



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM GRUPO GERADOR MONOCILÍNDRICO OPERANDO COM ÓLEO DIESEL E BIODIESEL METÍLICO

Diego Augusto Fiorese¹, Francielle Morelli-Ferreira², Samuel Nelson Melegari de Souza³

1. Professor efetivo do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA) da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop-MT, (dafiorese@yahoo.com)
2. Mestre em Agronomia com ênfase em Energia na Agricultura, pela Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus de Botucatu-SP
3. Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE, Campus de Cascavel-PR.

Recebido em: 30/09/2013 – Aprovado em: 08/11/2013 – Publicado em: 01/12/2013

RESUMO

O consumo de combustível e a eficiência energética ou eficiência global, são parâmetros de desempenho de maior relevância quando se propõe um combustível alternativo para uso em motores de combustão interna. Neste trabalho o objetivo foi avaliar o desempenho energético de um grupo gerador de pequeno porte (5 kW), com motor ciclo diesel monocilíndrico, operando em duas condições de carga: 70% (3,5 kW) e 100% (5 kW), e com cinco tipos de combustíveis, sendo: óleo diesel comercial (B2), biodiesel de sebo bovino, biodiesel de óleo de frango, biodiesel de óleo de soja e com biodiesel de óleo de girassol. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x5, com três repetições. Os parâmetros avaliados foram: consumo horário ponderal (Ch_p); consumo energético (CE_N); potência teórica (P_t); energia específica (ENE); e eficiência energética (η). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), onde verificou-se melhores resultados para o grupo gerador operando com 70% da capacidade máxima de geração, e com utilização dos biodieseis de origem animal. O menor consumo horário ponderal foi obtido com óleo diesel com 70% de carga e com biodiesel de sebo bovino com 100% de carga. O menor consumo energético, menor potência teórica, maior energia específica e maior eficiência energética, foi encontrada com o grupo gerador operando com biodiesel de sebo bovino.

PALAVRAS-CHAVE: biocombustível; desempenho; motor de combustão interna.

ENERGY EFFICIENCY OF A MONOCYLINDER GENERATOR OPERATING WITH DIESEL OIL AND METHYL BIODIESEL

ABSTRACT

The fuel consumption and energy efficiency, are performance parameters of greater significance when it proposes an alternative fuel for use in internal combustion engines. In this study we evaluated the energy performance of a small generator (5 kW) with diesel monocylinder engine, operating in two load conditions: 70% (3.5 kW) and 100% (5 kW), and five types of fuels, as described: commercial diesel (B2), and biodiesel originated from beef tallow, chicken oil, soybean oil and sunflower oil. The trial was conducted with a completely random design (CRD) in a 2x5 factorial design with three replications. The parameters evaluated were: weight hourly consumption (Chp), energy consumption (CE_N); theoretical power (Pt), specific energy (ENe) and energy efficiency (η). Means were compared by Tukey test ($p > 0.05$), where it was found best results for the group-generator operating at 70% of maximum generation capacity, and use of biodiesels animal. The lowest weight hourly consumption was obtained with diesel oil with 70% load and biodiesel from beef tallow with 100% load. The less energy consumption, less theoretical power, greater specific energy and greater energy efficiency, was found with group-generator operating with biodiesel from beef tallow.

KEYWORDS: biofuel, performance, internal combustion engine.

INTRODUÇÃO

O Brasil, país fortemente ligado à produção agropecuária, possui sistemas capazes de fornecer produtos e subprodutos, de origem vegetal e animal, para produção de combustíveis alternativos para uso em motores diesel, e nos últimos anos a utilização destas fontes renováveis de energia vem sendo pesquisada com maior intensidade, atrelado ao fato de que o Brasil utiliza a mistura compulsória de 5% de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo.

Óleos e gorduras (triglicerídeos), são ésteres provenientes da reação de condensação de um ácido carboxílico e um álcool, chamada de reação de esterificação (SOLOMONS & FRYHLE, 2002), os quais apresentam peso molecular e propriedades físico-químicas semelhantes ao óleo diesel. Os compostos comumente classificados como biodiesel, são os ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que podem ser utilizados como combustível para motores ciclo diesel.

