

## VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS EM MOTORES DIESEL

Gerson H Inoue<sup>1</sup>, Luciano B Vieira<sup>2</sup>, Guilherme L Santos<sup>3</sup>, Haroldo Carlos Fernandes<sup>4</sup>,  
Wagner Da Cunha Siqueira<sup>5</sup>

### RESUMO

O óleo vegetal pode substituir o óleo diesel de três formas: por meio do Biodiesel, Hbio e na forma de óleo bruto. A utilização do óleo bruto pode ser importante em regiões com dificuldade para o recebimento do óleo diesel, como na Região Norte. Existem vários fatores que influenciam a utilização do óleo bruto nos motores, entre os quais a alta viscosidade do óleo vegetal. Neste trabalho, foi determinada a viscosidade dos óleos refinados e brutos e suas misturas com diesel e avaliou-se o desempenho do motor, quando alimentado com misturas de óleo refinado de soja (ORS) e diesel. Verificou-se que não ocorreram variações de viscosidades entre os tipos de óleo. Em um motor Yanmar, utilizando misturas de ORS até a proporção de 30%, verificou-se aumento da potência e torque, quando a proporção de ORS no combustível foi aumentada. O consumo específico foi semelhante para os combustíveis estudados.

**Palavras-chaves:** Biocombustíveis, Óleos Vegetais e Viscosidade Cinemática,

### ABSTRACT

#### Viability of Vegetal Oil Use in Diesel Engines

The vegetal oil can substitute diesel oil as Biodiesel, Hbio and as crude oil. The use of crude oil can be important in regions, such as northern Brazil, where acquisition of diesel oil is difficult. In this work the viscosity of refined and crude oils alone or in mixture with diesel was determined, together with the performance of the engine fed with mixture of refined soybean oil and diesel. There was no variation in the viscosity of oil types. In a Yanmar engine using diesel mixed with soybean oil up to 30% increased the power and torque, with increasing proportion of soybean oil. The specific consumption was similar among all fuels tested.

**Keywords:** Biofuel, Vegetable Oils and Kinematics Viscosity.

---

<sup>1</sup> Doutorando Engenharia Agrícola, DEA-UFV. inouegh@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Doutor, DEA-UFV. DEA-UFV. lbaiao@ufv.br

<sup>3</sup> Graduando em Eng. Florestal, DEF-UFV. santosladeira@hotmail.com.br

<sup>4</sup> Doutor, DEA-UFV. haroldo@ufv.br

<sup>5</sup> Eng. Agrícola.

## INTRODUÇÃO

A energia poderá ser o grande gargalo para o desenvolvimento dos países industrializados. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2007), no Brasil, em 2005, 44,5% da OIE (Oferta Interna de Energia) teve origem em fontes renováveis, enquanto no mundo essa taxa é de 13,2% e nos países membros da OECD é de apenas 6,1%. Nesta participação da energia renovável, 14,8% correspondem à geração hidráulica e 29,7% a outras fontes renováveis. Os 55,5% restantes da OIE vieram de fontes fósseis e outras não renováveis.

O ano de 2006 foi marcante para o Brasil, que anunciou a auto-suficiência na produção do petróleo. Além disso, tecnologias para utilização mais eficiente de biocombustíveis estão sendo desenvolvidas, entre elas a utilização do etanol em substituição à gasolina e dos óleos vegetais em substituição ao óleo diesel.

A utilização de óleos vegetais em substituição ao óleo diesel tem sido satisfatória, sendo as formas mais usuais o Biodiesel, na forma de óleo vegetal in natura e mais recentemente na forma de Hbio. Para atender à produção de óleos vegetais, muitas culturas poderão ser utilizadas, de acordo com as condições regionais, destacando-se aquelas que já são exploradas comercialmente, como o amendoim, soja, milho, dendê, girassol e canola, além de outras de caráter regional como mamona, andiroba, pequi, buriti, inajá, carnaúba, pinhão-manso, entre outros.

