

ESTUDO DE UM PROCESSO DE OBTENÇÃO DE BIODIESEL E COMPARAÇÃO DO BIODIESEL B100 COM DIESEL COMERCIAL (B5) E COM ÓLEO DE SOJA REUTILIZADO EM UM MOTOR ESTACIONÁRIO

Edney Leandro da Vitória¹, Fernando Fontes Barcelos², Taylor Resende Gouveia³

1. Professor Ajunto, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus-ES
(edney.vitoria@ceunes.ufes.br)
 2. Professor Adjunto, Centro Universitário Vila Velha, Vila Velha-ES
 3. Engenheiro de Petróleo, Centro Universitário Vila Velha-ES
- Data de recebimento: 07/10/2011 - Data de aprovação: 14/11/2011

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de oleaginosas e possui um déficit energético referente a combustíveis derivados de petróleo, além de ser um grande importador de óleo diesel. Com isso, tornou-se importante o desenvolvimento de fontes alternativas de energia para suprir esta necessidade. Este trabalho discute o processo de transesterificação metílica para obtenção de biodiesel, da empresa BIOMARCA. Além disso, por meio de experimentos em um motor estacionário comparou-se a eficiência do biodiesel (B100) com óleo de soja reutilizado (OS) e com diesel comercial (B5), por meio dos parâmetros densidade, potência, torque e consumo específico. O estudo do processo demonstrou que o biodiesel produzido não atende às especificações da ANP, pois o processo de purificação (decantação e lavagens) não é totalmente eficiente. Tal fato envolve tanto a qualidade da matéria-prima quanto ao controle das etapas da purificação. Os resultados dos experimentos mostraram um bom desempenho do B100, comparado a OS e B5, com o biodiesel tendo um bom desempenho na potência e no consumo específico. Estes resultados demonstram que o biocombustível chamado de biodiesel, já é uma realidade no Brasil pelo uso de misturas, é uma alternativa eficaz tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista sócio-ambiental e sem prejuízo na eficiência do motor.

PALAVRAS CHAVES: Biocombustíveis. Energia. Motor diesel.

ABSTRACT

The Brazil is a great producer of oleaginous and still has a low power supply when it comes to oil derivatives fuels, besides the fact that the country is great importer of diesel. So, it became imperative the development of alternatives power supply to mitigate that need. This work discuss the process in which the methyl transesterification to the production of biodiesel, of the company BIOMARCA. Besides that, through the means of experiments, in a stationary motor, it was compared the efficiency of the biodiesel (B100) with re-utilized soy oil (OS) and with commercial diesel (B5), utilizing variables such density, power, torque and specific consume. The study of the process demonstrates that the produced biodiesel do not attend to the ANP specifications because the process of purification (decantation and

laundering) aren't totally efficient. Such a fact involves the quality of the raw material and the controlling of the stages of the process. The experiments results show us that a good performance of the B100, compared with the OS and B5, with the biodiesel having a good power and specific consume performances. This results demonstrates that the bio fuel, called biodiesel, is already a reality from the economic and social-environmental points of view, with no prejudice on motor performance.

KEYWORDS: Biofuels. Energy. Diesel engine.

INTRODUÇÃO

A geração de energia sempre foi motivo de preocupação nos diversos segmentos industriais. Os produtos capazes de promover o abastecimento da demanda energética levaram à diversas pesquisas científicas que buscam a diminuição dos impactos ambientais ocasionados pela queima dos combustíveis, porque a maioria desses insumos tem como fonte o petróleo. O óleo diesel ou também chamado de diesel mineral representa quase a metade do consumo final energético de derivados do petróleo.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN 2004), o país consumiu, em média, 38,08 bilhões de litros anuais de óleo diesel entre 2000 e 2004, dos quais 5,1 bilhões litros necessitaram ser importados, fato que chamou a atenção do governo em procurar um combustível o qual pudesse concorrer com o diesel mineral. Nesse contexto surgiu o biodiesel como opção.

Biodiesel é o combustível produzido a partir de óleos de origem vegetal ou animal e álcool por meio de uma reação de transesterificação. Neste processo são obtidos ésteres de ácidos graxos, que possuem praticamente as mesmas características do óleo diesel utilizado como combustível nos motores de ciclo diesel. Por ser biodegradável e possuir baixa concentração de substâncias aromáticas, combustível não poluidor, diferente do óleo diesel, um derivado de hidrocarboneto e necessita de todo um processo e técnicas de exploração, perfuração, transporte, refino e distribuição do petróleo cru. Além disso, a queima incompleta em motores de combustão interna, usado em automóveis, caminhões, locomotivas, entre outros, emite um grau maior de fuligem e gases contaminantes que prejudicam a saúde humana.

Contudo, as fontes de energia renováveis direcionam para uma nova visão mundial, voltada para utilização eficiente dos recursos produtivos bem como para ganho em termos globais e econômicos. Mas para a substituição gradativa do óleo diesel pelo biodiesel, são necessários estudos acerca da eficiência do combustível em relação as características dos motores, tais como, potência, torque, consumo e emissão de poluente.

O petróleo bruto é uma extensa e complexa mistura de hidrocarbonetos, que apresenta diversas combinações de enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais. A composição exata dessa mistura está diretamente relacionada ao seu reservatório de origem (MARIANO, 2005). No seu estado inicial, isto é, no seu estado bruto, o petróleo possui pouquíssimas aplicações, servindo quase que somente como óleo combustível. Para que a sua eficiência energética seja aproveitada ao limite extremo, ele deve ser submetido a diversos processos físico-químicos, a fim de se desmembrar sua grande variedade de derivados (MARIANO, 2005).