Dentro do programa Brasileiro de produção de biodiesel, o óleo de soja é responsável pelo maior percentual das matérias-primas utilizadas. Em 2012, segundo a Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2013), a divisão percentual das matérias primas utilizadas, ficou em 77,4% para o óleo de soja, 16,8% para gorduras animais, 4,3% para o óleo de algodão e 1,5% para outros materiais graxos.

De acordo com dados estatísticos da ANP (2013), no ano de 2012 foram produzidos no Brasil, mais de 2,7 bilhões de litros, utilizados na mistura compulsória de 5% de biodiesel ao óleo diesel de petróleo, percentual que é utilizado desde janeiro de 2010. A estimativa para o ano de 2013, é uma produção próxima dos 3

bilhões de litros, e que ajudará a sustentar o aumento da demanda por combustíveis diesel, tendo em vista o crescimento da frota de veículos no país.

No que diz respeito à utilização de biodiesel em motores de combustão interna, vários estudos já foram feitos e outros estão em andamento. Para HEYWOOD (1988), a combustão da mistura no interior dos motores de combustão interna (MCI) é um dos processos que controlam a potência, a eficiência e a produção de gases. Ensaio realizado por MACHADO (2008) mostrou que o melhor consumo específico de ésteres combustíveis de origem animal foi quando o motor operou com uma carga de 75%, entretanto, com alteração no sistema de injeção e pré-aquecimento do combustível.

Em condições ambientes, CUNHA (2009) utilizando de um grupo gerador de médio porte, verificou que o consumo específico de ésteres metílicos puros, foram maiores que o óleo diesel metropolitano. Resultados semelhantes foram observados por FIORESE et al., (2012), que ao avaliar um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica, observou que com o uso de biodiesel de frango puro (B100), o consumo foi 9,6% superior quando comparado com a testemunha, o óleo diesel comercial, explicado pela diferença do poder calorífico (menor no biodiesel). No mesmo estudo, os autores concluíram que com o uso de biodiesel, houve redução do consumo energético e aumento da eficiência do motor, passando de 30,7 para 32,4%, mas não suficiente para manter os mesmos patamares de consumo do biodiesel em relação ao óleo diesel comercial.

Utilizando biodiesel de soja em um motor de aspiração natural de quatro cilindros, mostrou segundo BARBOSA et al., (2008), que a eficiência térmica do motor aumentou quando se usou misturas de biodiesel de soja com diesel. Os valores de eficiência térmica ao se utilizar 100% de biodiesel foram em média 4% maiores do que quando se utilizou diesel mineral. O consumo energético foi diminuindo os valores à medida que se aumentava a quantidade de biodiesel misturado ao óleo diesel (BARBOSA et al., 2008).

VOLPATO et al., (2009), ao utilizarem biodiesel puro de soja (B100) em um motor agrícola, observaram uma pequena redução na potência e no torque do motor, entretanto, para o consumo específico e horário, os resultados foram mais satisfatórios quando operante com biodiesel do que com o diesel fóssil.

SILVA et al., (2012) ao avaliarem um grupo gerador de pequeno porte (monocilíndrico) utilizando de várias proporções de biodiesel, observaram que o desempenho do conjunto motor-gerador, foi superior quando estava utilizando óleo diesel. Os autores relatam que utilizando misturas com proporções de 20% de biodiesel, não afeta significativamente o desempenho do motor. Em relação a eficiência do conjunto, foi observado valores entre 19 e 21% para cargas maiores e mais próximas da potência máxima de geração do grupo gerador (cerca de 90% de carga). Por outro lado, em cargas abaixo de 30% da potência máxima do gerador, a eficiência foi inferior a 15%, mostrando um aproveitamento extremamente baixo do conteúdo energético dos combustíveis.