Segundo a Petrobrás (2007), o Hbio é produzido por um sistema que usa matérias-primas de origem vegetal ou animal que por meio do hidrefino – o refino com a utilização do hidrogênio –, produz óleo diesel. O processo acontece dentro de um catalisador, que fica em movimento ininterrupto e os óleos de origem vegetal são adicionados ao diesel tradicional, sendo bombardeada por moléculas de hidrogênio. A hidrogenação diminui a concentração de partículas poluentes, como o enxofre e aumenta as que contribuem para a eficiência do produto, como a parafina, que melhora a qualidade da ignição dos veículos. A meta da Petrobrás em 2007 é produzir 256 milhões de litros de diesel, a partir do processo HBio.

O biodiesel é definido geralmente, como um produto resultante de processo químico

denominado transesterificação, em que os óleos vegetais, animais ou residuais são misturados ao catalisador e álcool. Após a reação completa, tem-se um subproduto denominado glicerina, além do éster, que recebe o nome de biodiesel.

Segundo Kaltner (2004), os principais problemas no uso de óleos vegetais nos motores diesel são: a dificuldade de partida a frio, em razão da elevada viscosidade dos óleos vegetais; a formação de gomas nos bicos injetores; o desgaste de componentes da bomba injetora, devido à acidez do óleo; e a formação de depósitos de carvão na câmara de combustão, nos cilindros e nas válvulas.

Soares et al. (2000) avaliaram o desempenho de um motor MWM D229-6, com 90 hp a 1.800 rpm, 6 cilindros e injeção direta, acoplado a um gerador elétrico e alimentado com óleo de dendê. Foram aplicadas cargas de 12,5 kW, 25 kW, 37 kW e 48,5 kW, sendo o motor alimentado com óleo de dendê às temperaturas de 55°, 80° e 100° C; nos 5 a 10 minutos do início e término, o motor era alimentado com óleo diesel. Verificou-se que a viscosidade afeta a qualidade da pulverização do combustível pelos bicos injetores e que quando alimentado com óleo a 100° C, houve ganho de cerca de 12% no consumo de combustível e redução da carbonização da câmara de combustão. Contudo, os bicos injetores apresentaram problemas de vedação interna, possivelmente ocasionados pela oxidação do óleo e formação de gomas deste, ou pela danificação do filtro de combustível, razão pela qual, a temperatura de 80° C é considerada mais adequada.

Prateepchaikul & Apuchato (2003) estudaram o desempenho e durabilidade de motores Kubota, monocilíndricos, com injeção indireta, operada com rotação de 2.200 rpm e com 75% da carga nominal, alimentado com óleo diesel e óleo de dendê refinado, durante um período de 2.000 horas em condições idênticas. Durante o experimento, os motores foram desmontados para análise de desgaste, após 50 horas de operação e, posteriormente, a cada 500 horas, para análise dos componentes. Antes de serem desmontados, os motores foram avaliados em dinamômetro, para verificar seu desempenho. Quanto ao consumo, verificou-se que o consumo de óleo de dendê é de 15 a 20% maior. Ocorreu apenas diferença significativa no desgaste dos anéis de segmento: maior desgaste foi encontrado no motor abastecido pelo óleo de dendê.

Mazieiro & Corrêa (2004), ao avaliando um motor MWM D229-3, injeção direta, que acionava um trator Valmet modelo 68, alimentado com óleo diesel durante as 50 primeiras horas e, depois, exclusivamente com óleo bruto de girassol, verificaram que ocorreu redução de 7,1 a 10,1% na potência da TDP e aumento de 13,9 a 16% no consumo específico. O teste de 200 horas foi interrompido com menos de 60 horas; devido à elevação da temperatura do lubrificante, foram detectados previamente que ocorreram alterações nele e acúmulo de carvão no injetor. Os autores ainda relataram que a alta viscosidade do óleo bruto de girassol dificulta a pulverização dos bicos injetores, propiciando queima do combustível e, conseqüentemente, formando depósitos nos bicos e cabeçotes, que levam à redução no desempenho e na durabilidade do motor.