O refino do petróleo constitui-se de uma série de etapas pelas quais ele é convertido em uma série produtos com um elevado grau comercial e com as qualidades desejadas. É sabido que o objetivo final da exploração, produção e refino

do petróleo é a comercialização dos seus produtos derivados. Por isso, as refinarias já adquirem petróleos dentro de determinadas especificações, compatíveis com a tecnologia e a capacidade de produção instalada, de forma que o rendimento e a qualidade do produto sejam melhorados e adequados ao mercado consumidor da área influenciada. (CUNHA, 2009).

A refinaria é o local onde o petróleo cru é processado com o objetivo de gerar produtos derivados, sejam eles combustíveis ou insumos petroquímicos. As refinarias também possuem outra função de extrema importância. Através de processos específicos, elas removem as impurezas presentes no óleo bruto. A remoção destes compostos é essencial para aumentar a proteção ao meio ambiente e melhorar a qualidade dos produtos, pois, no caso dos combustíveis, a presença destas impurezas durante a queima, aumenta significativamente o potencial poluidor dos derivados e reduz a eficiência da combustão. De forma genérica, uma refinaria de petróleo pode ser entendida como uma planta industrial que tem por objetivo limpar e separar o óleo bruto em diversas frações, originando diversos produtos. (CUNHA, 2009).

Segundo KNOTHE *et. al* (2006), o funcionamento dos motores diesel difere dos motores de carros de passeio porque o sistema é de ignição por centelha. Nos motores de carros de passeio o combustível e o ar são dosados em uma mistura de proporção química correta, que é introduzida no interior do cilindro, comprimida e depois ignitada pela centelha. Com isso pela quantidade de mistura que entra no cilindro, a potência do motor pode ser controlada utilizando a válvula reguladora de fluxo, ou seja, o acelerador. Já no motor diesel, apenas o ar entra no interior do cilindro, e então este ar é comprimido em altas temperaturas e pressões e quando o combustível entra em contato com este ar, ele vaporiza rapidamente, gerando reações químicas e assim resultando em uma ignição espontânea.

Segundo a PETROBRAS (2010), no Brasil, são produzidos e comercializados quatro tipos de óleo diesel. O Óleo diesel S50 combustível com teor de enxofre, máximo, de 50 mg kg^{-1} destinados para frota de ônibus. O Óleo diesel S500 com teor de enxofre, máximo, de 500 mg kg^{-1} , com o intuito de reduzir a emissão de material particulado dos automóveis. Óleo diesel S1800 combustível com teor de enxofre, máximo, de 1800 mg kg^{-1} esse produto é comercializado nas regiões do país onde não há venda do diesel metropolitano. E o diesel marítimo destinado a motores diesel utilizados por barcos e pequenas embarcações, principalmente na navegação fluvial e lacustre e também em embarcações pesqueiras no litoral, além de possui teor de enxofre máximo de 10000 mg kg^{-1} .

Uma das principais características de um combustível é seu poder calorífico, ou seja, a quantidade de calor liberada por uma combustão total de um determinado combustível, seja líquido, sólido, ou gás. Através de um instrumento denominado calorímetro, é determinado por medida direta o valor do calor de combustão. Uma quantidade de combustível é queimada em um vaso lacrado e imerso em água no interior do calorímetro. O calor que é liberado durante a combustão é transferido para uma massa de água conhecida, e com a capacidade calorífica do material do vaso e a subtração entra a temperatura da água antes de depois da combustão, o poder calorífico então, pode ser calculado (MACHADO, 2008).

Biocombustíveis são matérias orgânicas, ou seja, são fontes renováveis de produtos vegetais ou compostos de origem animal. A partir dessas fontes é possível produzir álcool, etanol e o biodiesel. Além disso, essas fontes não contribuem para o acúmulo de gases do efeito estufa, pois os gases gerados pela sua queima são reabsorvidos pela safra seguinte, e como consequência, há um equilíbrio entre

emissão e a absorção de poluentes. Com estímulos e novas tecnologias para produção de etanol e biodiesel, estes dois produtos passaram a ter uma contribuição muito grande na matriz energética mundial e no mercado internacional de combustíveis. Além disso, o Brasil se tornou nos últimos anos um dos maiores produtores de biocombustíveis do mundo, com grande potencial de crescimento, devido ao clima, à sua geografia e à disponibilidade de terras para o cultivo de grãos e cana de açúcar (PETROBRAS, 2008).

O biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto. Constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtido através da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com o metanol e o etanol. Foi desenvolvido para a substituição total, ou parcial, do diesel mineral, para uso em motores de combustão interna ou outro tipo de geração de energia. (FERREIRA, CRISTO 2006; VOLPATO *et al.*, 2008).

Diversas oleaginosas são utilizadas como base para a fabricação do biodiesel, como por exemplo: algodão, amendoim, babaçu, buriti, canola, dendê, gergelim, girassol, jojoba, linhaça, mamona, nabo forrageiro, palmiste, pequi, pinhão-manso, soja, tucumã, além de óleos de fritura, resíduo industrial e sebo ou gordura animal (PETROBRAS, 2008).

Para a escolha dessas matérias-primas, um plano de produção agrícola deve ser elaborado com o intuito de conhecer o mecanismo de plantio, colheita, armazenamento, escoamento e transformação do grão. Entretanto deve-se observar como critério de escolha da produção a porcentagem de teor de óleo e a produtividade por ano das oleaginosas brasileiras (Quadro 6) (JESUS *et al.*, 2009).

