

BIODIESEL DE DENDÊ EM TRATOR AGRÍCOLA: OPACIDADE DA FUMAÇA EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR

PALM BIODIESEL IN FARM TRACTOR: OPACITY OF SMOKE AS A FUNCTION OF MOTOR OPERATING CONDITIONS

Leomar Paulo de Lima¹
Afonso Lopes²
Melina Cais Jejcic Oliveira³
Murilo Coelho Teodoro Neves⁴
Priscila Sawasaki Iamaguti⁵

Resumo

Por possuir características físicas e químicas similares ao diesel derivado de petróleo, o biodiesel é considerado um combustível alternativo. Os motivos para considerar o biodiesel como “ambientalmente correto” se relaciona ao fato de que sua matéria-prima é renovável, menos tóxico pela ausência de compostos sulfurados e aromáticos voláteis, emitir menos materiais particulados e pela facilidade de ser biodegradado no meio ambiente. Foi desenvolvido dois experimentos no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP, tendo como objetivo comparar a opacidade da fumaça de um trator agrícola, no período de amaciamento do motor e quando utilizou óleo lubrificante no cárter novo e com 250 horas de trabalho, utilizando como combustível misturas de biodiesel de dendê com diesel. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 6 x 3 e 6 x 2, com três repetições, em ambos, respectivamente. As combinações dos fatores foram seis proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 e B100), respectivamente, três períodos de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 horas de trabalho) e duas condições do óleo no cárter do motor (250 horas de trabalho e novo (logo após a troca)). Em função do período de amaciamento do motor a opacidade da fumaça aumentou em 12,3%, diminuindo 35,1% quando utilizou biodiesel de dendê, na proporção B100 em relação ao B0. Nas condições do óleo lubrificante do cárter a opacidade da fumaça aumentou em 4,5% quando se utilizou lubrificante na condição de novo, diminuindo 33,9% quando comparado biodiesel de dendê (B100) com diesel de petróleo (B0).

Palavras-Chave: Biocombustíveis. Ensaio de tratores. Efeito estufa.

Abstract

By having chemical and physical characteristics similar to petroleum derived diesel, biodiesel is considered as an alternative fuel. The reasons to consider biodiesel as "environmentally friendly" relates to the fact that its raw material is renewable, less toxic by the absence of sulfur compounds and volatile aromatic, emit fewer particulates and the ease of being biodegraded in the environment materials. Two experiments were conducted at the Laboratory of Agricultural Machinery and Mechanization Department of Rural Engineering FCAV / UNESP, Jaboticabal - SP, aiming to compare the smoke opacity of an agricultural

tractor, the engine break-in period and when used lubricating oil in new sump and 250 hours of work, using as fuel blends of biodiesel from palm oil with diesel. The experimental design was completely randomized (CRD) in factorial 6×3 and 6×2 factorial with three replications in both respectively. Combinations of factors were six proportions of mixing biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 and B100), respectively, three periods Engine break (again, 50 and 100 hours of work) and two oil condition in crankcase (250 hours of work and new (after the exchange)). Due to the break-in period of the engine smoke opacity increased by 12.3%, down 35.1% when used biodiesel from palm oil, in the proportion B100 relative to B0. Under the conditions of the lubricating oil sump opacity of the smoke opacity of the smoke increased by 4.5% when using lubricant in new condition, decreasing 33.9% compared to palm oil biodiesel (B100) with petroleum diesel (B0).

Keywords: Biofuels. Testing of tractors. Greenhouse.

1 Introdução

A poluição atmosférica é a presença de materiais estranhos no ar. Tudo que pode ser vaporizado ou transformado em pequenas partículas, de modo que possa flutuar no ar, deve ser classificado como poluente potencial (BRITO, 2005). Quando existe uma alteração na composição ou nas propriedades do ar atmosférico causadas pela ação do homem, e que gerem emissões de poluentes em concentrações nocivas e inconvenientes à saúde e ao meio ambiente, diz-se que o ar está poluído (BRITO, 2005).

