



## **EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO POR MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO BIODIESEL, ÓLEO VEGETAL E ETANOL: UMA COMPARAÇÃO COM DIESEL CONVENCIONAL**

José Luiz Bernardo Borges<sup>1</sup>,

Márcio Turra de Ávila<sup>2</sup>,

Ricardo Ralisch<sup>3</sup>,

Murilo Daniel de Mello Innocentini<sup>4</sup>

### **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi quantificar a emissão de material particulado (MP) de misturas ternárias compostas de álcool, biodiesel e óleo vegetal por um motor ciclo Diesel, tendo como testemunha um motor idêntico funcionando com diesel de petróleo. Para a comparação da emissão dos dois combustíveis, foi realizada a coleta de material particulado proveniente dos escapamentos dos motores por meio do uso de um filtro circular, confeccionado a partir de fibra de vidro. Os resultados obtidos com a utilização das misturas ternárias de biocombustíveis indicaram uma redução expressiva no nível de material particulado emitido pelo motor, principalmente em situação de elevada quantidade de carga foi aplicada ao motor. Pode-se concluir com o trabalho que, a utilização das misturas ternárias, nas condições e métodos de realização do experimento, foi eficiente na redução de emissão de material particulado presente nos gases de exaustão do motor ciclo Diesel.

Palavras-chave: Biodiesel; Etanol; Óleo Vegetal; Emissões.

---

1 Eng. Agrônomo, Bolsista Mestrado CAPES, Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 km 380, Cx. Posta: 6001, CEP: 86055-900, Londrina-Pr, (43) 9151-1930, borges-jl@hotmail.com

2 Eng. Mecânico, Pesquisador Doutor, Embrapa Soja, Rodovia Carlos João Strass, Distrito de Warta, Cx. Postal: 231, CEP:86001-270, Londrina-Pr, (43) 4471-6000, marcio@cnpso.embrapa.br

3 Eng. Agrônomo, Professor Doutor, Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 km 380, Cx. Posta: 6001, CEP: 86055-900, Londrina-Pr, (43) 3371-4000, ralisch@uel.br

4 Eng. Químico, Professor Doutor, Universidade de Ribeirão Preto, Avenida Eduardo Andréa Matarazzo, 891 Bairro Ipiranga – Ribeirão Preto – SP CEP: 14080-730, muriloinnocentini@yahoo.com.br



## ABSTRACT

The purpose of this study was quantify the particulate matter emission from ternary blends comprehending ethanol, biodiesel and vegetable oil in a Diesel cycle engine, and an identical engine working with petrol diesel as a witness. To compare the fuels' emissions, the particulate matter from the engine's exhaust was collected, using a circle filter paper made from fiber glass. The results achieved utilizing ternary blends showed an expressive reduction of particulate matter level exhausted by the engine, mainly in heavy duty situation. We can conclude with this work that the utilization of ternary blends, with the methods and conditions of this experiment, was efficient to reduce the particulate emission from exhausted gas of Diesel cycle engine.

Keywords: Biodiesel, Ethanol, Vegetable Oil, Emissions.

## 1. INTRODUÇÃO

Os compostos de emissão, tanto dos motores a diesel quanto a gasolina ou combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde, ou seja,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $N_2$ ; e os que apresentam perigos à saúde, sendo esses subdivididos em compostos, cuja emissão está regulamentada, que são: monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), os óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e material particulado (MP); e aqueles que ainda não estão sob regulamentação: aldeídos, amônia, benzeno, cianetos, tolueno e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HPA). (Neeft *et al.*, 1996).

A exaustão diesel é bastante complexa, sendo composta por três fases: sólidos, líquidos e gases (Degobert, 1995). A operação em condições oxidantes das máquinas diesel, que contribui para uma boa economia de combustível, resulta, comparativamente com motores à gasolina, em menor produção de  $CO_2$ , num processo de combustão operando em temperaturas mais baixas, com formação e, conseqüentemente, emissão de menor quantidade de  $NO_x$ , CO e HC. Entretanto, esse processo também resulta em elevados níveis de emissão de material particulado e de compostos responsáveis pelo odor característico da emissão diesel, sendo a emissão desses últimos altamente crítica durante condições de operação em baixo nível de temperatura. (Braun *et al.*, 2003).