Segundo a legislação, podem existir diversas misturas de biodiesel e óleo diesel. Para a mistura de 2%, a nomenclatura é B2, (2% de biodiesel e 98% de óleo diesel); para mistura de 5% é chamado B5, (5% de biodiesel e 95% de óleo diesel); e assim por diante até chegar no B100 (100% de biodiesel) (PETROBRAS, 2008).

Após o lançamento, em 2004, do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), foi sancionada a lei 11.097 (2005), que inseriu o biodiesel na matriz energética brasileira. E assim, surgiu a necessidade de controle e comercialização do biodiesel, fazendo que o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), por meio da resolução de nº 3 de 2005, autorizasse a realização dos leilões públicos realizados pela ANP, sob a assessoria técnica do Ministério de Minas e Energia (MME). Há também a Resolução da ANP nº 31 de 2005, que autoriza a compra de biodiesel por produtores e importadores de diesel mineral que possuírem o selo combustível social ou os requisitos necessários para a obtenção deste. Este selo age como um certificado que inclui o agricultor familiar na cadeia produtiva do biodiesel, diminuindo o desemprego (JESUS *et al.*, 2009).

OBJETIVOS

Deste modo este trabalho objetiva estudar o processo de obtenção do biodiesel e análise comparativa do desempenho do biodiesel (B100), do óleo de soja reutilizado (OS) e do diesel comercial (B5) em um motor estacionário. Os objetivos específicos: Estudar o processo de obtenção do biodiesel pelo método de transesterificação metílica; Comparar as densidades dos diferentes combustíveis utilizados; Avaliar o desempenho comparativo de um motor ciclo diesel alimentado com biodiesel puro (B100), com óleo de soja reutilizado (OS) e com diesel comercial (B5); Medir e comparar os principais requisitos do sistema como potência, torque e consumo específico dos combustíveis utilizando diversas cargas desses combustíveis.

METODOLOGIA

A primeira etapa do trabalho foi baseada em um estudo *in loco* e bibliográfico de um processo de obtenção do biodiesel, conhecido como transesterificação. Com visitas realizadas à empresa BIOMARCA, responsável pela unidade de biodiesel, com sede na MARCA AMBIENTAL, situada na rodovia BR 101 Norte (Contorno, Km 282 - Bairro Nova rosa da Penha 1 - Cariacica/ES), foi iniciada a etapa de observação e discussão do processo de transesterificação metílica.

A empresa utiliza óleos e gorduras residuais (OGR) previamente coletados, filtrados e aquecidos como matéria-prima para a produção de biodiesel, tendo o álcool metanol como reagente e o hidróxido de potássio atuando como catalisador.

Os testes usando um motor ciclo diesel foram realizados no Laboratório de Qualidade da Água e de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV - MG).

Para o experimento foram utilizados três tipos de combustíveis:

- Biodiesel (B100) (oriundo de OGR, cedido pela empresa BIOMARCA).
- Óleo de soja reutilizado (OS) (proveniente do restaurante universitário da própria Universidade Federal de Viçosa).
- Óleo diesel comercial (B5) (comprado em um posto de gasolina com bandeira Petrobras).

O óleo de soja reutilizado, proveniente do restaurante universitário, passou por um tratamento prévio de limpeza, que consistiu em deixá-lo em repouso em um tanque por uma semana (processo de decantação), para que fosse utilizada apenas a parte superior do óleo, a qual foi posteriormente filtrada.

Em seguida, como esse óleo contém sal, prejudicial ao motor, colocou-se água, em um percentual de 10%, a fim de que este resíduo salino fosse dissolvido e pudesse ser removido. Após este procedimento, o óleo foi fervido por 10 minutos para eliminar a água com resíduos.

Na determinação da densidade do óleo de soja reutilizado (OS), utilizou-se uma proveta, um termômetro e uma balança de precisão. A determinação iniciou-se quando um volume de 55 mL de óleo foi pesado à temperatura ambiente. Em seguida, a amostra foi aquecida até 120°C e a leitura se iniciou quando a temperatura do óleo atinge 80°C. A seguir, a cada 5°C de decréscimo na temperatura registrou-se o valor da massa e do volume, até que a mistura retornasse à temperatura ambiente (SIQUEIRA, 2010). Em relação aos valores das densidades dos outros combustíveis (B100 e B5) foram utilizados os valores fornecidos pelos fabricantes.

Nas dependências do laboratório de Mecanização Agrícola da UFV, fez-se o experimento utilizando um motor diesel estacionário de marca Agrale modelo M90, refrigerado a ar, que possui injeção direta, potência nominal de 9,6 kW (13 cv), a 2.500 RPM, e uma taxa de compressão de 20:1.

Um dinamômetro de rotação do tipo transmissão montado em berço, foi utilizado para realização dos ensaios, assim como um fluxômetro com capacidade de 1000 mL e precisão de 10 mL, além de um tacômetro digital de contato e um cronômetro digital.

O ensaio iniciou-se após cinco minutos de funcionamento do motor com o biodiesel (B100) para aquecimento do motor em uma rotação elevada. Nos ensaios

foram realizadas três repetições para cada combustível, com cargas de 0, 10, 20, 30, 35 lb.f. A coleta dos dados foi feita da seguinte forma: Para cada carga aplicada no dinamômetro, esperava-se um tempo para a estabilização da rotação. Após essa estabilização, verificou-se o nível de combustível no fluxômetro e, a partir daí, iniciou-se a avaliação do funcionamento do motor em um período de três minutos. Sendo que, após um minuto, media-se a rotação no dinamômetro, utilizando um tacômetro digital de contato e no final do intervalo era medido novamente o nível de combustível no fluxômetro. As rotações foram coletas com a finalidade de obter a potência, torque e consumo específico de combustível.