Portas & Denicci (2003), comentam que, no Brasil, ocorre a falta do diesel nas fronteiras agrícolas, onde muitas máquinas e equipamentos são acionados por motores diesel, desde os motores dos barcos amazônicos a colhedoras no sul, além de ser grande responsável pelo aumento dos insumos agrícolas e conseqüentemente aumento nos custos de produção dos produtos agrícolas. Seguindo este pensamento, mesmo com a dificuldade de utilização na forma bruta devido à grande viscosidade do óleo vegetal, a utilização nesta forma pode ser de grande importância para regiões isoladas ou para aquelas onde há dificuldades na aquisição do óleo diesel.

A utilização do óleo vegetal na forma bruta poderá ter vantagens em relação ao biodiesel, tais como a facilidade de produção do combustível, não necessitar de produtos para a produção do combustível, produção do combustível utilizando espécies de oleaginosas encontradas na propriedade rural, sendo que quando o óleo é extraído na propriedade haverá produção de resíduos que poderão ser transformados em farelo para alimentação de animais ou em adubo orgânico.

O objetivo do trabalho foi verificar o efeito da temperatura na redução da viscosidade dos óleos vegetais e suas misturas com óleo diesel, bem como avaliar o desempenho de um motor diesel, alimentado com misturas de ORS e óleo diesel.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a realização deste trabalho, foram conduzidos dois experimentos: o primeiro para analisar a variação da viscosidade dos óleos vegetais e suas misturas com óleo diesel; e o segundo para avaliar o desempenho de um motor diesel alimentado com misturas de óleo diesel e óleo refinado de soja em motor diesel de baixa potência.

No primeiro experimento, foram determinadas as viscosidades dos Óleos Bruto de Girassol (OBG), de Milho (OBM), de Soja (OBS), e Óleos Refinados de Girassol (ORG), de Milho (ORM), de Soja (ORS) e de Canola (ORC). Os óleos vegetais foram misturados com óleo diesel, nas proporções de 0, 10, 30, 50, 70 e 100% de óleo vegetal. As viscosidades das misturas de óleo diesel e vegetal foram determinadas, variando-se as temperaturas das amostras em 40, 60 e 80°C, sendo a temperatura controlada pelo termostato do viscosímetro. Para cada condição de temperatura e amostra, foram realizadas cinco repetições.

O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (LMA-DEA-UFV). Foi utilizado um viscosímetro Saybolt, fabricado pela PETROTEST. A determinação das viscosidades foi realizada com o auxílio de um cronômetro, que mede o tempo necessário para o escoamento dos 60 cm<sup>3</sup> da amostra no orifício de 1,71 mm de diâmetro, sendo este tempo, o Segundo Saybolt Universal (SSU).

Para a conversão da unidade SSU para mm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> (cSt), foi utilizado o ábaco apresentado por Barguer et al. (1966). Após a coleta, com o auxílio do Software EXCELL 2000, os dados foram tabulados e analisados, estatisticamente, com o auxílio do software SAS (Statistical Analysis System) for Windows, versão 9.1.

O segundo experimento foi realizado para avaliar o desempenho de um motor diesel alimentado com misturas de óleo vegetal e diesel. Utilizou-se o Motor Yanmar modelo NS<sub>B</sub> 75, com potência nominal de 5,8 kW a 2.400 rpm, injeção indireta, refrigerado a água e taxa de compressão de 21:1. Os testes foram realizados nas dependências do LMA-DEA-UFV, e utilizando-se o óleo diesel puro (OD) e misturas de óleo refinado de soja com diesel nas proporções de 10%(OV<sub>10</sub>), 20%(OV<sub>20</sub>), e 30%(OV<sub>30</sub>).