Estudos realizados por CÔRREA et al., (2008) utilizando proporções de biodiesel de girassol com óleo diesel, mostraram um aumento de até 7,3% no consumo de combustível e redução de no máximo 2,2% na potência. O trabalho foi complementado com avaliações da qualidade do óleo lubrificante, após 96 horas de uso com B100, e foi verificado que não houve alterações nas características do óleo lubrificante usado no motor.

Trabalhos realizados por REIS et al., (2013), avaliando um grupo gerador monocilíndrico com motor diesel de 3,7 kW, e gerador com capacidade nominal de

2,2 kW, mostraram que houve aumento do consumo de combustível e aumento da eficiência do processo de combustão ao utilizar biodiesel de soja e em função da alteração na demanda de potência.

O objetivo deste trabalho se configurou em avaliar a eficiência energética de um grupo gerador com motor ciclo diesel monocilíndrico, quando operante com duas cargas de geração de energia elétrica e com cinco tipos de combustíveis diesel, sendo o óleo diesel comercial com 2% de biodiesel (B2), dois biodieseis de origem animal (sebo bovino e óleo de frango) e dois biodieseis de origem vegetal (soja e girassol).

MATERIAL E METODOS

O trabalho foi realizado nas dependências do Centro de Análise de Sistemas Alternativos de Energia (CASA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus de Cascavel-PR. Utilizou-se um grupo gerador monocilíndrico marca Branco, com motor diesel 4 tempos, 406 cm³, 6,6 kW de potência máxima, rotação constante e capacidade máxima de geração de energia elétrica de 5 kW.

Os ensaios foram baseados em um método alternativo de aplicação de carga, imposta por correntes de Foucault, o qual utiliza hastes metálicas imersas em água salina e ligadas à saída de potência do gerador, e como efeito tem-se o consumo de energia e conseqüentemente, a imposição de cargas ao motor (Figura 1). Utilizou-se ainda um reservatório auxiliar de combustível e de baixo volume, colocado sobre uma balança de precisão para determinação do consumo ponderal de combustível (kg h⁻¹). Para verificar a potência gerada e consumida, utilizou-se um analisador de energia marca Embrasul modelo RE 2000, munido de sensores para obtenção da corrente elétrica (i) e da tensão elétrica (U). O produto de ambos, corrente e tensão, é equivalente a potência gerada e consumida pelo gerador.

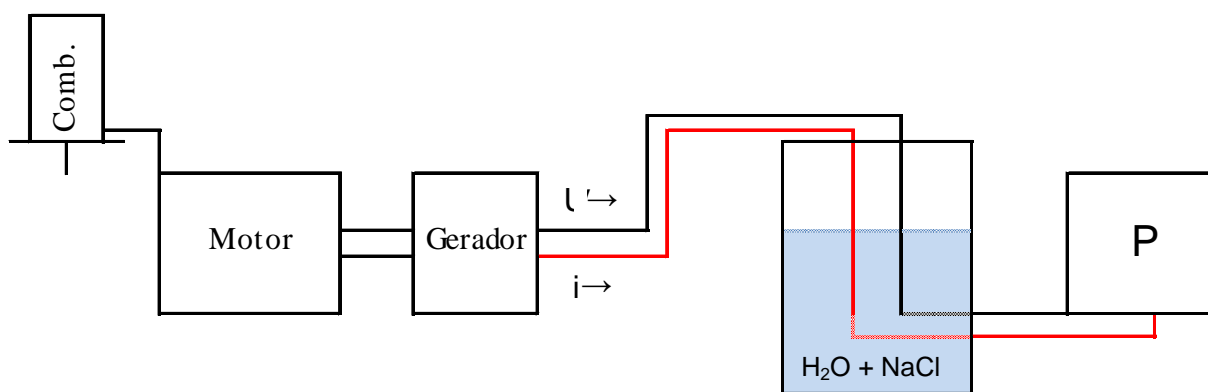


FIGURA 1. Esquema do circuito utilizado para aplicação das cargas por correntes de Foucault, e para coleta de dados do consumo de combustível, onde tem-se: o combustível (Comb.) em um reservatório sobre uma balança, alimentando o motor de combustão interna que movimenta o gerador, e por sua vez, produz potência (P) através do produto entre a tensão elétrica (U) e a corrente elétrica (i) que são dissipados nos eletrodos imersos no reservatório com água salina (H₂O + NaCl).

