

BIODIESEL ETÍLICO DE ÓLEO RESIDUAL: CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE MISTURA BIODIESEL E DIESEL E DE PETRÓLEO

AFONSO LOPES, UNESP, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, 14884-900, e-mail: afonso@fcav.unesp.br

DANILO CESAR CHECCHIO GROTTA, UNESP, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, 14884-900

CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
FELIPE THOMAZ DA CAMARA
MIGUEL JOAQUIM DABDOUB
GABRIELA RAMOS HURTADO

Resumo. *O experimento foi realizado na FCAV-UNESP, Jaboticabal, e utilizou-se um trator 4x2 TDA de 73,6 kW (100 cv) de potência no motor e grade aradora. O biodiesel utilizado foi do tipo etílico, filtrado, produzido a base de óleo residual. O delineamento experimental foi blocos casualizados em esquema fatorial (5x4) onde combinou-se 5 proporções de mistura biodiesel e diesel de petróleo (0 e 100%, 25 e 75%, 50 e 50%, 75 e 25% e 100 e 0%), com 4 velocidades de deslocamento (2,7, 4,3, 6,0 e 6,7 km h⁻¹). Avaliou-se o consumo hora (L h⁻¹), consumo hora (kg h⁻¹) e o consumo específico (g kWh⁻¹). Os resultados evidenciaram 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 observou-se anomalia no funcionamento, embora o consumo de combustível tenha aumentado em 11%.*

Palavras-Chave: *biodiesel etílico, consumo de combustível, trator agrícola*

1. INTRODUÇÃO

Segundo DABDOUB (2003), um fator que merece destaque é que a utilização do biodiesel, obtidos de fontes 100% renováveis, deverá ser responsável pelo ingresso de divisas devido à venda de cotas de carbono, conforme contemplado no protocolo de Kyoto. De acordo com o autor, as cotas de carbono poderão ser vendidas para outros países já que o uso de biodiesel diminui a poluição, reduzindo a emissão de gases causadores do efeito estufa e que, além disso, o incremento na área de plantio (soja, cana, etc.) será responsável pela retirada de grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera aumentando o número de cotas de carbono a serem negociadas.

Testes preliminares com biodiesel de óleo usado em frituras foram realizados em ônibus do transporte coletivo da cidade de Curitiba, cedido pela Prefeitura Municipal por meio da Companhia de Urbanização (URBS) utilizado em ônibus com motor turbinado e potência de 238 CV. O ônibus percorreu 915 km em condições normais de trabalho, utilizando 20 % de biodiesel e 80 % de diesel convencional. O teste foi realizado em duas etapas e apresentou desempenho normal, exceto por um

leve odor de óleo de frituras expelido pelo escapamento. A média de consumo de biocombustível ($2,1 \text{ km L}^{-1}$) esteve na faixa de normalidade para veículos desse porte, que normalmente utilizam óleo diesel puro (ZAGONEL et al., 1999).

Utilizando-se de um motor de ciclo 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 destas misturas, porém, se apresentou levemente mais elevado e a adição de BOUF ao diesel resultou numa melhoria do rendimento para rotações acima de 1.800 rpm.

LAFORGIA & ARDITO (1995) utilizaram um motor de ciclo diesel estacionário para comparação de três tipos de combustíveis, sendo os quais: diesel de petróleo, óleo cru de sementes de colza e um combustível misto de biodiesel feito à partir do óleo de colza cru acrescido de 10% de metanol. Os testes realizados em dinamômetro de bancada revelaram decréscimo de potência ao redor de 5% quando o motor trabalhava em alta rotação movido a óleo cru e combustível misto, fato este que pode ser explicado, segundo os autores, pelo menor poder calorífico e maior densidade observado nos combustíveis em questão quando comparados ao diesel tradicional; outro dado observado foi o aumento de consumo observado quando utilizou-se combustível misto, sendo ainda maior o consumo de óleo cru quando comparados ao consumo de diesel.

De acordo com LOPES et al. (2003), o consumo de diesel num trator 4x2 TDA com 121 cv no motor tem os seguintes valores: consumo hora ($13,65 \text{ kg/L}$) e consumo específico ($553,67 \text{ g/kWh}$). O autor ainda conclui que o consumo de combustível é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o consumo de biodiesel de um trator em operação de preparo do solo com grade aradora variando a proporção de mistura (%biodiesel – %diesel de petróleo) combinado com quatro velocidades de deslocamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na FCAV-UNESP, Jaboticabal-SP. O local do presente trabalho apresentava solo desprovido de vegetação, com localização geográfica definida pelas coordenadas $21^{\circ}15'22''$ de latitude Sul e $48^{\circ}18'58''$ de longitude Oeste de Greenwich. Apresenta altitude média de 570 m e clima Cwa (subtropical), de acordo com a classificação de Köppen.

O solo da área experimental é classificado por ANDRIOLI & CENTURION (1999) como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura muito argilosa, A moderado, caulinitico-oxálico, relevo suave ondulado. No momento dos testes a média de teor de água no solo foi 10,1 % e 13,2 % nas camadas de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm respectivamente.