Os ensaios foram realizados com o auxílio de um dinamômetro elétrico montado em berço. Os ensaios seguiram a Norma NBR ISO 1585 e, para isto, foi utilizado um termômetro de bulbo úmido e seco e os dados de pressão barométrica da estação meteorológica da UFV. Nos ensaios, utilizou-se o tempo de coleta de 5 minutos, determinando-se a rotação, a carga no dinamômetro, o consumo e as temperaturas. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Após a coleta, com o auxílio do Software EXCELL 2000, os dados foram tabulados, convertidos e corrigidos de acordo com a Norma NBR ISO 1585 e sendo, em seguida analisados estatisticamente com o auxílio do software SAS for Windows, versão 9.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da tabulação dos dados coletados e com o cálculo das médias de cada tratamento, foram realizados testes de médias e análise de variância, para todas as temperaturas estudadas.

Os resultados demonstraram, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%, que não ocorreram diferenças estatísticas entre os tipos de óleos em todas as temperaturas. No quadro 1, em função da igualdade da viscosidade entre os óleos vegetais, são apresentados os valores médios das viscosidades dos óleos.

Por meio da análise estatística com o auxílio do software SAS, e levando-se em consideração que não ocorreu influência dos óleos vegetais e suas misturas, foi gerada a Equação 1, e de acordo com a análise de variância verificou-se que o modelo foi significativo ao nível de 5% pelo teste F.

$$\nu = 4,56707 + 0,37051P + 0,00145P^2 + 0,00259T - 0,00512PT \quad (1)$$

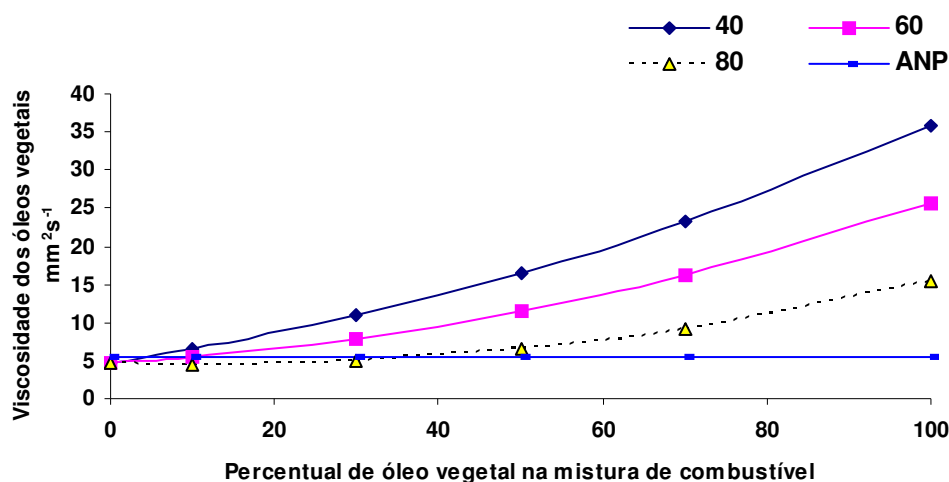
$$r^2 = 96,92$$

em que:

$\nu$  = viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ );  
 P = percentual de óleo vegetal (%); e  
 T = temperatura da amostra ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Quadro 1.** Viscosidade média da viscosidade dos óleos vegetais

% de Óleo vegetal	Viscosidade dos óleos vegetais $\text{mm}^2/\text{s}$		
	40° C	60° C	80° C
0	5,47	3,96	3,10
10	7,47	5,80	4,70
30	10,70	7,82	6,34
50	15,84	11,42	7,98
70	21,47	14,67	10,29
100	39,03	23,72	14,99



**Figura 1.** Curvas estimadas de viscosidade para óleos vegetais, gerado pela equação 1.

Ao analisar o gráfico da Figura 1, juntamente com o Quadro 1, verifica-se a importância do aumento da temperatura para a redução da viscosidade. As reduções foram consideráveis, sendo maiores para as misturas com maiores proporções de óleo vegetal, tanto que o aumento de temperatura de 40° para 80° C proporcionou uma redução na viscosidade de 61,60% para os óleos vegetais, sem mistura de óleo diesel, e de 43,31% para o óleo diesel puro.