Os ensaios foram conduzidos em uma sala com pouca variação da temperatura ambiente a fim de manter maior controle local e com condução dos gases de exaustão para o exterior do laboratório. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x5, sendo duas

demandas de carga ao motor, 70% (3,5 kW) e 100% (5 kW); e cinco tipos de combustíveis, compreendendo: óleo diesel comercial, que na ocasião do ensaio possuía aditivação de 2% de biodiesel (B2), biodiesel metílico puro (B100) de sebo bovino, de óleo de frango, de óleo de soja e de óleo de girassol, com três repetições em cada tratamento, totalizando 30 unidades experimentais.

O biodiesel foi obtido em um planta experimental, a qual opera em processos descontínuos (batelada) e com qualquer tipo de matéria-prima graxa. Os quatro biodieseis foram produzidos pelo processo de transesterificação e pela rota metílica alcalina, utilizando metanol e hidróxido de sódio (NaOH) para o processo químico de conversão dos óleos e gordura, em biodiesel. Na sequência foram determinadas as densidades dos cinco combustíveis e o poder calorífico superior (PCS) através da terceirização em laboratório especializado. O poder calorífico inferior (PCI) que foi utilizado nos cálculos de consumo energético e de eficiência energética, foi determinado com a utilização da Equação 1, também utilizada nos trabalhos de VOLPATO et al., (2009) e SILVA et al., (2012).

$$PCI = PCS - 3,052 \quad (1)$$

em que:

- PCI = poder calorífico inferior (MJ kg^{-1});
- PCS = poder calorífico superior (MJ kg^{-1});
- 3,052 = constante para conversão de valores.

Os parâmetros avaliados foram: consumo horário ponderal (Chp); consumo energético (CE_N); potência teórica (Pt); energia específica (ENe); e eficiência energética (η). A manipulação dos dados foi efetuada através de planilha eletrônica.

A determinação da potência efetiva gerada mediante a utilização do analisador de energia RE 2000, foi feita pela Equação 2. O consumo ponderal de combustível, expresso em quilogramas por hora, foi obtido diretamente através da leitura na balança de precisão, que fornecia a massa de combustível consumida durante o tempo padrão de ensaio realizado em cada tratamento.

$$P = \frac{U \cdot i}{1000} \quad (2)$$

em que:

- P = potência efetiva gerada (kW);
- U = tensão de saída (V);
- i = intensidade da corrente elétrica (A);
- 1000 = Constante de conversão para kW.

O consumo energético expresso em megajoules por hora (MJ h^{-1}), foi determinado através do uso da Equação 3. A potência teórica foi calculada baseando-se na energia contida no combustível, através do poder calorífico inferior (PCI) e do consumo horário ponderal, mediante uso da Equação 4 adaptada de MIALHE (1974). A potência teórica representa a máxima potência que seria obtida se não houvessem perdas ao longo da conversão da energia química do combustível, em energia mecânica no interior do MCI e posteriormente, em energia elétrica através do gerador.

$$EN_E = Chp.PCI \quad (3)$$

$$P_t = \frac{Chp.C.427}{3600.75} 0,7355 \quad (4)$$

onde:

EN_E = energia específica (MJ h⁻¹);
 Chp = consumo ponderal de combustível (kg h⁻¹);
 PCI = poder calorífico inferior (MJ kg⁻¹);
 P_t = potência teórica ou motora (kW);
 C = poder calorífico inferior do combustível (kcal kg⁻¹);
 427 = equivalente mecânico do calor (kgm kcal⁻¹);
 3600 = segundos por hora;
 75 = kgm por cv;
 0,7355 = constante para conversão de cv para kW.