A composição básica média do material particulado é 70% em massa de carbono, 20% de oxigênio, 3% de enxofre, 1,5% de hidrogênio, menos que 1% de nitrogênio e, aproximadamente, 1% de elemento traços. (Neeft *et al.* 1996).

A Figura 1 mostra o aspecto de partículas ambientais (partículas totais em suspensão), coletadas em filtro de nitro-celulose, mostrando uma grande variação de sua morfologia.

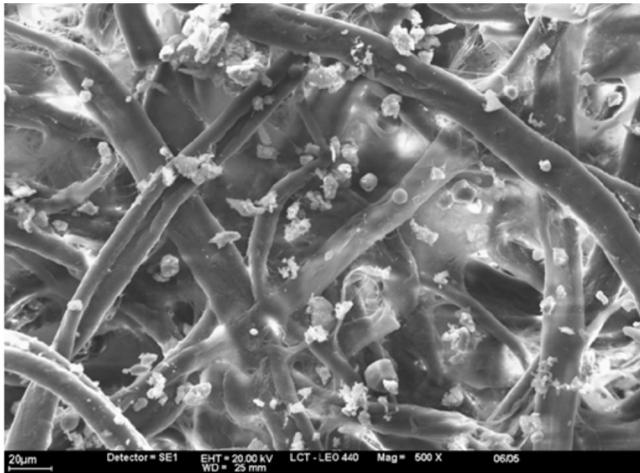


Figura 1 - Partículas coletadas no centro de Porto Alegre – RS (LPAE/FMUSP, 2007).

O material particulado é o poluente atmosférico mais consistentemente associado a efeitos adversos à saúde humana. A toxicidade do material particulado depende de sua composição e diâmetro aerodinâmico. Diversos estudos têm relacionado a exposição continuada aos níveis ambientais de material particulado com a redução da expectativa de vida. (Lipfert *et al.*, 1984).

Os efeitos crônicos também têm sido demonstrados a partir da detecção de alterações estruturais dos pulmões de indivíduos que habitam regiões com elevadas concentrações de MP. A primeira demonstração clara de que os níveis de MP promovem alterações inflamatórias difusas do trato respiratório em humanos veio de estudos de Souza *et al.*, (1998), em que foram detectados hiperplasia muco-secretora, remodelamento com fibrose das pequenas vias aéreas e lesão da região centro acinar de jovens falecidos por causas externas na região metropolitana de São Paulo. Nesse mesmo



estudo, as lesões observadas estavam em íntima relação anatômica com focos de deposição e retenção de material carbonáceo (antracose), sugerindo uma relação de causa e efeito

Nas últimas décadas, um grande esforço tem sido feito para reduzir a utilização de combustíveis derivados de petróleo para geração de energia e transporte em todo o mundo. Dentre as recentes alternativas propostas, biodiesel, etanol, além de misturas contendo biodiesel/diesel e álcool/diesel, têm chamado muita atenção para o uso em motores de ciclo Diesel, apresentando-se como uma das soluções, em diversos países, para redução de suas importações de petróleo e diminuição de suas emissões de poluentes.

Etanol, óleo vegetal e biodiesel são todos derivados da biomassa e, ao contrário do petróleo, são combustíveis renováveis. Entre estes combustíveis, o álcool etílico hidratado combustível (AEHC) se apresenta como um interessante combustível alternativo ao óleo diesel para reduzir as emissões de poluentes. Isso porque o etanol contém oxigênio na sua molécula, é um combustível extremamente volátil, que queima como grupo e porque o AEHC contém água na sua composição (7% em massa). Essas características são geralmente favoráveis para uma boa combustão (Pérez *et al.*, 2006).

O uso de etanol como combustível é defendido por muitos, especialmente, por causa da redução nas emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa ao substituir os combustíveis fósseis. Macedo (2004) analisou o balanço energético de energia fóssil consumida na produção e processamento da cana-de-açúcar comparativamente à energia proporcionada pelo uso do etanol e à energia gerada pelo bagaço da cana. A relação entre a energia renovável produzida e a energia fóssil consumida na produção de etanol é de 8,3 a 10,2, isto é, a cada unidade de energia fóssil gasta no ciclo de produção do etanol, são obtidas de volta entre 8,3 a 10,2 unidades de energia renovável.