Por meio da aplicação do modelo determinado, foram geradas as curvas de viscosidade dos óleos, que são apresentadas na Figura 1. Verifica-se que, para a temperatura de 40° C, dificilmente a viscosidade das misturas irá atender a Portaria ANP Nº 310, pelo fato de o óleo diesel utilizado estar próximo do limite superior, que é de 5,5 mm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>. Para a temperatura de 60° C uma mistura de até 10% para o atendimento da portaria, e para a temperatura de 80° C a mistura a ser utilizada, atendendo a portaria, é de até 39%.

Verifica-se que a aplicação de calor nas amostras tem um efeito maior para proporções com maior quantidade de ORS na mistura, ou seja, quanto maior a quantidade de óleo vegetal na mistura, maior é a redução da viscosidade devido o efeito da temperatura;

Nos ensaios do motor utilizando as misturas de combustíveis, foi verificada a influência dessas misturas no desempenho do motor.

Por meio da análise estatística com o auxílio do software SAS e levando-se em consideração que não houve grandes diferenças de desempenho entre as misturas dos óleos ensaiados, foram geradas as equações 2, 3 e 4, respectivamente para Potência, Torque e Consumo Específico, sendo que pela análise de variância, verificou-se que os modelos foram significativos ao nível de 5% pelo teste F. Os parâmetros das equações foram significativos ao nível de 5% pelo teste T. Desta forma, não ocorreram diferenças significativas nos valores do

consumo específico entre os combustíveis testados.

$$P_t = 114,21927 + 2,2652OV - 0,04662n \quad r^2 = 98,03\% \quad (2)$$

$$\tau = 486,02598 + 9,4045OV - 0,19868n \quad r^2 = 98,42\% \quad (3)$$

$$CE = 119365 + 1015235h + 0,02163n^2 \quad r^2 = 87,27\% \quad (4)$$

em que:

$P_t$  = potência do motor (kW);

$\tau$  = torque do motor (Nm);

CE= consumo específico do motor (g kWh<sup>-1</sup>);

OV = roporção de ORS;

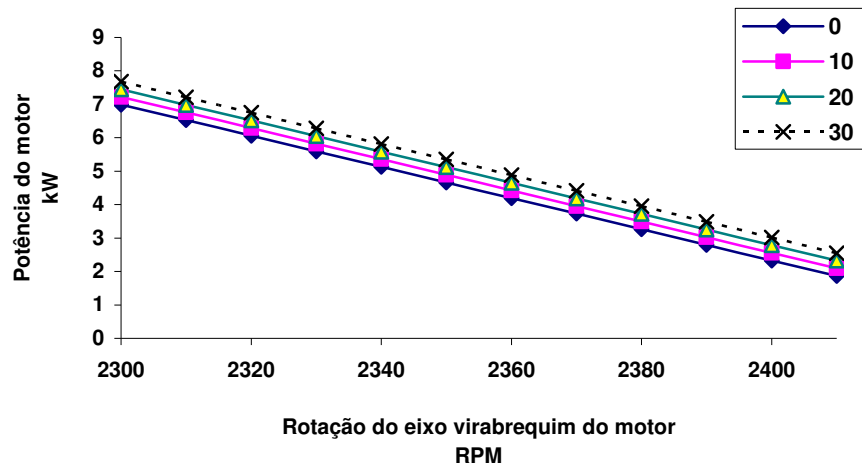
$n$  = rotação (rpm)

Com a aplicação do modelo determinado, foram geradas as curvas de desempenho do motor, no caso da potência é apresentado na Figura 2, podendo-se observar que a potência aumenta com a adição de ORS na mistura de combustível.