Biodiesel é um biocombustível renovável e produzido a partir de óleo vegetal e álcool anidro na presença de catalisador. Esse produto é indicado para motores de ignição por compressão, podendo ser utilizado como aditivo ou em substituição ao diesel de petróleo (LOPES *et al.*, 2007). Dependendo do processo de produção, o biodiesel pode ser filtrado ou destilado, metílico ou etílico, produzido com óleo degomado ou residual.

O grupo éster e a presença de oxigênio na molécula fazem com que a queima do biodiesel resulte em menor quantidade de fuligem, favorecendo a queima mais completa. Essa característica do biodiesel é de grande importância para a qualidade do ar nas grandes cidades, uma vez que a fuligem é, em grande parte, composta por substâncias poliaromáticas, com grande potencial cancerígeno (RINALDI *et al.*, 2007).

O opacímetro determina a opacidade da fumaça do gás eliminado, e este aparelho coleta somente uma parte do fluxo de gás, através de um tubo de captação e uma sonda colocados no cano de escape do veículo. Verificou-se que, utilizando-se de biodiesel de dendê, ocorreu redução de 36% na opacidade da fumaça quando comparado com o diesel (LIMA *et al.*, 2012).

Assim, o objetivo do trabalho foi comparar a opacidade da fumaça de um trator agrícola utilizando como combustível misturas de biodiesel de dendê e diesel no período de amaciamento do motor e quando utilizou óleo lubrificante no cárter com 250 horas de trabalho e novo.

2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em área do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal-SP. Possui localização geodésica definida pelas coordenadas 21°15' latitude sul e 48°18' longitude oeste, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2 °C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

O biodiesel utilizado foi obtido do óleo de dendê (*Elaeisis guineensis*). O processo de produção e o fornecimento do biocombustível ficou a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL, da Universidade de São Paulo – USP, Campus de Ribeirão Preto.

Utilizou-se óleo diesel interior, classificado de acordo com a resolução da ANP N° 42, de 16 de dezembro 2009 (ANP, 2009), tendo quantidade de enxofre total máxima de 1.800 mg kg⁻¹ e massa específica de 860 kg.m⁻³ adquirido na cidade de Jaboticabal – SP.

O trator utilizado nos testes foi da marca Valtra, modelo BM125i, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 80,9 kW (125 cv), instrumentado, conforme LOPES (2006). O óleo lubrificante utilizado no cárter foi Shell Rimula R3X (15W-40), recomendado pelo fabricante dos tratores Valtra, com substituição a cada 250 horas de trabalho do motor.

Os ensaios de opacidade da fumaça foram realizados de acordo com o método da aceleração livre, conforme norma NBR 13037 (2001), que é o regime de rotação a que o motor é submetido com o acelerador no seu curso máximo, sendo a potência desenvolvida absorvida somente pela inércia dos componentes mecânicos do motor (embreagem, árvore-piloto da caixa de mudanças), uma vez que o veículo está estacionado. As medições de opacidade foram em K, que é o coeficiente de absorção de luz, e tem como unidade m⁻¹ (TECNOMOTOR, 2010).

O trabalho foi constituído por dois ensaios e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 3 e 6 x 2, com três repetições, em ambos respectivamente. As combinações dos fatores foram seis proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a percentagem de biodiesel no diesel), respectivamente, três períodos de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 horas de trabalho) e duas condições do óleo lubrificante no cárter do motor (250 horas de trabalho e novo (logo após a troca)), sendo 250 horas o período de troca recomendado pelo fabricante da máquina.

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância (teste F) e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, conforme recomendação de BANZATTO & KRONKA (2006), foi ajustado por análise de regressão o modelo que melhor explicasse o comportamento dessas variáveis, em função da proporção de biodiesel, selecionando o modelo de equação de maior expoente significativo.