Segundo MMA & Lima/Coppe/UFRJ (2002), o álcool praticamente não possui enxofre em sua composição, logo o seu uso não contribui para a emissão de SO<sub>x</sub>, e ainda a sua menor complexidade molecular possibilita uma combustão com baixíssima formação de partículas de carbono, o que resulta em uma emissão desprezível de MP.

No Brasil, estudos com a mistura álcool/diesel vêm sendo realizados desde 1984, quando foi verificado que misturas de óleo diesel com álcool anidro eram viáveis, pois não causavam perda de eficiência do motor



ou aumento do consumo de combustível e geravam redução na emissão de particulados. Desta maneira, trabalhos de pesquisa e testes de campo têm sido realizados para implantação de um programa de adição de etanol à matriz energética do diesel. (*Economy & Energy*, 2001).

Em tese, os óleos vegetais puros podem ser utilizados como combustíveis alternativos. Esta ideia ocorreu a Rudolph Diesel que usou óleo de amendoim em seus motores na exposição de Paris, em 1900. Contudo, os óleos vegetais possuem alta viscosidade e para que sejam utilizados em motores de ciclo Diesel sem necessidade de adaptações, é preciso reduzir os valores de viscosidade a valores próximos ao do diesel convencional (Ma & Hanna, 1999; Rabelo, 2003).

Um pouco mais recente que o etanol, o biodiesel também encontra seu espaço e apresenta crescimento acelerado no mercado nacional de biocombustíveis líquidos. Porém, ao contrário do etanol, que encontrou na cana-de-açúcar sua matéria-prima ideal, o biodiesel ainda está em estágio de intensa pesquisa e desenvolvimento (PNA, 2005). Entretanto, diversos são os trabalhos que apontam uma vantagem ambiental a favor do biodiesel em relação ao diesel convencional, fato que o coloca na linha de frente dos sucedâneos ao diesel derivado do petróleo.

Segundo Fernando & Hanna (2004), o biodiesel tem sido usado não somente como uma alternativa para substituir o diesel de petróleo, mas também como um aditivo emulsificante para compor misturas ternárias de diesel/biodiesel/álcool.

Nesse contexto apresentado, o objetivo do presente trabalho foi quantificar a emissão de material particulado de misturas ternárias compostas de álcool, biodiesel e óleo vegetal em um motor de ciclo Diesel, tendo como testemunha um motor idêntico funcionando com diesel convencional, numa tentativa de demonstrar o potencial de utilização dessas misturas como possível combustível sucedâneo ao petrodiesel.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os testes envolvendo misturas de combustíveis alternativos foram realizados no setor de mecanização agrícola da unidade experimental da Embrapa Soja, em Londrina - PR, onde estão alocados os motores estacionários e o gerador de eletricidade empregados na experimentação.



Foram utilizados para os testes dois motores estacionários, de ciclo Diesel a 4 tempos, da marca Toyama, modelo 70f, refrigerados a ar, com injeção direta e 6 hp de potência nominal, onde um deles foi abastecido somente com óleo diesel e o outro com as misturas ternárias contendo óleo vegetal/biodiesel/etanol; dessa forma, cada motor pôde ser avaliado individualmente de acordo com o combustível empregado. As principais especificações técnicas e medidas dos motores estão descritas na Tabela 1. Foi empregado também, a fim de imprimir carga aos motores, um gerador elétrico da marca Bambozzi, de 10 KVa, com rotação nominal de 1.800 rpm, portanto, passível de ser utilizado com o motor supracitado que possui rotação nominal de 3.000 a 3.600 rpm.

A transmissão de energia mecânica do motor Diesel para o gerador foi realizada por correias e um conjunto de polias acopladas em ambos os eixos dos equipamentos.