A potência do motor foi estimada segundo a seguinte equação:

$$P = k \cdot F \cdot n \cdot 0,746 \quad (1)$$

Em que:

P = potência do motor, em kW;

k = constante do dinamômetro, 0,00025;

F = carga aplicada pelo dinamômetro, em lb.f; e

n = número de rotações por minuto, em rpm.

Na estimativa do consumo horário em função a rotação do motor utilizou-se a seguinte equação:

$$Ch = \frac{60 \cdot C}{3000} \quad (2)$$

Em que:

Ch = consumo horário, em L h⁻¹; e

C = consumo, em mL mim⁻¹.

Consumo específico em função a rotação do motor utilizou-se a seguinte equação:

$$Ce = \frac{Ch \cdot D}{P} \quad (3)$$

Em que:

Ce = consumo específico, em g kW⁻¹h⁻¹;

Ch = consumo horário, em L h⁻¹;

D = densidade do combustível, g L⁻¹; e

P = potência do motor, em kW.

Para construir os gráficos de torque em função a rotação do motor utilizou-se a seguinte equação:

$$T = \frac{60 \cdot P \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (4)$$

Em que:

T = torque do motor, em mN;

P = potência do motor, em kW; e

n = número de rotações por minuto, em rpm.

Na análise dos dados obtidos e comparação dos tratamentos, fez-se análise de variância com regressão quadrática para os três parâmetros, potência, torque e consumo específico. O software utilizado foi o SAS®9.0 e o nível de significância adotado foi de 5%. Para a construção dos gráficos, utilizou-se o software Excel (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A planta de obtenção de biodiesel a partir da reação de transesterificação metílica usando como matéria-prima óleo residual de fritura é mostrada na Figura 1.

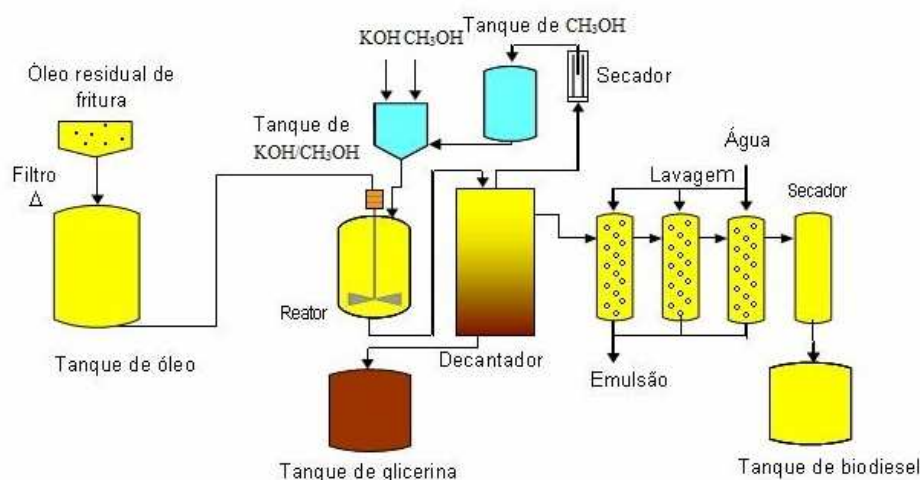


Figura 1 - Processo de obtenção de biodiesel a partir da transesterificação metílica do óleo residual de fritura.

Fonte: CHRISTOFF, 2006. (Adaptado pelo autor).

Inicialmente, para a obtenção da matéria-prima, óleos e gorduras usados em frituras são recolhidos de diversos pontos da Grande Vitória, como restaurantes, lanchonetes e condomínios, sendo levados em caminhões para a sede da empresa BIOMARCA, onde são colocados em um tanque.

O processo começa com a filtração deste óleo (rico em impurezas e água) e posterior aquecimento (em torno de 120°C), para que sejam retiradas partículas voláteis e água, que prejudicariam consideravelmente a produção do biodiesel. O aquecimento é feito até que cesse a ebulição de água no sistema.

Após este processo prévio de purificação, o óleo é levado ao reator, onde recebe a carga de hidróxido de potássio e metanol. Este reator possui pás para agitação do material e a temperatura do processo fica em torno de 40°C. Deste modo, a reação de transesterificação ocorre, gerando, como produtos, ésteres metílicos (o biodiesel) e glicerina (glicerol ou propano-1,2,3-triol). No processo BIOMARCA a mistura reacional fica em torno de duas horas no reator.

Após esta etapa principal, parte do metanol é reaproveitada por meio de um secador e devolvida para o tanque de origem, para reuso. Com este reuso, consegue-se recuperar, em média, 50% em volume de metanol.

Por meio de processo de decantação, a glicerina e o biodiesel são separados, sendo a glicerina recolhida em tanque de armazenamento e o biodiesel levado a

posterior tratamento, que envolve lavagem (três vezes), para retirada de impurezas, como o catalisador usado, excesso de metanol, glicerina residual, sais e outros componentes. Nas primeiras lavagens utilizam-se soluções levemente ácidas, com ácido clorídrico (HCl) ou cítrico ($C_6H_8O_7$), a fim de neutralizar o meio. A água de lavagem foi então separada por decantação.

Esta etapa do processo é fundamental para a qualidade do biodiesel e há um agravante no processo da empresa BIOMARCA, que é a origem da matéria-prima. Por se tratar de mistura de óleos e gorduras de procedências variadas, a quantidade de impurezas e a acidez deste óleo são altas, o que prejudica a qualidade do biodiesel, mesmo com criteriosa lavagem.