O cálculo da energia específica foi realizado pela Equação 5. Este parâmetro representa a quantidade de energia produzida durante uma hora de operação, para cada litro de combustível consumido. É um parâmetro bastante usual em ensaios oficiais de MCI.

$$EN_E = \frac{P}{Chp.\rho^{-1}} \quad (5)$$

em que:

EN_E = energia específica (kWh L⁻¹);
 P = potência efetiva gerada (kW);
 Chp = consumo horário ponderal (kg h⁻¹);
 ρ = densidade do combustível (kg L⁻¹).

A eficiência energética ou global pode ser definida como um índice ou percentual de aproveitamento da energia inserida no motor, ou seja, quanto da energia de entrada são convertidas em trabalho útil na forma de potência, e neste caso, em potência elétrica. Pode ser determinado como o quociente da potência efetiva gerada pela potência teórica (Equação 6) ou diretamente pela Equação 7 de HEYWOOD (1988).

$$\eta = \frac{P}{P_t} 100 \quad (6)$$

$$\eta = \frac{3600}{C_e.C} 100 \quad (7)$$

onde:

P = potência efetiva gerada (kW);
 P_t = potência teórica (kW);
 η = eficiência energética (%);
 C_e = consumo específico (g kWh⁻¹);
 C = poder calorífico inferior do combustível (MJ kg⁻¹).

Sintetizando a eficiência energética do conjunto motor-gerador, as perdas de energia são resumidas pelo produto entre a eficiência mecânica (η_m) que é o resultado da conversão mecânica da energia expansiva dos gases de combustão nos cilindros, (MIALHE, 1974); eficiência térmica (η_t) que é a eficiência do motor em converter a energia do combustível em trabalho mecânico na(s) manivela(s); e por último, a eficiência do gerador (η_g) para gerar energia elétrica que é o produto final. A Equação que resume a eficiência energética do motor é dada por (8):

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_t \cdot \eta_g \quad (8)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 encontram-se os resultados obtidos para a densidade, poder calorífico superior e poder calorífico inferior. Observa-se que os valores que representam o conteúdo energético dos combustíveis (PCS e PCI), são menores para os biodieseis, quando comparado ao óleo diesel, em especial ao biodiesel de sebo bovino, que possui o menor valor ($36,1 \text{ MJ kg}^{-1}$). Esses valores são similares com dados encontrados na literatura.

QUADRO 1. Densidade a 20°C, poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) dos cinco combustíveis utilizados nos ensaios.

Combustível	Densidade (kg L^{-1})	PCS (kcal kg^{-1})	PCS (MJ kg^{-1})	PCI (kcal kg^{-1})	PCI (MJ kg^{-1})
Óleo Diesel (B2)	0,852	10796	45,2	10069	42,2
Biodiesel de sebo bovino	0,871	9357	39,2	8627	36,1
Biodiesel de óleo de frango	0,882	9385	39,3	8655	36,2
Biodiesel de óleo de soja	0,884	9579	40,1	8849	37,0
Biodiesel de óleo de girassol	0,879	9578	40,1	8848	37,0

Os resultados apresentados na Quadro 2 sintetizam a análise de variância para as variáveis consumo ponderal (Ch_p) e consumo energético (CE_N) as quais apresentaram interação significativa entre os fatores avaliados.

QUADRO 2. Resultados das médias para o consumo horário ponderal e consumo energético em função dos cinco combustíveis utilizados e das duas demandas de carga impostas ao grupo gerador.

Combustível	Consumo ponderal (kg h ⁻¹)		Consumo energético (MJ h ⁻¹)	
	Carga			
	70	100	70	100
Biodiesel de frango	1,49 bA	2,63 aBC	53,90 bA	95,12 aB
Biodiesel de girassol	1,59 bA	3,06 aA	59,05 bA	113,36 aA
Óleo diesel comercial (B2)	1,43 bA	2,59 aC	60,21 bA	109,00 aA
Biodiesel de sebo bovino	1,64 bA	2,50 aC	59,03 bA	90,35 aB
Biodiesel de soja	1,58 bA	2,90 aAB	58 43 bA	107,26 aA
DMS _{carga}	0,19		7,22	
DMS _{comb.}	0,28		10,36	
CV(%)	5,44		5,26	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); DMS_{carga}: Diferença média significativa entre as cargas. DMS_{comb.}: Diferença média significativa entre os combustíveis. CV: Coeficiente de variação.

