

Análise comparativa entre biodiesel filtrado e biodiesel destilado em trator agrícola

Comparative analysis of filtered and distilled biodiesel in an agricultural tractor

Gustavo Naves dos Reis¹, Afonso Lopes², Carlos Eduardo Angeli Furlani³, Miguel Joaquim Dabdoub⁴, Rouverson P. Silva², Danilo C. C. Grotta¹, Felipe Thomaz da Camara¹

Recebido em 16/05/2005; aprovado em 02/03/07.

RESUMO

A escassez de recursos naturais, aliada à crescente preocupação ambiental, força o homem a desenvolver alternativas energéticas provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis de caráter sustentável. Na busca de tais alternativas para o motor de ignição por compressão, o biodiesel destaca-se como opção de biocombustível produzido a partir da reação química de óleo vegetal e álcool anidro na presença de um catalizador. O objetivo deste trabalho foi comparar o consumo de combustível de um trator agrícola funcionando de maneira alternada com biodiesel filtrado e biodiesel destilado em operação de semeadura-direta. O experimento foi realizado em esquema fatorial, em blocos inteiramente casualizados, combinando-se sete proporções de mistura (B_0 , B_5 , B_{15} , B_{25} , B_{50} , B_{75} e B_{100}) e dois tipos de biodiesel (filtrado e destilado). Analisaram-se o consumo horário em unidade de volume ($L h^{-1}$) e massa ($kg h^{-1}$) e consumo específico ($g kWh^{-1}$). Os resultados mostraram não haver diferença no consumo específico quando o trator utiliza biodiesel filtrado ou destilado.

PALAVRAS-CHAVE: consumo de combustível, biocombustível, ensaio de trator.

SUMMARY

The scarcity of natural resources, in addition to the increasing concern about the environment, is forcing man kind to develop energy alternatives from

renewable and biodegradable sources of a sustainable nature. In the search for such alternatives for motors with ignition by compression, biodiesel rises as a biofuel option derived from the reaction of plant oils with anhydrous alcohol. The objective of the present study was to compare the fuel consumption of an agricultural tractor functioning of alternate form with filtered and distilled biodiesel in a direct planting operation. A factorial scheme with fully randomized blocks was used as experimental design, combining seven mixture proportions (B_0 , B_5 , B_{15} , B_{25} , B_{50} , B_{75} and B_{100}) and two types of biodiesel (filtered and distilled). Hourly consumption as a volume unit ($L h^{-1}$) and mass ($kg h^{-1}$) and specific consumption ($g kWh^{-1}$) were determined. The results showed no difference in the specific consumption when the tractor used filtered or distilled biodiesel.

KEY WORDS: fuel consumption, biofuel, tractor test.

INTRODUÇÃO

Devido à preocupação em agregar valores a produtos cultivados de forma orgânica ou mesmo utilizando práticas mecanizadas com o mínimo impacto ambiental, tem se procurado também alternativa energética renovável e, ao mesmo tempo, menos poluente. Do ponto de vista social, tais alternativas têm como atrativo o poder da geração de empregos e minimização do êxodo rural. Nesse caso, o biodiesel é uma alternativa para as condições brasileiras, pois,

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutorando da FCAV - UNESP, Campus de Jaboticabal, e-mail: gnrunesp@hotmail.com.

² Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, FCAV – UNESP, Campus de Jaboticabal.

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, FCAV – UNESP, Campus de Jaboticabal.

⁴ Químico Industrial, Prof. Doutor, Depto. de Química, FFCL – USP, Campus de Ribeirão Preto.

apesar da vocação agrícola e condições climáticas favoráveis, o país conta com amplas áreas potencialmente agrícolas desocupadas e grande número de desempregados. Espera-se que o consumo do biodiesel filtrado seja semelhante ao do biodiesel destilado, contudo, pressupõe-se que em maiores proporções de biodiesel haja discreto aumento no consumo de combustível, porém mantendo-se o mesmo desempenho do motor.

Em 1973, os acelerados e incontidos aumentos dos preços do petróleo geraram nova consciência mundial a respeito da produção e consumo de energia, especialmente quando originária de fontes não-renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis. Aquele ano representou um verdadeiro marco na história energética do planeta; desde então, no mundo, muitos esforços foram dedicados à superação da crise, os quais incidiram, basicamente, em dois grupos de ações, tais como: a conservação ou economia de energia e o uso de fontes alternativas de energia (PARENTE, 2003).

A crise energética, de acordo com Salazar (2002), vem forçando a busca de alternativas energéticas no mundo todo, resultando na realização de inúmeras pesquisas em outras fontes não dependentes do petróleo. A investigação do potencial combustível sobre os óleos vegetais constitui-se em uma dessas alternativas e vem apresentando resultados animadores.