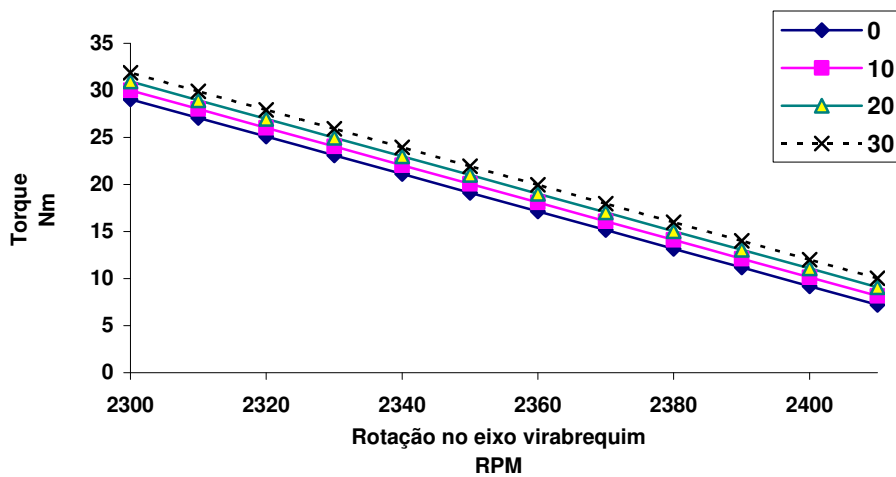
A curva de torque do motor é apresentada na Figura 3 e observa-se que o mesmo efeito da curva de potência, aumento do torque com a redução da rotação e aumento do torque com a adição de ORS.

Na curva de consumo específico, apresentada na Figura 4, verifica-se que no consumo específico não houve influência da adição de ORS, nem influência da proporção de óleo vegetal nos combustíveis.

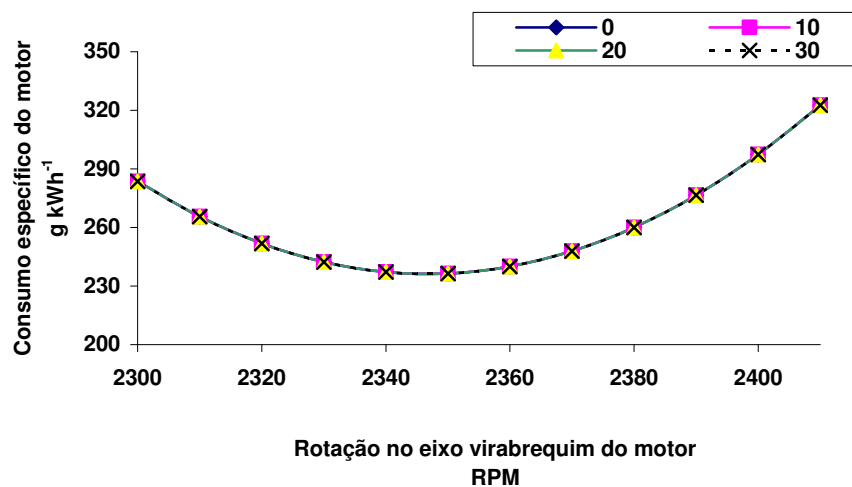
Considerando a rotação de consumo mínimo como a de trabalho para o motor estacionário, que ocorreu neste motor na rotação aproximada de 2350 rpm. Para esta rotação verificou-se um aumento da potência e torque acompanhando o acréscimo da proporção de óleo vegetal no combustível. Os valores são apresentados na Tabela 2, em que se verifica um acréscimo de 11,89% de potência, quando alimentado com o OV30, em relação ao óleo diesel. Para o torque, nas mesmas condições, verificou-se aumento de 11,85%.