Tabela 1 - Especificações técnicas e medidas do motor Toyama 70f

Item	Especificação Técnica	
Tipo	Mono cilíndrico, 4 tempos	
Refrigeração	Refrigerado a ar	
Cilindrada (L)	0,296	
Rotação nominal (RPM)	3.000	3.600
Potência nominal (hp)	5,4	6,0
Velocidade média do pistão (m/s)	6,2	7,44
Pressão efetiva média (kgf/cm <sup>2</sup> )	5,52	5,07
Relação de consumo de combustível (g/HP.h)	< 206	< 215
Relação de consumo de óleo lubrificante (g/HP.h)	< 3	
Capacidade do tanque de combustível (L)	3,5	
Tipo e lubrificação	Bomba de óleo	

As misturas utilizadas no experimento eram compostas por:

- Mistura 1: 60% de biodiesel, proveniente de óleo de soja, 20% de etanol anidro e 20% de óleo vegetal refinado de soja;
- Mistura 2: 60% de biodiesel, proveniente de óleo de soja, 30% de etanol anidro e 10% de óleo vegetal refinado de soja;



- Mistura 3: 50% de biodiesel, proveniente de óleo de soja, 40% de etanol anidro e 10% de óleo vegetal refinado de soja.

Além, é claro, do combustível óleo Diesel convencional derivado de petróleo, empregado no motor testemunha.

Para a comparação da emissão de MP pelos combustíveis, foi realizada a coleta do material proveniente dos escapamentos dos motores através do uso de um filtro circular, com diâmetro de 5 cm, confeccionado a partir de fibra de vidro, da empresa Energética – Qualidade do ar.

Esse material foi desidratado previamente em estufa a 105°C para eliminação da umidade existente. Após esta secagem, os filtros foram pesados e tarados em balança digital de precisão para, finalmente, serem instalados na extremidade final da tubulação de escape, onde foram capazes de reter o material particulado expelido pelo motor.

A sistemática de trabalho empregada foi a seguinte: primeiramente, os filtros foram desidratados em estufa a 105°C e pesados; posteriormente, foram acoplados na extremidade do escapamento, onde permaneceram por 2, 5, 8 e 10 minutos.

Para a determinação do tempo ideal para coleta foram realizados testes de tentativas, onde se notou uma diferença expressiva na quantidade de material coletado nos filtros expostos a 2 e 5 minutos, a favor do maior tempo de exposição.

Já com 8 e 10 minutos de exposição não foi verificada diferença entre a quantidade de material retido nos mesmos e no filtro com 5 minutos de exposição. Assim adotou-se para os testes o tempo padrão de 5 minutos para a coleta. Em seguida os filtros foram novamente desidratados e pesados, o que permitiu registrar a massa do material retido.

Após a coleta do material, os papéis-filtro foram novamente secados e, então, levados para a balança de precisão, para ser aferida a quantidade, em massa, dos particulados produzidos pelos motores.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com a utilização das misturas ternárias de biocombustíveis indicaram uma redução expressiva no nível de material



particulado emitido pelo motor em sua rotação nominal máxima (3.600 rpm), em relação ao diesel derivado de petróleo. Comportamento este proveniente da substituição de um combustível de cadeia carbônica longa (óleo diesel), em média 13 carbonos, e alto ponto de ebulição (de 190° a 330°C), por uma mistura de combustíveis contendo etanol, de cadeia mais simples e menor temperatura de ebulição.

Os valores obtidos no experimento estão apresentados na Figura 2, na forma de massa específica do material retido.

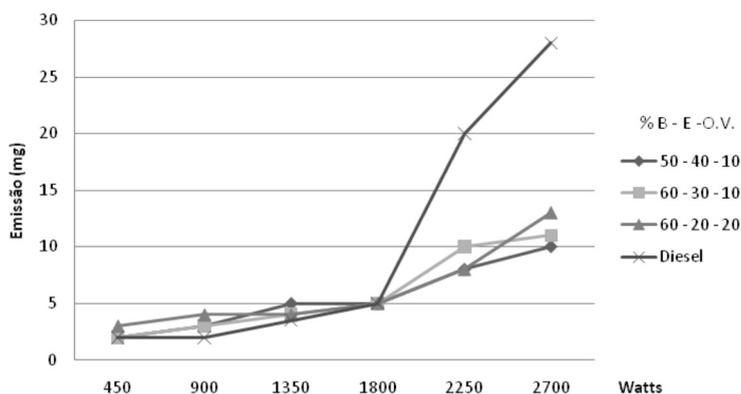


Figura 2 - Emissão de material particulado gerado, num intervalo de 5 minutos de coleta, em função da carga aplicada pelo gerador ao motor.