Alguns ésteres de óleos vegetais, quando submetidos a um processo de transesterificação, apresentam características muito próximas às do diesel (composto por longas cadeias de hidrocarbonetos saturados). Nesse processo, o óleo vegetal reage com um álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador, formando um éster monoalquilado de ácidos graxos de cadeia longa, denominado de biodiesel (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2002).

Almeida (2000) define o biodiesel como sendo uma mistura de ésteres metílicos de ácidos graxos e ésteres como substâncias resultantes da reação de um ácido carboxílico com um álcool e ainda que ésteres metílicos de ácidos graxos derivam de reações de metanol com ácidos graxos (ácidos carboxílicos com número de átomos de carbono ao redor de 18). O autor explica, ainda, que ésteres

metílicos de ácidos graxos (biodiesel) são produzidos a partir de substâncias contidas nos óleos vegetais, como óleo de mostarda, de girassol ou de soja, sendo o diesel, combustível extraído do petróleo, uma mistura de hidrocarbonetos com 15 a 24 átomos de carbono.

Peterson et al. (1996) testaram um biodiesel do tipo etílico filtrado, produzido à base de sementes de colza, em um veículo movido a diesel sem efetuar alteração no motor. Os testes foram executados em laboratório, utilizando-se do veículo em viagens pelas estradas norte-americanas, percorrendo um total de 14.069 km. Os autores observaram que, quando se utilizou 100% de biodiesel, a potência do motor foi reduzida em 1,8%, ao mesmo tempo que aumentou o consumo em 8,9% para uma rotação média de 2.500 rpm, porém nenhum problema foi observado no veículo.

Utilizando-se de motor diesel de injeção direta, de um cilindro e sem adaptações, Rabelo (2001) observou que a mistura de biodiesel e diesel resultou num aumento discreto de potência e torque quando se aumentou a proporção de biodiesel no diesel, principalmente para faixas de rotações mais baixas. O consumo específico dessas misturas, porém, apresentou-se levemente mais elevado e a adição de biodiesel de óleo de fritura usado ao diesel resultou numa melhoria do rendimento para rotações acima de 1.800 rpm.

Estudando biodiesel etílico de óleo residual de soja em trator agrícola, em operação de gradagem, Lopes et al. (2004) observaram que o uso de biodiesel até a proporção de 50% de mistura não alterou o consumo; entretanto, quando o trator funcionou com 100% de biodiesel, não se observaram anomalias no funcionamento, embora o consumo de combustível tenha aumentado em 11%.

Ensaio realizados com mistura de biodiesel ao diesel comprovam o potencial dessa alternativa, sendo sugerida uma proporção de até 20%, mesmo considerando o aumento no consumo decorrente do balanço desfavorável entre o maior número de cetano e menor poder calorífico inferior, o biodiesel demonstra-se viável tecnicamente (OLIVEIRA; COSTA, 2002).

O objetivo do presente trabalho foi comparar o consumo de combustível de um trator agrícola fun-

cionando de maneira alternada com biodiesel filtrado e destilado em operação de semeadura direta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal - SP, localizada nas coordenadas geográficas 21° 15' sul e 48° 18' oeste, altitude média de 570 m, declividade média de 4% e clima Cwa (subtropical), de acordo com a classificação de Köppen. Sobre o solo da área experimental, anteriormente ocupado por restos culturais de soja, efetuou-se o plantio direto de mucuna (*Mucuna* sp.), crotalária (*Crotalária juncea* L.) e guandú (*Cajanus cajan* L.).

O solo da área experimental foi classificado, segundo EMBRAPA (1999), como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, textura argilosa, A moderado caulínítico vídeco, relevo suave ondulado, com teor de água no dia dos ensaios de 19; 14 e 14% nos perfis de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, respectivamente, e valores da análise granulométrica da camada de 0-20 cm para argila, limo, areia fina e grossa de 510; 290; 100 e 100 g kg⁻¹, respectivamente.

Cada parcela experimental ocupava uma área de 78,75 m² (25 x 3,15 m) e entre parcelas, no sentido longitudinal, foi reservado espaço de 15 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização das determinações, ilustrado conforme Figura 1.