Nota-se no quadro 2 que não houve diferença significativa para o consumo ponderal e o consumo energético entre os tipos de combustíveis na carga de 70%, entretanto, para a carga de 100%, observa-se variação entre os combustíveis para ambos os consumos. Dentro da carga de 100%, os menores resultados para consumo ponderal foram observados no óleo diesel comercial e no biodiesel de sebo bovino. Para o consumo energético, os menores valores foram resultantes dos combustíveis biodiesel de frango e biodiesel de sebo bovino. Resultados similares foram encontrados por FIORESE et al., (2012) que observou um menor consumo energético com biodiesel de origem animal, quando comparado com óleo diesel. Por sua vez, VOLPATO et al., (2009), concluíram que ao utilizar biodiesel de soja em um motor de aspiração natural, houve redução do consumo energético, diferentemente dos valores aqui apresentados para biodiesel de soja e girassol, os quais foram estatisticamente iguais ao óleo diesel.

De acordo com a literatura (CUNHA, 2009; CORRÊA et al., 2008; FIORESE et al., 2012; e REIS et al., 2013) o consumo horário de combustível apresenta tendências em ser maior ao utilizar biodiesel, independente da matéria-prima de origem, quando comparado com o óleo diesel. Entretanto, VOLPATO et al. (2009) verificou que o consumo horário de soja foi mais satisfatório do que com óleo diesel. Por ocasião dos resultados encontrados neste trabalho, observa-se que as duas condições são possíveis, já que com 70% de carga no motor, o melhor consumo foi com óleo diesel, e na carga de 100%, observou-se que com biodiesel de sebo bovino o valor foi menor, embora devam ser observadas as igualdades estatísticas apresentadas no quadro 1.

No quadro 3 estão dispostos os valores encontrados para energia específica e para eficiência energética do grupo gerador, verificando-se que não houve interação entre os fatores carga e combustível. Em relação à carga, a energia produzida por unidade de volume de combustível consumido (kWh L⁻¹) foi melhor com 70% de carga, semelhante aos relatos de MACHADO (2008). Para eficiência, os resultados observados neste trabalho, corroboram com as conclusões de SILVA

et al., (2012), que utilizaram de metodologias similares com grupo gerador monocilíndrico, observaram eficiência energética entre 19 e 21% para cargas intermediárias aplicadas ao conjunto. Os autores verificaram que em condições de baixa carga e, para cargas elevadas, a eficiência energética apresenta valores inferiores.

Quadro 3. Energia específica e eficiência energética do grupo gerador monocilíndrico operando com cinco combustíveis e em duas condições de carga imposta ao motor.

Tratamentos	Energia específica (kWh L ⁻¹)	Eficiência energética (%)
Carga		
70	1,95 a	19,80 a
100	1,60 b	16,27 b
Combustível		
Biodiesel de frango	1,83 ab	19,00 ab
Biodiesel de girassol	1,59 c	16,19 c
Óleo diesel comercial (B2)	1,84 ab	17,71 bc
Biodiesel de sebo bovino	1,92 a	20,24 a
Biodiesel de soja	1,68 bc	17,04 c
DMS _{carga}	0,08	0,85
DMS _{comb.}	0,19	1,92
CV(%)	6,05	6,16

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); DMS_{carga}: Diferença média significativa entre as cargas. DMS_{comb.}: Diferença média significativa entre os combustíveis. CV: Coeficiente de variação.

Para a eficiência energética, os menores resultados foram obtidos com os combustíveis biodiesel de girassol e biodiesel de soja, não diferindo estatisticamente do óleo diesel comercial. Esses resultados não são compatíveis com resultados de outros autores, a exemplo de REIS et al., (2013) que verificou melhores eficiências com o uso de biodiesel de soja. Esses resultados remetem ao alto consumo de combustível atrelado a um alto conteúdo energético destes combustíveis, e que não foram convertidos em potência efetiva.