3 Resultados e Discussões

Não houve interação significativa entre os fatores período de amaciamento e proporção de biodiesel de dendê para opacidade da fumaça (Tabela 1). Verifica-se que a opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor foi influenciada, evidenciando-se aumento à medida que se aumentou o período de amaciamento. Todavia, comparando-se o período novo e 100 horas, a opacidade aumentou 12,3%, evidenciando que o período de amaciamento por 50 e 100 horas interfere na qualidade do combustível a ponto de influenciar na opacidade da fumaça do trator. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do óleo lubrificante provocada por reações indesejáveis (contaminantes) na fase de amaciamento do motor.

TABELA 1. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função do período de amaciamento do motor e proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Fatores	Opacidade
Período de Amaciamento (Pa)	(m⁻¹)
Novo	1,95 a
50 horas	2,16 b
100 horas	2,19 c
Proporção de Biodiesel (B_n)	
B0	2,42 a
B5	2,39 a
B25	2,26 b
B50	2,11 c
B75	1,88 d
B100	1,57 e
TESTE F	
Pa	293,6723 **
B _n	947,7060 **
PaxB _n	0,8201 ^{NS}
C.V.%	3,04
Média	2,10

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** : significativo (P<0,01); * : significativo (<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

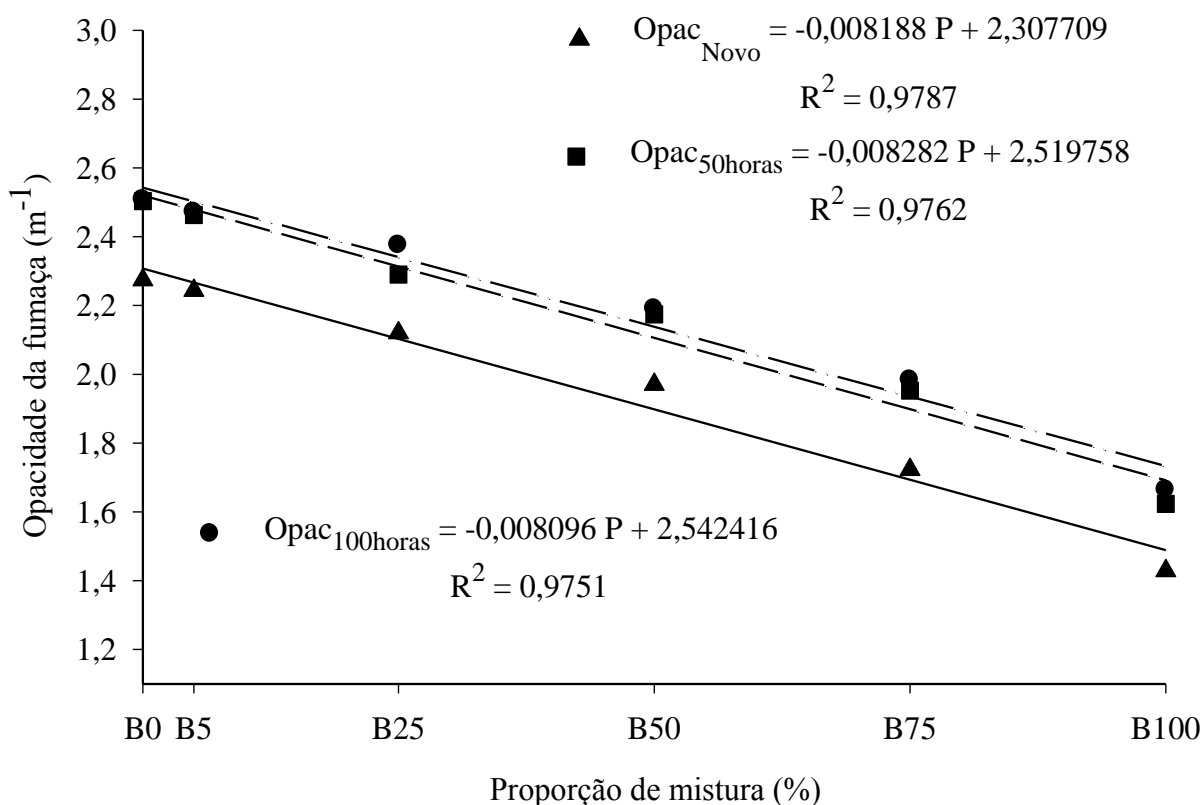
Estudos realizados por Corrêa et al. (2011), em bancada dinamométrica, utilizando-se de trator Valmet 68, ano 1983, equipado com motor MWM D229.3, em amaciamento e funcionando com a proporção de 5% de biodiesel (70% metílico de sebo bovino e 30% metílico de algodão) misturado ao diesel por um período de 600 horas, destacaram o aumento da viscosidade a 40 °C (cSt) do óleo lubrificante do motor, em 22%, comparado ao óleo novo, enquanto os níveis de insolúveis (máximo 1,0%), assim como a porcentagem de água (máxima 2,0%) e o número de basicidade total (TBN – mínimo 2,5 mm KOH g min⁻¹), mantiveram-se dentro de valores aceitáveis.