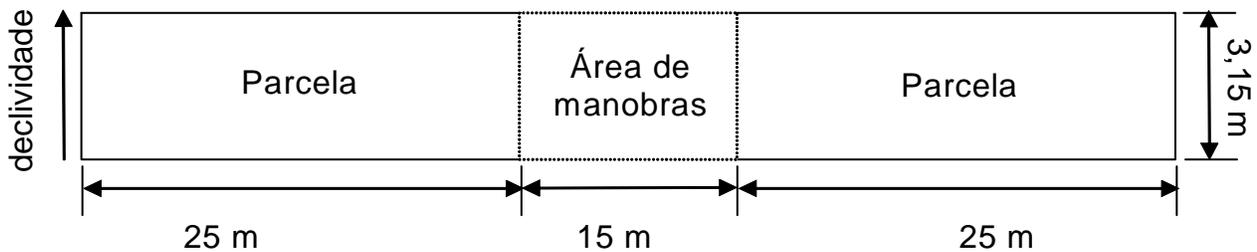


FIGURA 1. Esquema das parcelas experimentais.

Utilizou-se de um trator VALTRA, modelo BM 100, 4x2 TDA, com potência de 73,6 kW (100 cv) no motor e, com o intuito de oferecer resistência à barra de tração do trator de teste, utilizou-se de semeadora-adubadora de arrasto, configurada para

plantio-direto de marca MARCHESAN, modelo Cop-Suprema, com sete linhas de semeadura.

Para o ensaio, utilizaram-se dois tipos de biodiesel - o primeiro do tipo etílico filtrado e o segundo do tipo etílico destilado - ambos produzidos com óleo residual de frituras, coletados no restaurante universitário da UNESP, Campus de Jaboticabal - SP. O processo de produção do biodiesel ficou a cargo do Laboratório do Departamento de Química (LADETEL - Laboratório de Tecnologias Limpas) da Universidade de São Paulo, Campus de Ribeirão Preto - SP.

Para a obtenção da força de tração média na barra, utilizou-se de célula de carga da marca M. SHIMIZU, modelo TF 400, com capacidade máxima de 100 kN.

O consumo de combustível foi medido com a utilização de um protótipo descrito por Lopes et al. (2003), que consiste em dois medidores de fluxo instalados em série a dois medidores de temperatura para quantificar o débito de combustível e a temperatura do mesmo no momento dos ensaios. Esse protótipo conta com três depósitos auxiliares de biodiesel para não contaminar o tanque original e filtragem independente.

Durante os ensaios, todos os sensores enviavam os dados a um sistema de aquisição do tipo "micrologger" CR23X, de marca CAMPBELL SCIENTIFIC, programado para receber os sinais em frequência de dez dados por segundo.

Para o cálculo do consumo horário e do consumo específico (consumo em função da potência na

barra), foi necessário determinar a densidade em função da temperatura. Realizou-se um ensaio prévio do combustível, em que o mesmo foi aquecido, determinando-se, assim, a densidade em intervalos de 5 °C, numa amplitude de 10 a 70 °C. Terminando-se esse

procedimento, os dados foram ajustados a modelos de regressão linear, tendo como resposta a densidade em função da temperatura e da proporção de mistura biodiesel x diesel (equações 1 e 2).

| | | |
|---|----------------|-----|
| $DB_F = 847,8786 - 0,6559 * T + 0,3788 * P$ | $R^2 = 0,9957$ | (1) |
| $DB_D = 847,6765 - 0,6487 * T + 0,1659 * P$ | $R^2 = 0,9878$ | (2) |

em que:

DB_F = equação de densidade para o biodiesel filtrado;

DB_D = equação de densidade para o biodiesel destilado;

T = temperatura do combustível no momento do ensaio, e

P = proporção de mistura de biodiesel no diesel de petróleo.

O consumo horário em volume foi determinado com base no volume de combustível consumido no percurso. No caso do consumo horário em massa, considerou-se a influência da temperatura na densidade do combustível no momento do teste.

Para o cálculo em volume, utilizou-se da seguinte equação:

$$Chv = \frac{C * 3,6}{t} \quad (3)$$

em que:

Chv = consumo horário (L h⁻¹);

C = volume consumido (mL);

t = tempo de percurso na parcela (s), e

3,6 = fator de conversão.

Para o cálculo em massa, utilizou-se da seguinte equação:

$$Chm = Chv * \frac{DBn}{1000} \quad (4)$$

em que:

Chm = consumo horário (kg h⁻¹);

Chv = consumo horário (L h⁻¹);

DBn = densidade determinada pelas equações (1) e (2), e

1000 = fator de conversão.

Para a determinação do consumo específico, ou seja, consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração, utilizou-se a seguinte equação:

$$CE = \frac{Chm}{PB} \quad (5)$$

em que:

CE = consumo específico (g kWh⁻¹), e

PB = potência na barra de tração (kW).

Para o cálculo da potência na barra, utilizou-se a força obtida em kN multiplicada pela velocidade em m s⁻¹.