Em uma última etapa, faz-se a secagem do biodiesel, utilizando um secador a vácuo, com o objetivo de retirar a umidade (traços de água) presente no produto final. A vantagem de se usar pressão reduzida (vácuo) é a possibilidade de se trabalhar com temperaturas mais baixas para o aquecimento. O biodiesel obtido desta forma é transferido para um tanque de resfriamento, onde fica em repouso por 48 horas, no processo BIOMARCA, para, após este tempo, ser transferido para o tanque de armazenamento.

Este sistema busca chegar a um produto que atenda as especificações regulamentadas pela ANP. Entretanto, mesmo com todos esses processos, o biodiesel produzido pela BIOMARCA ainda não atende de forma integral a estas especificações.

Uma alternativa seria a chamada lavagem a seco, que poderia ser feita pelo processo de filtração com sulfato de sódio (Na_2SO_4) anidro. Ou utilizar um processo de destilação, conforme descrito por SOUZA & FERRARI (2007). Processos estes que visam melhorar a qualidade do biodiesel produzido por meio de maior purificação.

O subproduto da reação, a glicerina, é essencialmente insolúvel no biodiesel. Entretanto, alguma glicerina livre pode permanecer como gotículas suspensas no biodiesel. E combustíveis com altos teores de glicerina livre geralmente apresentarão problemas com deposição, pois a glicerina em tanques de armazenamento cria uma mistura viscosa que pode causar problemas no processo de combustão do motor e entupimento no filtro de combustível. Sendo assim, o processo de remoção da glicerina no biodiesel torna-se uma etapa de especial controle. Salienta-se aqui que o processo da BIOMARCA ainda não é capaz de remover integralmente a glicerina.

Porém a glicerina, devido a uma variedade de possíveis utilizações, pode deixar de ser um simples subproduto e se tornar um segundo produto da reação, sendo comercializada como matéria-prima na fabricação de remédios, cosméticos, pasta de dentes, resinas sintéticas, tabacos, sabão, explosivos, entre outros.

Observou-se *in loco* que a glicerina produzida no sistema da BIOMARCA possui coloração escura. Tal fato pode ser atribuído ao tipo de matéria-prima usada para a produção de biodiesel, os óleos e gorduras recuperados (OGR), ricos em impurezas e com maior acidez, o que dificulta a purificação e diminui a qualidade dos produtos obtidos.

Vale salientar que o processo utilizando metanol (transesterificação metílica), como o da planta da BIOMARCA, é mais barato que o processo que utiliza etanol (transesterificação etílica). A única vantagem do uso do etanol é estritamente do ponto de vista ambiental, pois o etanol é um produto de origem vegetal, renovável. Já o metanol brasileiro é obtido por meio de reação que envolve derivados do petróleo, não sendo ambientalmente correto.

Densidade dos Combustíveis

O Quadro 1 informa os valores das densidades para cada combustível testado, o determinado para o óleo de soja reutilizado (OS) e os fornecidos pelos fabricantes do biodiesel (B100) e do diesel comercial (B5).

COMBUSTÍVEL	DENSIDADE (g L ⁻¹)
Biodiesel (B100)	883,1
Óleo de Soja reutilizado (OS)	910,0
Óleo Diesel Comercial (B5)	852,0

Quadro 1 - Densidades de cada combustível testado.

Observa-se que das três amostras testadas, o óleo de soja reutilizado (OS) é o que apresenta maior densidade. Este valor pode estar associado ao não-tratamento deste material, comparado aos outros. Esta maior densidade pode, de alguma forma, prejudicar a eficiência do combustível, prejudicando o motor, principalmente a bomba de combustível. Além disso, segundo KNOTHE (2006) o biodiesel apresenta uma densidade maior que o óleo diesel e de acordo com MACHADO (2008) combustíveis mais densos causam aumento na emissão de particulados, enquanto que densidades mais baixas diminuem o rendimento do motor.

Determinação da Potência

O Quadro 2 mostra os valores calculados para a potência em função da rotação do motor.

Quadro 2 - Valores médios de rotação e potência.

RPM	POTÊNCIA (kW)		
	B100	OS	B5
1243	8,31	8,17	7,82
1307	7,33	7,31	7,30
1348	5,05	4,99	5,03
1390	2,60	2,58	2,59

Pode-se perceber no Quadro 2 que os valores das potências foram muito próximos para cada combustível. Contudo um valor significativo foi que para uma carga maior no dinamômetro, isto é, para a rotação de 1243, o biodiesel apresentou melhor resultado em relação ao óleo de soja (OS) e o óleo diesel mineral (B5), que teve uma redução de 1,71% e 6,26%, respectivamente, quando comparado com o B100. De acordo com MARONHAS (2010), para uma rotação de 2425 rpm o óleo de soja apresentou uma potência de 8,51 kW enquanto que o óleo diesel gerou uma potência de 8,36 kW, ou seja, semelhante ao resultado obtido. Entretanto, VOLPATO *et al.*, (2008) observaram que o óleo diesel obteve uma potência maior em 6,1% na rotação de trabalho, comparado ao biodiesel de soja oriundo da transesterificação etílica.

No Quadro 3 têm-se as equações geradas pelo método de regressão para os valores da potência para cada um dos combustíveis testados.

Quadro 3 - Equações geradas para estimar potência

COMBUSTÍVEL	EQUAÇÃO
B100	$PB100 = -0,0004 * n^2 + 0,9859 * n - 611,03$
OS	$POS = -0,0004 * n^2 + 1,0021 * n - 622,25$
B5	$PB5 = -0,0004 * n^2 + 1,0915 * n - 682,69$

Em que: P = Potência do motor, em kW, para cada combustível.

n = rotação do motor, em rpm.