Analisando-se essa variável no fator proporção de biodiesel, observa-se semelhança em B0 e B5 e diferenças significativas em B25, B50, B75 e B100. Ainda pela Tabela 1, quando se avaliou opacidade em função das proporções de mistura, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel de dendê, atingindo melhoria de 35,1%, comparando B100 com B0. Esse fato é devido à menor emissão de material particulado quando se utiliza biodiesel, pois, no referido biocombustível, há presença de oxigênio livre na molécula e pressupõe-se que esse fato esteja relacionado com a maior eficiência da combustão

do biodiesel em relação ao diesel de petróleo. Resultados semelhantes também foram observados por Xiaoming et al. (2005) e Maziero et al. (2006).

O comportamento da opacidade da fumaça, em função do período de amaciamento do motor do trator e das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel, foi linear, conforme se nota na Figura 1.

FIGURA 1 – Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função do período de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 horas) e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.



De acordo com a Tabela 2, verifica-se que não ocorreu interação entre os fatores condições do óleo e proporções de biodiesel de dendê para a opacidade da fumaça. No fator condições do óleo lubrificante, detectou-se que, na condição com 250 horas de uso, obteve-se menor opacidade da fumaça, destacando-se que a redução média foi de 4,5%, quando comparada à condição de óleo lubrificante novo. Pressupõe-se que esse fato esteja relacionado às alterações físico-químicas do óleo lubrificante do cárter na condição de 250 horas de trabalho em relação ao óleo novo, principalmente a redução da viscosidade.

TABELA 2. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Fatores	Opacidade
Condições do óleo (Co)	(m⁻¹)
250 horas	2,03 b
Novo	2,12 a
Proporção de Biodiesel (B_n)	
B0	2,39 a
B5	2,26 b
B25	2,22 b
B50	2,12 c
B75	1,90 d
B100	1,58 e
TESTE F	
Co	102,0243 **
B _n	751,1937 **
CoxB _n	0,0986 ^{NS}
C.V.%	2,52
Média	2,08

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** : significativo (P<0,01; * : significativo (<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

