eficiência | CEC |
| Carga | Inicial | | | | Final | | | | | | | | | | |
| | Tempo (t1) | | | Medida [W.h] | Tempo (t2) | | | Medida [W.h] | | | | | | | |
| hh | mm | ss | hh | | mm | ss | | | | | | | | | |
| 6,2 | 15 | 33 | 26 | 427170 | 15 | 33 | 42 | 427187 | | | 16 | 3,825 | #DIV/0! | 0,00 | |
| 1,8 | 15 | 50 | 56 | 427477 | 15 | 52 | 16 | 427518 | 0,355 | | 80 | 1,845 | 14,05 | 692,68 | |
| 1,8 | 15 | 50 | 56 | 427477 | 15 | 55 | 6 | 427603 | 0,355 | | 250 | 1,814 | 13,81 | 704,37 | |
| 1,8 | 15 | 58 | 21 | 427775 | 15 | 59 | 31 | 427822 | 0,291 | | 70 | 2,417 | 22,45 | 433,40 | |
| 1,8 | 16 | 14 | 35 | 427975 | 16 | 15 | 29 | 427986 | 0,272 | | 54 | 0,733 | 7,29 | 1335,27 | |
| 1,8 | 16 | 14 | 35 | 427975 | 16 | 18 | 10 | 428023 | 0,267 | | 215 | 0,804 | 8,14 | 1195,94 | |
| 13 | 16 | 23 | 18 | 428096 | 16 | 24 | 25 | 428113 | 0,365 | | 67 | 0,913 | 6,76 | 1438,53 | |

Tabela 16 – Ensaio óleo diesel e biomassa, reator de 260 mm de diâmetro.

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | | | | | SAÍDA | | | | | |
|-----------------------------|------------|----|----|--------------|------------|----|----|--------------|-------|--------------|-------------|---------------------|---------------|------------|-----|
| QUADRO ELÉTRICO | | | | | | | | | | Débito (g/s) | opacidade % | Intervalo de Δt [s] | Potência [kW] | Eficiência | CEC |
| Carga | Inicial | | | | Final | | | | | | | | | | |
| | Tempo (t1) | | | Medida [W.h] | Tempo (t2) | | | Medida [W.h] | | | | | | | |
| hh | mm | ss | hh | | mm | ss | | | | | | | | | |
| 7,1 | 21 | 40 | 59 | 429023 | 21 | 41 | 31 | 429087 | 0,429 | | 32 | 7,200 | 39,96 | 214,50 | |
| | 21 | 40 | 59 | 429023 | 21 | 43 | 48 | 429358 | 0,429 | | 169 | 7,136 | 39,61 | 216,42 | |
| 7,9 | 21 | 45 | 25 | 429556 | 21 | 46 | 58 | 429761 | 0,428 | | 93 | 7,935 | 44,14 | 194,17 | |
| 7,9 | 21 | 45 | 25 | 429556 | 21 | 49 | 4 | 430036 | 0,428 | | 219 | 7,890 | 43,89 | 195,28 | |
| 7,9 | 21 | 45 | 25 | 429556 | 21 | 50 | 54 | 430274 | 0,428 | | 329 | 7,857 | 43,71 | 196,12 | |
| colocou-se 2 kg de biomassa | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,9 | 21 | 50 | 54 | 430274 | 21 | 52 | 15 | 430449 | 0,361 | | 81 | 7,778 | 51,30 | 167,09 | |
| 4,85 | 21 | 54 | 48 | 430750 | 21 | 55 | 20 | 430797 | 0,392 | | 32 | 5,288 | 36,46 | 266,89 | |
| 4,85 | 21 | 54 | 48 | 430750 | 21 | 56 | 40 | 430914 | 0,392 | | 112 | 5,271 | 32,02 | 267,71 | |
| 2,25 | 21 | 57 | 34 | 430976 | 21 | 58 | 22 | 431005 | 0,234 | | 48 | 2,175 | 22,13 | 387,31 | |
| 2,25 | 21 | 57 | 34 | 430976 | 21 | 59 | 35 | 431048 | 0,234 | | 121 | 2,142 | 21,80 | 393,25 | |

Tabela 17 – Ensaio óleo vegetal tucumã e biomassa, reator de 260 mm de diâmetro.

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | | | | | SAÍDA | | | | | |
|--|------------|----|----|--------------|------------|----|----|--------------|-------|--------------|-------------|---------------------|---------------|------------|-----|
| QUADRO ELÉTRICO | | | | | | | | | | Débito (g/s) | opacidade % | Intervalo de Δt [s] | Potência [kW] | Eficiência | CEC |
| Carga | Inicial | | | | Final | | | | | | | | | | |
| | Tempo (t1) | | | Medida [W.h] | Tempo (t2) | | | Medida [W.h] | | | | | | | |
| hh | mm | ss | hh | | mm | ss | | | | | | | | | |
| 2,25 | 22 | 6 | 2 | 431277 | 22 | 7 | 38 | 431335 | 0,434 | | 96 | 2,175 | 13,54 | 718,34 | |
| colocou-se 2 kg | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,05 | 22 | 10 | 54 | 431533 | 22 | 11 | 26 | 431584 | 0,340 | | 32 | 5,738 | 45,61 | 213,33 | |
| 5,05 | 22 | 10 | 54 | 431533 | 22 | 12 | 14 | 431654 | 0,340 | | 80 | 5,445 | 43,28 | 224,79 | |
| 7,9 | 22 | 13 | 16 | 431743 | 22 | 13 | 56 | 431817 | 0,370 | | 40 | 6,660 | 48,65 | 200,00 | |
| 7,9 | 22 | 13 | 16 | 431743 | 22 | 14 | 36 | 431888 | 0,370 | | 80 | 6,525 | 47,66 | 204,14 | |
| 5,9 | 22 | 16 | 2 | 431996 | 22 | 16 | 42 | 432061 | 0,367 | | 40 | 5,850 | 43,08 | 225,85 | |
| 5,9 | 22 | 16 | 2 | 431996 | 22 | 17 | 44 | 432156 | 0,367 | | | | | | |
| 5,9 | 22 | 20 | 28 | 432414 | 22 | 20 | 54 | 432466 | 0,270 | | 26 | 7,200 | 72,07 | 135,00 | |
| 22:22:40 consumi-se 6kg de biomassa e colocou-se + 2kg | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,1 | 22 | 25 | 9 | 432888 | 22 | 25 | 49 | 432954 | 0,379 | | 40 | 5,940 | 42,36 | 229,70 | |
| 7,1 | 22 | 25 | 9 | 432888 | 22 | 26 | 46 | 433045 | 0,379 | | 97 | 5,827 | 41,55 | 234,16 | |
| 7,1 | 22 | 29 | 8 | 433265 | 22 | 30 | 4 | 433364 | 0,371 | | 56 | 6,364 | 46,36 | 209,86 | |

Código do Programa Utilizado

PCI_G=3500

PCI_D=42

Q_dot_D=m_dot_D*PCI_D

Q_dot_G=m_dot_G*PCI_G*convert(kJ/hr;kJ/s)

eta=0,25

m_dot_D=0,3

W_dot_liq=eta*(Q_dot_D+Q_dot_G)

W_dot_liq=10

V_dot_1=rpm*CC

CC=1880

rpm=1800

V_dot_G=(eta_cil*phi*V_dot_1)*convert(cm^3/min;m^3/h)

eta_cil=0,85

phi=OF_st/OF

OF_st=15

OF=20

m_dot_B=10

A_r=(pi*0,26^2)/4

TGE=m_dot_B/A_r