A melhor eficiência foi encontrada com biodiesel de sebo bovino, e com o biodiesel de óleo de frango. Esses resultados são semelhantes aos valores encontrados por FIORESE et al., (2012), que também verificou maior eficiência energética ao utilizar biodiesel de origem animal.

Comparando a eficiência energética do grupo gerador com motores multicilíndricos e com outros sistemas fornecedores de energia, verifica-se resultados extremamente baixos, já que trabalhos publicados por BARBOSA et al. (2008) e FIORESE et al., (2012), mostram valores de eficiência entre 30 e 40%.

No quadro 4, encontram-se os resultados da potência teórica, e de acordo com a análise de variância observou-se a interação significativa entre os fatores. Os valores comprovam a menor eficiência do biodiesel de girassol e de soja, e do óleo diesel, pois os três combustíveis possuem um conteúdo energético mais elevado e que possibilitam a geração de maior potência e, portanto, deveriam consumir menos do que os valores encontrados. Para a carga de 70% não foram observadas diferenças substanciais, já com 100% de carga, observa-se que estatisticamente a

potência teórica é menor (mais eficiente) para biodiesel de sebo bovino e de óleo de frango.

QUADRO 4. Potência teórica em função da carga e do combustível.

Combustível	Potência teórica (kW)	
	Carga	
	70	100
Biodiesel de frango	16,23 bA	28,65 aBC
Biodiesel de girassol	17,75 bA	34,09 aA
Óleo diesel comercial (B2)	17,45 bA	31,58 aAB
Biodiesel de sebo bovino	17,79 bA	27,23 aC
Biodiesel de soja	17,57 bA	32,26 aA
DMS _{carga}	2,17	
DMS _{comb.}	3,12	
CV(%)	5,30	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); DMS_{carga}: Diferença média significativa entre as cargas. DMS_{comb.}: Diferença média significativa entre os combustíveis. CV: Coeficiente de variação.

É importante ressaltar que os biodieseis utilizados foram adquiridos em uma planta de produção experimental e que não passa por controle de qualidade da produção, tendo em vista que este tipo de controle é extremamente dispendioso, uma vez que, geralmente, é utilizado somente nas indústrias que produzem em larga escala para fornecimento de combustível para distribuidoras e postos de combustíveis.

CONCLUSÕES

A eficiência energética do grupo gerador foi considerada baixa, quando comparado com outros sistemas de fornecimento de potência.

O uso da potência máxima do grupo gerador prejudica o aproveitamento energético e, conseqüentemente, apresenta valores de eficiências ainda mais baixos para todos os combustíveis utilizados.

Em relação aos biodieseis avaliados e utilizados como alternativa ao óleo diesel comercial, verificou-se que os de origem animal indicaram os melhores resultados.

O biodiesel de sebo bovino apresentou os menores valores de consumo horário ponderal, consumo energético e potência teórica, bem como os maiores valores de energia específica e eficiência energética.

REFERÊNCIAS

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=66833>>. Acesso em: 28 set. 2013.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, set./out., 2008.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; ÚNGARO, M. R.; BERNARDI, J. A.; STORINO, M. Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 923-928, maio/jun., 2008.

CUNHA, R. B. C. **Avaliação técnico- ambiental do uso de biodiesel de palma, soja e óleo de frango em grupo-gerador acionado por motor de ciclo diesel**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

FIGLIARESE, D. A.; DALLMEYER, A. U.; ROMANO, L. N.; SCHLOSSER, J. F.; MACHADO, P. R. M. Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p.660-666, abr. 2012.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engines Fundamentals**. New York: McGraw-Hill, 1988. 897p.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2008.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

REIS, E. F.; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DEMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.565–571, 2013.

SILVA, M. J.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, A. A.; MARTINS, G. I.; SECCO, D. Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.320–326, 2012.

SOLOMONS, G. & FRYHLE, C. **Química orgânica**. v. 2. LTC, Rio de Janeiro, 2002. 474p.

VOLPATO, C. E. S.; CONDE, A. P.; BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1125-1130, jul./ago. 2009.