**Figura 2.** Variação da potência em função da rotação do eixo virabrequim do motor, para os combustíveis.



**Figura 3.** Variação do torque em função da rotação do eixo virabrequim do motor, para os combustíveis.



**Figura 4.** Variação do consumo específico em função da rotação do eixo virabrequim do motor, para os combustíveis.

**Quadro 2.** Variação do desempenho do motor em função do combustível, na rotação de trabalho do motor

	<b>OD</b>	<b>OV10</b>	<b>OV20</b>	<b>OV30</b>
Potência	5,16	5,39	5,62	5,86
Torque	21,10	22,05	22,99	23,94
Consumo específico	272,00	274,00	276,00	279,00

Analisando os resultados, pode-se indicar o uso do óleo até o limite de 30% de ORS, tendo em vista o desempenho superior em relação ao óleo diesel. No entanto, deve-se alertar que ensaios de longa duração devem ser realizados, para verificar os danos que podem ocorrer com ORS no óleo diesel. No motor em estudo, nenhum problema foi encontrado em decorrência do uso do óleo vegetal. O bom desempenho do motor pode ser explicado pelo sistema de injeção utilizado no motor, que é o sistema de injeção indireta, que possibilita a queima de um combustível de qualidade inferior.

Como o óleo foi testado sem nenhum tipo de controle de temperatura, resultados satisfatórios poderão ser encontrados com a utilização de sistema de aquecimento de combustíveis.

Outros fatores ainda deverão ser estudados no sentido de caracterizar um motor ideal para a alimentação dos motores diesel com óleos vegetais, principalmente relacionados ao sistema de injeção e de outras características de construção do motor, entre elas a taxa de compressão e rotação de trabalho.

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

- A Portaria ANP N° 310 pode ser atendida, quando misturadas ORS, apenas quando ocorre o aquecimento do combustível;
- Não ocorreram diferenças estatísticas dos valores de viscosidade entre os tipos de óleos vegetais.
- Quanto maior a quantidade de quaisquer dos óleos vegetais estudados na mistura, maior é a redução da viscosidade devido o efeito da temperatura;

- A potência e o torque aumentaram, em função da adição de ORS na mistura do combustível, até o limite de 30%;
- Não houve alteração no consumo específico do motor, em função da adição de ORS até o limite de 30%.
- O desempenho dos motores, utilizando óleos vegetais, foi bom até o limite estudado de 30%, porém ensaios de longa duração deverão ser realizados.

## AGRADECIMENTO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Caramuru Alimentos S/A.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO-ANP (2001). Portaria ANP N° 310, de 27 de Dezembro de 2001. Diário Oficial da União de 28/12/2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Norma ISO 1585, de 29/07/1996.

BARGUER, E.L., LILJEDAHN, J.B., CARLETON, W.M., MCKIBBEN, E.G. Tratores e seus motores. São Paulo: Edgar Blucher, 1966. 398p.

KALTNER, F.J. Geração de energia elétrica em pequenas comunidades da Amazônia, utilizando óleo vegetal “*in natura*” de espécies nativas como combustível em motores diesel. SAEX 2004. Módulo 1-Biomassa. P 9.

MAZIEIRO, J.V.G.; CORRÊA, I.M. Biocombustível em xeque. Revista Cultivar Máquinas. N. 32, p. 6-9. julho de 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME, Balanço Energético Nacional. Análise Energética Brasileira – período 1970 a 2005. Brasília. 2007. Disponível em [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br). Acesso em: 05/04/2007.

Petrobrás. Um combustível que respeita o Meio Ambiente. Por dentro da Tecnologia Petrobrás. Ed. Março. 2007. Disponível em: <http://super.abril.com.br/pordentrodatecnologia/info2007.shtml>.

PORTAS, A., e DENUCCI, S.A cadeia produtiva do Biodiesel. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 08 de out. 2003. Caderno Agrícola.

PRATEEPCHAIKUL, G; APICHATO, T.; Palm oil as a fuel for agricultural diesel engines: Comparative testing against diesel oil. Songklanakarin J. Sci. Technol. V.25, n.3, p. 317-326, 2003.

SOARES, G.F.W.; VIEIRA, L.S.R.; NASCIMENTO, M.V.G. Operação de um grupo gerador utilizando óleo vegetal bruto como combustível. . In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL-AGRENER, 3.,2000, Campinas. **Anais...** Campinas: [s.n.], 2000.