Nota-se pela figura acima que, quando a carga demandada pelo gerador não ultrapassava 1800 watts, a emissão de MP entre os combustíveis era semelhante, porém na medida em que se elevou a carga até 2.700 watts, em que maior volume de combustível foi pulverizado na câmara de combustão, a quantidade de MP emitido pelo diesel foi bastante superior a todas as misturas, sendo 28 mg para o diesel, enquanto as misturas ternárias variaram de 10 mg para a mistura com maior concentração de etanol (50% biodiesel - 40% etanol - 10% óleo vegetal) até 13 mg da mistura com menor quantidade de etanol (60% biodiesel - 20% etanol - 20% óleo vegetal) na carga máxima aplicada. Observa-se também que, o aumento de etanol na mistura ternária favoreceu a queda na emissão de MP, fato que, segundo Dietrich e Bindel (1983), se explica pela capacidade do etanol em proporcionar uma combustão mais eficiente, implicando em redução no teor de carbono não queimado, corroborando assim com os resultados encontrados nesse experimento.



Redução na emissão de particulados também foi verificada nos experimentos de Holmer *et al.* (1980), que realizaram substituições de até 32% do óleo diesel por etanol, através do uso do artifício da microemulsão. Resultados similares foram obtidos por Goering *et al.* (1992) que notaram supressão na emissão de fumaça quando utilizaram injeção de etanol no coletor de admissão ou no injetor do cilindro. Nessa mesma linha de pesquisa, Feitosa (2003) conseguiu expressiva diminuição de emissão de particulados com substituição de até 50% de diesel por etanol.

Além do etanol, a presença de biodiesel na mistura também influenciou positivamente a redução da emissão de MP, visto que, na literatura, diversos autores demonstraram tal fato. Misturas de biodiesel de girasol/diesel (B25, B50, B75 e B100) foram utilizadas por Muñhoz *et al.* (2004), em motor Diesel automotivo, para determinação dos níveis de emissão de poluentes. A redução do grau de enegrecimento e da emissão específica de material particulado medido foi bastante representativa e favorável ao uso do biodiesel, o que, em parte, é explicado pela ausência de enxofre no biodiesel.

O enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado (Muñhoz *et al.* 2004; Grabosky & Mccornick, 1997; Sharp *et al.*, 2000).

Misturas ternárias estáveis contendo diesel/biodiesel/álcool etílico para alimentação de motores de ciclo Diesel foram preparadas com êxito por Kwanchareon *et. al.* (2006), Caetano (2003) e dos Santos (2005). Em todos os estudos, os autores obtiveram resultados positivos em relação à emissão de poluentes para a atmosfera, fato que, em tempos de exaustiva preocupação com a preservação do meio ambiente, mostra-se como uma excelente alternativa à utilização de um combustível puramente fóssil.

#### **4. CONCLUSÕES**

A utilização das misturas ternárias de biocombustíveis, nas condições e métodos de realização do experimento, foi eficiente na redução de emissão de material particulado presente nos gases de exaustão do motor de ciclo Diesel estudado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBEY, D. E.; NISHINO, N.; MCDONNELL, W. F.; BURCHETTE, R. J.; KNUTSEN, S. F.;

BEESON, W. L.; YANG, J. X. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *American Journal of Respiration and Critical Care Medicine*. v. 159, p. 373-382, 1999.

AJAV, E. A.; SINGH, B.; BHATTACHARYA, T. K. Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel. *Biomass and Bioenergy*. n. 17, p. 357-365, 1999.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel - a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. *Química Nova*, v. 27, n. 3, p. 472-482, 2003.

CAETANO, T. Estudo da miscibilidade de etanol com componentes do diesel e biodiesel. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas.