O Figura 2 demonstra que a potência vai diminuindo em função da rotação do motor. Provavelmente, isto ocorre porque a potência geralmente tem um leve decaimento inicial, que é agravado com o aumento da rotação, conforme relatado por SIQUEIRA (2010).

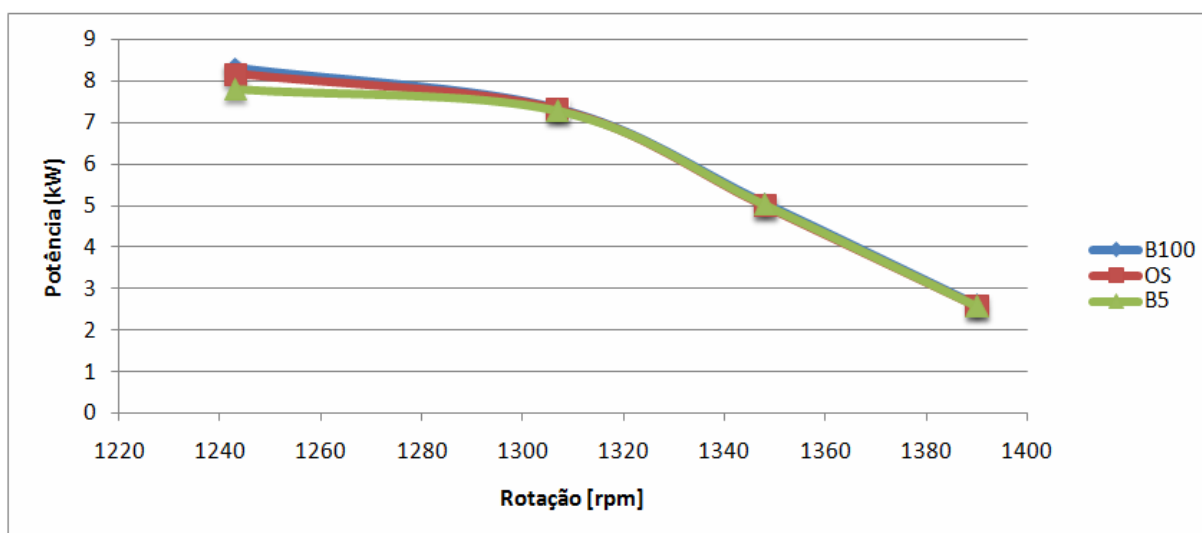


Figura 2 - Curva de potência em função da rotação do motor utilizando diferentes combustíveis.

Determinação do Torque

Analisando no Quadro 4, notam-se valores iguais, pois, com as cargas testadas não houve significativa alteração nesta grandeza. Tal fato é citado por GARCIA E TOOKUNI (2006), que afirmam que o torque, em função da rotação dos combustíveis, se comporta de maneira muito próxima, com baixa variação. Estes autores verificaram que o diesel puro desenvolve maior torque, seguido pelo B2 (2% de biodiesel de gordura animal e 98% de óleo diesel), B5 e B20, nesta ordem. Pode-se entender que há uma pequena perda de torque ao se aumentar o volume de biodiesel na mistura.

No Quadro 5 tem-se as equações geradas pelo método de regressão para os valores do torque para cada um dos combustíveis testados.

Quadro 1 - Valores médios de rotação e torque

RPM	TORQUE (N.m)		
	B100	OS	B5
1243	62,33	62,33	62,33
1307	53,43	53,43	53,43
1348	35,62	35,62	35,62
1390	17,81	17,81	17,81

Quadro 2 - Equações geradas para estimar o torque

COMBUSTÍVEL	EQUAÇÃO
B100	$TB100 = -0,0027 * n^2 + 6,6302 * n - 4077,3$
OS	$TOS = -0,0027 * n^2 + 6,6302 * n - 4077,3$
B5	$TB5 = -0,0027 * n^2 + 6,6302 * n - 4077,3$

Em que: T = Torque do motor em, N.m, para cada combustível.

n = rotação do motor, em rpm.

Conforme se observa no Figura 3, pode-se notar que à medida que a rotação aumenta o torque vai diminuindo. Analisando a Equação (4) observa-se que o torque é inversamente proporcional à rotação do motor.

Determinação do Consumo Específico

No Quadro 6 apresenta os valores obtidos para o consumo específico. O menor valor para esta grandeza foi o do biodiesel com $345,425 \text{ g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$ em uma rotação de 1307 rpm. Nesta mesma rotação o óleo de soja (OS) e o B5 apresentaram valores de $398,315 \text{ g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$ e $381,320 \text{ g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente.