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 7x2, combinando-se sete proporções de mistura de biodiesel e diesel (B₀, B₅, B₁₅, B₂₅, B₅₀, B₇₅ e B₁₀₀), com dois tipos de biodiesel (filtrado e destilado), originando 14 tratamentos com quatro repetições, totalizando 56 observações. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados na forma de tabelas, nas quais, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Médias com ausência de letras na Tabela 1, implicam interação significativa entre os fatores e, nesse caso, a discussão será auxiliada por outra tabela de desdobramento.

De acordo com a Tabela 1, observa-se que o consumo específico foi semelhante para os dois tipos de biodiesel. Para o fator mistura, nota-se semelhança de consumo de B₀ a B₂₅, sendo B₂₅ ainda seme-

lhante a B_{50} , embora B_{50} foi maior que B_0 , B_5 e B_{15} e menor que B_{75} , sendo essa última menor que concorda com os resultados de Lopes et al. (2004), em que os autores também avaliaram o consumo específico utilizando biodiesel filtrado em operação de gradagem. Esse aumento de consumo nas maiores porcentagens de biodiesel na mistura pode ser explicado em função do menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel de petróleo.

Analisando-se o fator mistura em cada tipo de biodiesel (Tabela 2), observa-se que, para B_5 e B_{15} , ocorreu diferença de consumo horário, expresso em volume, entre os tipos de biodiesel, evidenciando-se vantagem para o biodiesel filtrado, sendo os resultados semelhantes para as demais misturas. Analisando-se o fator biodiesel em cada mistura, no tipo filtrado, B_0 foi semelhante em todas as misturas, embora B_{25} diferiu de B_5 , B_{15} e B_{50} . Para o caso do tipo destilado, B_0 foi semelhante a B_5 , B_{15} , B_{25} e B_{50} , porém B_5 e B_{25} foram semelhantes a B_{75} , sendo B_{25} e B_{75} semelhantes a B_{100} . O aumento de consumo ocorreu de B_0 para B_{100} , concordando com os resultados

obtidos por Lopes et al. (2004, Rabelo (2001) e Peterson et al. (1996). A explicação para o comportamento do consumo horário é a mesma do consumo específico.

Analisando-se o fator mistura em cada tipo de biodiesel (Tabela 3), detecta-se que, para B_5 e B_{15} , ocorreu diferença de consumo horário em massa entre os tipos de biodiesel, evidenciando-se vantagem para o biodiesel filtrado. Para as demais misturas, os resultados foram semelhantes. Analisando-se o fator biodiesel em cada mistura, no tipo filtrado, B_0 foi semelhante a B_5 , B_{15} , B_{25} , B_{50} e B_{75} , porém, nesse grupo, B_5 e B_{15} diferiram de B_{25} , B_{50} e B_{75} , observando-se, também, semelhança entre B_{25} , B_{75} e B_{100} . Considerando-se o biodiesel destilado, B_0 foi semelhante a B_5 , B_{15} , B_{25} e B_{50} , porém, pode ser observado que B_5 foi semelhante a B_{75} . Outra observação é que B_{25} foi semelhante a todas as misturas, incluindo B_{100} , que também foi semelhante a B_{75} . O aumento de consumo ocorreu de B_0 para B_{100} , concordando com os resultados obtidos por Lopes et al. (2004), Rabelo (2001) e Peterson et al. (1996).

Tabela 1- Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis de consumo específico e consumo horário em volume e em massa.

| FATORES | Consumo Específico (g kW h ⁻¹) | Consumo Horário (L h ⁻¹) | Consumo Horário (kg h ⁻¹) |
|----------------------|---|---|--|
| BIODIESEL (B) | | | |
| Filtrado | 348 A * | 11,0 | 9,3 |
| Destilado | 348 A | 11,9 | 9,6 |
| MISTURA (M) | | | |
| B_0 | 328 A | 11,2 | 8,9 |
| B_5 | 332 A | 11,0 | 8,8 |
| B_{15} | 333 A | 10,8 | 8,8 |
| B_{25} | 341 AB | 12,0 | 9,8 |
| B_{50} | 350 B | 11,0 | 9,2 |
| B_{75} | 366 C | 11,9 | 10,0 |
| B_{100} | 386 D | 12,3 | 10,5 |
| TESTE F | | | |
| B | 0,1 NS | 52,3 ** | 5,7 * |
| M | 38,1 ** | 13,0 ** | 22,1 ** |
| B x M | 0,6 NS | 3,2 * | 2,6 * |
| C.V. % | 2,8 | 4,2 | 4,4 |

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

NS: não significativo ($P > 0,05$)

*: significativo ($P < 0,05$)

**: significativo ($P < 0,01$)

C.V.: coeficiente de variação

B_0 = 0% biodiesel + 100% diesel; B_5 = 5% biodiesel + 95% diesel; ...; B_{100} = 100% biodiesel + 0% diesel.