DEGOBERT, P. *Automobiles and Pollution*; ed. SAE Society of Automotive Engineers, Warrendale: United States of America, 1995.

DOCKERY D. W.; POPE C.A. III. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*. n. 15, p.107-132, 1994.

ECONOMY & ENERGY, Progressos na Matriz Energética e de Emissões de Gases Causadores do Efeito Estufa, Brasília, n. 25, Mar/Abr. 2001. Disponível em <<http://www.ecen.com>> Acesso em 15 maio de 2008.

FERNANDO S.; HANNA, M. Development of a novel biofuel blend using ethanol-biodiesel-diesel microemulsions. *Energy Fuel*, v.18, p. 1685-703, 2004.

FEITOSA, M. V. Desenvolvimento do motor de ignição por compressão alimentado por injeção direta de óleo diesel e por etanol pós vaporizado no coletor de admissão. 2003. 217f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.

GOERING, C. E.; CROWELL, T. J.; GRIFFITH, D. R.; JARRETT, M. W.; SAVAGE, L. D.



Compression-ignition, flexible-fuel engine. Transactions of the ASAE, v.35, n.2, p. 423-428, 1992.

GRABOSKI, M. S.; MCCORNICK, R. L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. Program Energy Combustion Science. n. 24, p.125-164, 1997.

HANSEN, A. C.; ZHANG, Q.; LYNE, P. W. L. Ethanol-diesel fuel blends a review. Bioresource Technology. n.. 96, p. 227-285, 2005.

HE, B. Q.; SHUAI, S. J.; WANG, J. X.; HE, H. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine. Atmospheric Environment. v. 37, p. 4965-4971, 1994.

HOLMER, E.; BERG, P. S; BERTILSSON, B. I. The utilization of alternative fuels in a Diesel engine using different methods. Society of Automotive Engineers, SAE paper 800544. 1980.

KWANCHAREON, P.; LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. Fuel. v.10, p. 1053-1061, 2006.

LIPFERT F. W. Air pollution and mortality: specification searches using SMSA-based data. Journal of Environmental Economics and Management. v. 11, p.208-243, 1984.

MA, F.; HANNA, M.A. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology. v. 70, p. 1-15, 1999.

MACEDO, I. C. Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Universidade Estadual de Campinas (NIPE). Campinas, jan. 2004.

MMA, LIMA/COPPE/UFRJ, FEEMA. Avaliação do Programa de Inspeção e Manutenção de veículos em uso do Rio de Janeiro. 2002.

MUÑHOZ, M.; MORENO, F.; MOREA, J. Emissions of an automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. Transactions of the ASAE. v. 47, n. 1, p. 5-11, 2004.

NEEFT, J. P. A.; MAKKEE, M.; MOULIJN, J. A. Diesel particulate emission control. Fuel Processing Technology, v. 47, p.1- 69. 1996.



PNA - Plano Nacional de Agroenergia. Caderno, n. 1, 118 p, 2005.

PEREZ, E. P.; CARVALHO JUNIOR, J. A.; CARROCCI, L. R.. Substituição do óleo diesel por álcool etílico hidratado na queima direta, uma comparação. In: AGRENER GD 6.; Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 2006, Campinas. Anais... 2006. v. 01, p. 01-09.

RABELO, I. D. Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.

SANTOS, M.A. dos. Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão. 2007. 123f. Dissertação (Mestrado – Programa interunidades de Pós-Graduação em energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHUMACHER, L. G.; MARSHALL, W.; KRAHL, J.; WETHEREL, W. B.; GRABOWSKI, M. S. Biodiesel emissions data from series 60 DDC Engines. Transactions of the ASAE. v. 44, n. 6, p. 1465-1468, 2001.

SHARP, C. A.; HOWELL, S. A.; JOBE, J. The effect of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines. Part 1, Regulated emissions and performance, SAE technology paper ser. 2000-01-1967, 2000.

SOUZA M. B.; SALDIVA P. H.; POPE C. A. 3rd, Capelozzi V. L. Respiratory changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution: a histopathologic study in humans. Chest. v. 113, n. 5, p. 1312-1318, 1998.