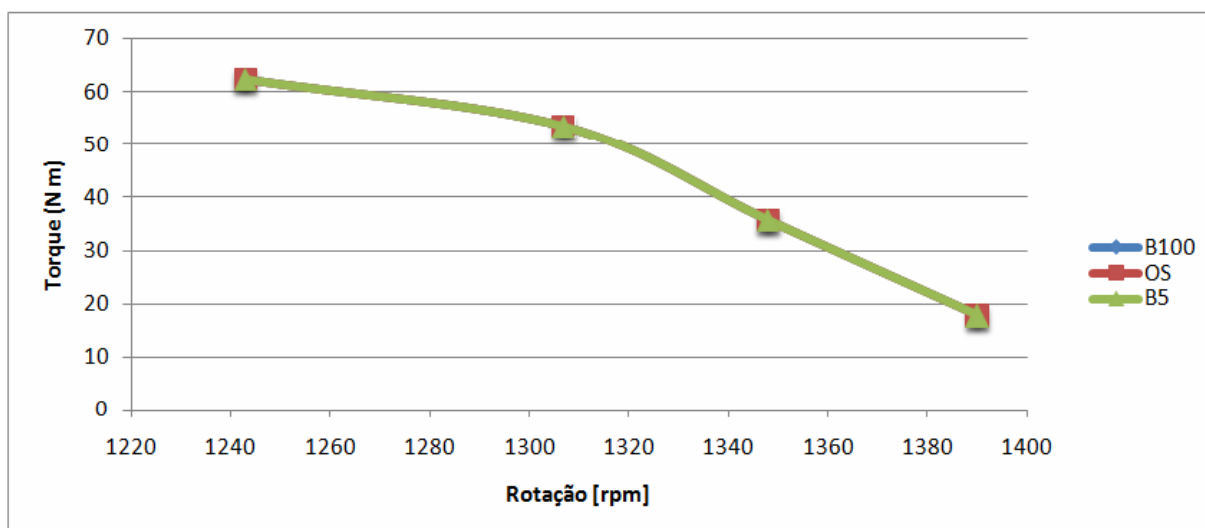


Figura 3 - Curva de torque em função da rotação do motor utilizando diferentes combustíveis.

Quadro 3 - Valores médios de rotação e consumo específico

RPM	CONSUMO ESPECÍFICO (g kW ⁻¹ h ⁻¹)		
	B100	OS	B5
1243	432,479	421,255	382,544
1307	345,425	398,315	381,320
1348	384,781	437,284	395,140
1390	565,518	633,82	505,226

No Quadro 7 tem-se as equações geradas pelo método de regressão para os valores de consumo específico para cada um dos combustíveis testados.

A Figura 4 apresenta comportamento estável até 1340 rpm para a curva do B5, sendo que para o B100 a curva é decrescente entre 1250 e 1320 rpm. Ou seja, neste intervalo de rotação, o biodiesel apresentou menor consumo em relação aos outros combustíveis. Além disso, o óleo de soja apresentou um consumo específico maior do que o B100 e o B5 nas rotações de 1390, 1348 e 1307. Resultado parecido foi observado por SIQUEIRA (2010), o autor observou que o óleo de soja reutilizado obteve um consumo específico maior em relação aos outros combustíveis testados. Entretanto, Volpato *et al.*, (2008) mostraram que o biodiesel de soja a base etílica apresentou um menor consumo específico em relação ao diesel, sendo 14,66% menor na rotação de trabalho de 540 rpm.

Quadro 4 - Equações geradas para estimar consumo específico

COMBUSTÍVEL	EQUAÇÃO
B100	$Ce (B100) = -0,0055 * n^2 + 13,66 * n - 8003,4$
OS	$Ce (OS) = -0,0136 * n^2 + 35,225 * n - 22344$
B5	$Ce (B5) = -0,0179 * n^2 + 46,392 * n - 29602$

Em que: Ce = Consumo específico do motor, em g kW⁻¹h⁻¹, para cada combustível.

n = rotação do motor, em rpm.

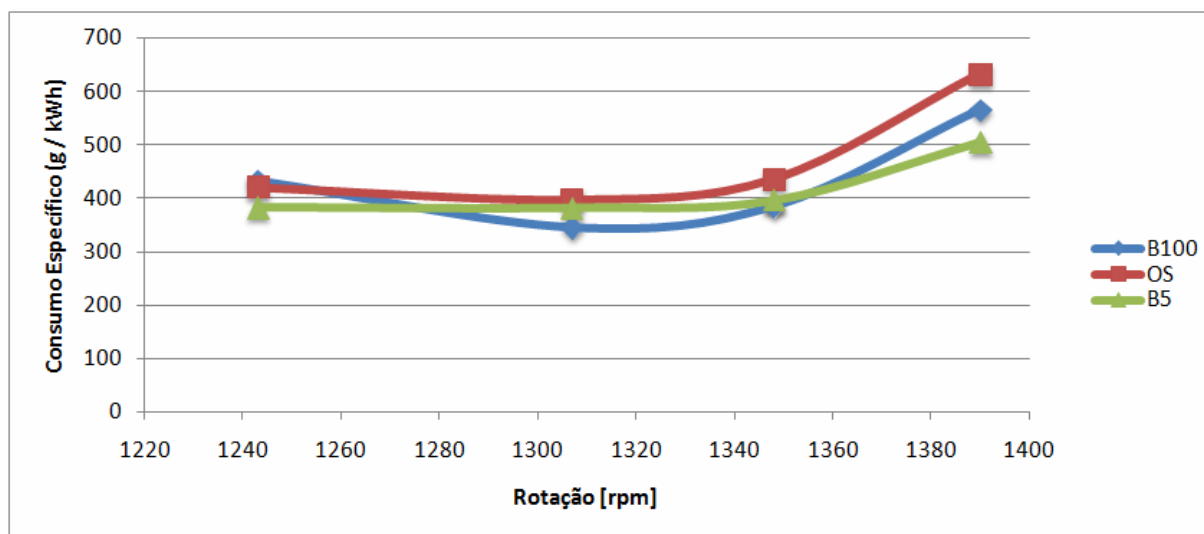


Figura 4 - Curva de consumo específico em função da rotação do motor utilizando diferentes combustíveis.

Para uma melhor visualização dos resultados, os Quadros 8 e 9, mostram os melhores resultados obtidos para as grandezas testadas nos ensaios, a fim de facilitar a comparação entre os combustíveis utilizados no experimento.

Quadro 5 - Valores máximos de potência e torque obtidos durante o experimento.

COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA MÁXIMA (kW)	TORQUE MÁXIMO (N.m)
B100	8,31 á 1243 rpm	62,33 á 1243 rpm
OS	8,17 á 1243 rpm	62,33 á 1243 rpm
B5	7,82 á 1243 rpm	62,33 á 1243 rpm

Quadro 6 - Valores mínimos de consumo específico obtidos durante o experimento

COMBUSTÍVEL	CONSUMO ESPECÍFICO MÍNIMO (g kW ⁻¹ h ⁻¹)
B100	345,425
OS	398,315
B5	381,32

CONCLUSÕES

- Os valores de torque foram os mesmos para cada combustível levando em consideração sua respectiva rotação.
- O óleo de soja reutilizado (OS) usado no experimento, mesmo por possuir valores significativos, pode ocasionar danos ao motor sem adaptação, pois, como a densidade é maior que a dos outros combustíveis, a bomba de combustível e o bico injetor poderão apresentar entupimento.
- O biodiesel (B100) apresentou uma potência maior em 6,26% comparado ao óleo diesel comercial (B5).
- Analisando os resultados dos ensaios, verificou-se que o biodiesel obtido a partir de matéria-prima composta predominantemente de óleo vegetal comportou-se de maneira satisfatória, visto que o motor utilizado não possui adaptações.
- Além de ser uma fonte renovável de energia, o biodiesel pode levar a economia significativa na importação de óleo diesel mineral, fato este importante, haja visto

que o Brasil não possui refinarias com capacidade de refinar por completo o óleo coletado. Além disto, pode-se ter um aporte importante na geração de empregos e redução significativa nas emissões de poluentes.

- Em face ao estudado e aos resultados obtidos, observou-se que novas avaliações devem ser realizadas com um maior número de horas de funcionamento do motor, além de um número maior de misturas de combustíveis e rotações. Também deve ser feito um estudo de adaptação do motor diesel para aproveitar ao máximo as qualidades do biodiesel assim como testes em um motor de maior potência. Outro ponto importante seria o estudo das substâncias envolvidas no processo de descarga do motor, para avaliação da emissão de poluentes pelo biodiesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. **Agência Nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em 07 maio. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: informação e documentação: trabalhos acadêmicos** - apresentação. Rio de Janeiro, 2005.

CHRISTOFF, P. (2006) **Óleo Residual de Fritura da Associação Vira Combustível (Biodiesel)**: UNIFAE Centro Universitário Franciscano do Paraná, do Curso de Engenharia de Produção e de Engenharia Ambiental, Licenciado em Química pela UFPR e Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia de Biocombustível, 2006. Disponível em: <<http://www.fae.edu/intelligentia/includes/imprimir.asp?lngIdNoticia=90072>>. Acesso em: 05/11/2010

CUNHA, C. E. S. C. P. **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**. Rio de Janeiro: Faculdade de Engenharia Ambiental, **Universidade do Estado do Rio de Janeiro**, 2009. Dissertação (Mestrado).

FERREIRA, J. R., CRISTO, C. M. P. N. **O Futuro da Indústria: Biodiesel: Coletânea de Artigos**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006. 145 p.

GARCIA, A. J. M; TOOKUNI, J. P. M. **Biodiesel de Gordura Animal**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/estudos/biodiesel/biodiesel-sebo-gordura-animal.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2010.

JESUS, E. S., SANTOS, F. N. R., PEREIRA, A. N., MUNCH, M. G., COGAN, S. **A Teoria das Restrições numa Análise Preliminar do Mercado de Biodiesel do Brasil com ênfase nas oleaginosas**, 2009 Disponível em: <<http://www.ifbae.com.br/congresso5/pdf/B0022.pdf> >. Acesso em: 15 maio. 2010.

KNOTHE, G., GERPEN, V. J., KRAHL, J., RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres Combustíveis em Motor de Ciclo Diesel sob Condições de Pré-Aquecimento e Variação no Avanço de Injeção**. Santa Maria:

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011 Pág. 1748

Centro de Ciências Rurais, **Universidade Federal de Santa Maria**, 2008. Dissertação (Doutorado).

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005. 228 p.

MARONHAS, M.E.S. **Utilização de Misturas de Óleo de Soja Reutilizado com Óleo Diesel em um Motor Estacionário**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 18 f. Relatório Final PIBIC/CNPq (Bolsista PIBIC/CNPq) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MME. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em 09 maio. 2010.

PETROBRAS. **Petróleo Brasileiro S.A.** Disponível em <<http://www2.petrobras.com.br>>. Acesso em 07 novembro. 2010.

PETROBRAS. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/perfil/atividades/producao-biocombustiveis/downloads/pdf/Cartilha-Biocombustiveis-PORTUGUES.pdf>>. Acesso em: 13 maio. 2010.

PETROBRAS. **Tipos de Óleo Diesel Comercializados no Brasil**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/produtos_servicos/port/Produtos/Oleo_Diesel>. Acesso em: 30 abr.2010.

SIQUEIRA, W. C. **Utilização de misturas de óleo diesel e óleo de soja reutilizado em um trator agrícola de pneus**. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2010. Dissertação (Mestrado).

SOUZA, W. L., FERRARI, R. A. Comparação físico-química de biodiesel de óleo de girassol lavado e destilado. **Série em Ciência e Tecnologia de Alimentos: Desenvolvimentos em Tecnologia de Alimentos**, UTFPR, v.01, p.24-29, 2007.

SZKLO A; Uller V. C. **Fundamentos do refino de petróleo: tecnologia e economia**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 285 p.

VOLPATO, C. E. S., CONDE, A. P., BARBOSA, J. A., SALVADOR, A. **Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja**, 2008 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542009000400025&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 maio. 2010.