Tabela 2 - Interação entre os fatores proporção de mistura e tipo de biodiesel para o consumo horário expresso em volume (L h⁻¹).

| MISTURA | TIPO DE BIODIESEL | | | |
|------------------|-------------------|---|-----------|---|
| | FILTRADO | | DESTILADO | |
| B ₀ | 11,2 ABC* | b | 11,2 A | b |
| B ₅ | 10,3 A | a | 11,7 AB | b |
| B ₁₅ | 10,3 A | a | 11,4 A | b |
| B ₂₅ | 11,8 C | b | 12,3 ABC | b |
| B ₅₀ | 10,7 AB | b | 11,2 A | b |
| B ₇₅ | 11,2 ABC | b | 12,7 BC | b |
| B ₁₀₀ | 11,5 BC | b | 13,1 C | b |

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, e em cada linha, médias seguidas de mesmas letras minúsculas, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

B₀ = 0% biodiesel + 100% diesel; B₅ = 5% biodiesel + 95% diesel; ...; B₁₀₀ = 100% biodiesel + 0% diesel.

Tabela 3 - Interação entre os fatores mistura e tipo de biodiesel para a variável consumo horário expresso em massa (kg h⁻¹).

| MISTURA | TIPO DE BIODIESEL | | | |
|------------------|-------------------|---|-----------|---|
| | FILTRADO | | DESTILADO | |
| B ₀ | 8,9 AB | b | 8,9 A | b |
| B ₅ | 8,3 A | a | 9,3 AB | b |
| B ₁₅ | 8,4 A | a | 9,1 A | b |
| B ₂₅ | 9,8 BC | b | 9,8 ABC | b |
| B ₅₀ | 9,4 B | b | 9,0 A | b |
| B ₇₅ | 9,9 BC | b | 10,2 BC | b |
| B ₁₀₀ | 10,4 C | b | 10,6 C | b |

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, e em cada linha, médias seguidas de mesmas letras minúsculas, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

B₀ = 0% biodiesel + 100% diesel; B₅ = 5% biodiesel + 95% diesel; ...; B₁₀₀ = 100% biodiesel + 0% diesel.

Esse resultado de consumo horário expresso em massa, embora pouco visual, tem a vantagem de não sofrer influência da expansão do combustível em função da temperatura.

CONCLUSÃO

O tipo de biodiesel, filtrado ou destilado, não influenciou no consumo específico de combustível. O incremento de biodiesel no diesel aumentou o consumo específico a partir de B₅₀ até B₁₀₀ em 7 e 18%, respectivamente, e nessa avaliação, os fatores tipo

de biodiesel e mistura foram independentes.

O consumo horário apresentou diferença entre misturas e tipo de biodiesel, mostrando dependência entre esses fatores.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e à FUNDUNESP, pelo financiamento do trabalho; à Coopercitrus e à Valtra do Brasil, pela concessão do trator de testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Biodiesel:** novas perspectivas de sustentabilidade. Rio de Janeiro, 2002. 27 f.
- ALMEIDA, R. Biodiesel: Caminhão com mostarda. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 17 out., 2000. Resumão/Química, p. 7.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.
- LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; MELLO, J.G.S. Protótipo de sistema instrumental para medição de consumo de combustível em tratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS SOCIEDADES BRASILEIRAS DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E À AGROINDÚSTRIA, 4., 2003, Porto Seguro. **Anais ...** Porto Seguro: Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 2003. 1 CD-ROM
- LOPES, A. et al. Biodiesel etílico de óleo residual: consumo de combustível de um trator agrícola em função do percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3., 2004, Belém. **Anais ...** Belém : Associação Brasileira de Engenharia Mecânica, 2004. 1 CD-ROM
- OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. da. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Energia, 2002. v.1, p.445-53.
- PARENTE, E.J.S. **Biodiesel:** Uma aventura tecnológica em um país engraçado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2003. 65 p.
- PETERSON, L. et al. Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel - a case study. **Biomass and Bioenergy**, Moscow, v.10, n. 5/6, p. 331, 1996.
- RABELO, I.D. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura**. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2001.
- SALAZAR, E. **Óleos vegetais:** combustíveis alternativos. Cidade Virtual: Bionline. Pelotas, dez. 2002. Disponível em <<http://www.terra-cidadevirtual.html>>. Acesso em: 19 dez. 2002.