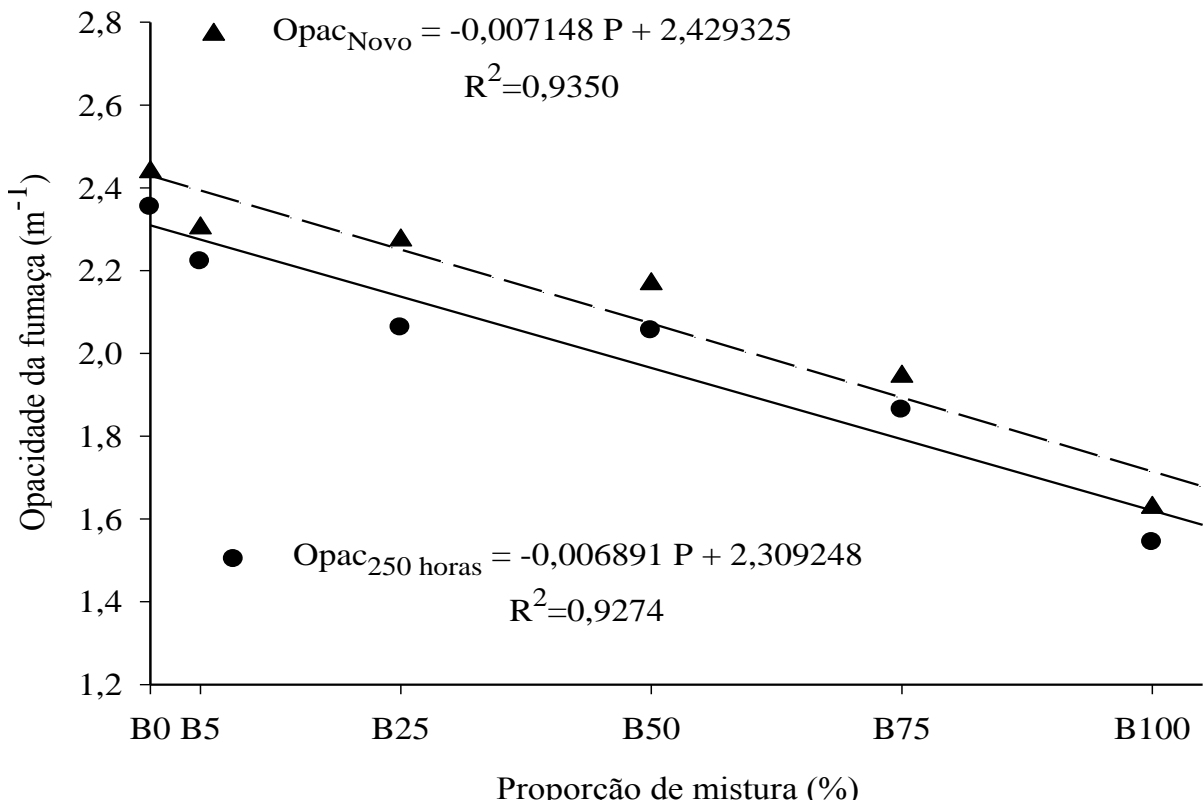
MANNI et al. (1995) estudaram o efeito das características físicas dos óleos lubrificantes em relação às emissões, à economia de combustível e ao consumo de óleo de um motor diesel. Os testes mostraram o importante papel quando se utilizam óleos de baixa viscosidade na economia de combustível e redução nas emissões de dióxido de carbono. Já Murtonen e Sutton (2005), testando sete lubrificantes diferentes em um motor de ônibus de 9,6 litros, observaram certa relação entre a viscosidade do óleo lubrificante e o consumo de combustível, e uma diferença nas emissões de hidrocarbonetos e material particulados variando entre 0,6 e 22%, observando que os níveis de insolúveis (máximo 1,0%), assim como a porcentagem de água (máxima 2,0%) e o número de basicidade total (TBN – mínimo 2,5 mm KOH g min⁻¹) mantiveram-se dentro de valores aceitáveis.

Ainda na Tabela 2, percebe-se que, quando se avaliou opacidade da fumaça do trator em função das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel à mistura. Conforme observado, as proporções B0 e B5 foram semelhantes entre si, tornando-se notória a capacidade do biodiesel em reduzir a opacidade a partir de B25 até a proporção B100, destacando-se que a redução média foi de 33,89% de B0 para B100. Esse comportamento ocorreu em virtude da maior eficiência de

combustão proporcionada pelo biocombustível comparada ao diesel. Esses resultados concordam com aqueles encontrados por DURAN *et al.* (2005) e MICCORMICK *et al.* (2005). A redução da opacidade da fumaça, aliada a outros benefícios do biodiesel, constitui maior atrativo para a adoção do biodiesel na matriz energética brasileira, conforme descrito na Lei nº 11.097, especificada por BRASIL (2005.)

O comportamento da opacidade da fumaça em função da utilização do óleo lubrificante do cárter nas condições de 250 horas de trabalho e novo (logo após a troca) e das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel foi linear, conforme visualiza-se na Figura 2.

FIGURA 2 – Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função das condições do óleo lubrificante do cárter com 250 horas de trabalho e novo (logo após a troca) e das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel.



4 Conclusões

A opacidade da fumaça aumentou 12,3%, em função do período de amaciamento do motor. Em relação ao B0, quando se utilizou biodiesel de dendê, na proporção B100, a opacidade da fumaça reduziu-se em 35,12%.

A opacidade da fumaça aumentou em 4,5%, quando se utilizou lubrificante na condição de novo, comparado com 250 horas de trabalho. Em relação ao B0, quando se utilizou biodiesel de dendê, na proporção B100, a opacidade da fumaça reduziu-se em 33,9%.

5 Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13037. Determinação da opacidade do gás de escapamento de veículos movidos a diesel, em condição de aceleração livre e com utilização do opacímetro em motor diesel. Rio de Janeiro, 2001.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acessado: 21-02-2013.

BRITO, H. P., Análise das emissões atmosféricas por veículos automotores em Natal-RN. 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 7, p.1189-1194, 2011.

DURAN, A.; LAPUERTA, M.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. Neural networks estimation of diesel particulate mater composition from transesterified waste oils blends. *Fuel*, New York, v. 84, p. 2080-2085, June 2005.

LIMA, L. P.; LOPES, A.; OLIVEIRA, M. C .J.; NEVES, M.C.T.; KOIKE, G.H.A. Comparativo entre biodiesel de dendê e tucumã no desempenho operacional de trator agrícola. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v. 20, n. 3, p. 234-243, Mai/Jun, 2012.

LOPES, A. Biodiesel em trator agrícola: Desempenho e Opacidade. 2006, 158 f. Tese (Livre Docência em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

LOPES, A.; CAMARA, F.T.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; BARBOSA, A. L. P. B. F. Diesel S500 x Interior: opacidade da fumaça de tratar agrícola - Parte I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, *Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal (SP)*, v. 6, n. 1, p. 22-31, 2014. (ISSN 2178-9436).

GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO”, 4., 2007, Varginha. Anais... Lavras: UFLA, 2007. p.625-628.

MANNI, M., GOMMELLINI, C., SABBIONI, G., Effect of physical characteristics of lubricating oils on emissions, fuel economy and oil consumption in a light duty diesel engine, SAE Technical Papers. Paper N°. SAE 952552, 1995.

MAZIERO, J. V. G.; CORREA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D'AGOSTINHO, M. F. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível. Engenharia na Agricultura, São Paulo, v. 14, n. 4, p.287- 292, 2006.

MICCORMICK, R. L.; TENNANT. C. J.; HAYES, R. R.; BLACK, S.; IRELAND, J.; MCDANIEL, T.; WILLIAMS, A.; FRAILEY, M.; SHARP, C. A. Regulated emissions from biodiesel tested in heavy-duty engines meeting 2004 emissions standards. In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, Rio de Janeiro, 2005. Rio de Janeiro: SAE, 2005. 1 CD-ROM.

MURTONEN, T. T.; SUTTON, M. New Crankcase Lubricants For Heavy-Duty Diesel Engines: Effect On Fuel Consumption And Exhaust Emissions. Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2005-01-3717, 2005.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. Síntese e biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. Química Nova, Campinas, v. 30, n. 5, p.1374-80, 2007.

TECNOMOTOR, Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda., OPACER TM 133 Opacímetro de amostragem. Manual de Operação. São Carlos, 2010. Ed. 07/01, 26 p.

XIAOMING, L.; YUNSHAN, G.; SIJIN, W.; XIUKUN, H. Na experimental investigation on combustion and emissions characteristics of turbocharged di engines fueled with blends of biodiesel. In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, 1., 2005, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: SAE, 2005. 1 CD-ROM.