O trator de teste foi um modelo BM 100 Valtra, 4x2 TDA, com potência de 73,6 kW (100 cv) no motor e massa de 5.400 kg. Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator, foi acoplada a uma grade aradora de arrasto, com 16 discos recortados de 609,6 mm (24 polegadas) de diâmetro. Nessa operação o trator foi utilizado em rotação máxima livre.

O biodiesel utilizado no ensaio foi do tipo etílico, filtrado e produzido a base de óleo residual no Departamento de Química (LADETEL) da USP, Ribeirão Preto. O óleo residual foi coletado no restaurante universitário da FCAV - UNESP de Jaboticabal.

A tecnologia do processo de esterificação e purificação do biodiesel foi desenvolvida pelo LADETEL (Laboratório de Tecnologias Limpas) da USP, Ribeirão Preto.

2.1. Instrumentação do Trator de Teste

Para determinar a força de tração na barra utilizou-se uma célula de carga (M. SHIMIZU, modelo TF400) com capacidade máxima de medição de 100 kN. Para medir o consumo de combustível utilizou-se um protótipo conforme descrito em LOPES 2003. Tal protótipo tem 2 medidores de fluxo instalados em série com 2 medidores de temperatura. A velocidade real de deslocamento foi obtida por meio de um radar (modelo RVS II) variando-se as marchas de trabalho. Todos os sensores enviaram os sinais a um sistema de aquisição de dados (micrologger CR23X). Sendo o mesmo programado para obter dados numa frequência de 10 leituras por segundo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x4 (5 proporções de mistura e 4 velocidades de deslocamento), totalizando 20 tratamentos com 4 repetições. As proporções de mistura biodiesel e diesel de petróleo foram [B₀ (0 e 100 %), B₂₅ (25 e 75%), B₅₀ (50 e 50%), B₇₅ (75 e 25%) e B₁₀₀ (100 e 0%)] e, as velocidades de deslocamento [2,7 km h⁻¹ (V₁), 4,3 km h⁻¹ (V₂), 6,0 km h⁻¹ (V₃) e 6,7 km h⁻¹ (V₄)]. Cada parcela experimental teve comprimento de 20 m e entre as parcelas, no sentido longitudinal, reservou-se um intervalo de 15 m, cuja finalidade foi realizar manobras, trânsito de equipamentos e estabilizar as determinações.

2.2. Consumo Horário

O protótipo utilizado para determinar consumo em todas as parcelas forneceu valores expressos em mL/segundo referentes ao débito da bomba injetora e ao retorno dos bicos respectivamente. Por meio da diferença entre os valores obteve-se o volume realmente consumido pelo trator durante o percurso da parcela.

Com base nesse valor foi calculado o consumo horário em volume e, para isso utilizou-se a Eq.(1):

$$Ch.v = \frac{C * 3,6}{t} \quad (1)$$

em que:

$Ch.v$ = consumo horário (L h⁻¹);

C = volume consumido (mL);

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

3,6 = fator de conversão.

Para obtenção do consumo horário expresso em massa, foi necessário determinar a densidade em função da temperatura nas cinco proporções de mistura. A temperatura do combustível foi monitorada nos mesmos pontos onde foram realizadas medidas de fluxo. A densidade foi determinada no intervalo de temperatura de 10 a 70 °C, em passos de 5 em 5 °C. Por meio de análise de regressão, obtida por meio de análise estatística, chegou-se às Eq.(2, 3, 4, 5 e 6).

$$DB0 = 851,04 - 0,06970 * T \quad R^2 = 0,97 \quad (2)$$

$$DB25 = 852,08 - 0,05950 * T \quad R^2 = 0,91 \quad (3)$$

$$DB50 = 875,60 - 0,06141 * T \quad R^2 = 0,96 \quad (4)$$

$$DB75 = 882,34 - 0,05484 * T \quad R^2 = 0,91 \quad (5)$$

$$DB100 = 881,10 - 0,05271 * T \quad R^2 = 0,93 \quad (6)$$

Para o cálculo do consumo hora expresso em massa utilizou-se a Eq. (7).

$$Ch.m = Ch.v * \frac{DBn}{1000} \quad (7)$$

em que:

$Ch.m$ = consumo horário (kg h^{-1});

$Ch.v$ = consumo horário (L h^{-1});

DBn = equação de regressão de cada proporção de mistura do combustível,e

1000 = fator de conversão.

2.3. Consumo Específico

Esta variável expressa o consumo de combustível em unidade de massa por unidade de potência na barra de tração por unidade de potência na barra de tração e foi calculado com a seguinte equação:

$$CE = \frac{DBn * Ch.v(n)}{PB} \quad (8)$$

em que:

CE = consumo específico (g kW h^{-1});

DBn = densidade do combustível (n) em função da temperatura (g L^{-1});

$Ch.v(n)$ = consumo horário para o combustível (n) (L h^{-1}), e

PB = potência média na barra de tração (kW).

A potência média na barra de tração foi determinada de forma indireta; para tal utilizou-se a Eq.(9):

$$PB = FT * v \quad (9)$$

em que,

PB = potência média na barra de tração (kW);

FT = força média de tração na barra (kN);

v = velocidade real de deslocamento (m/s).

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade, conforme PIMENTEL GOMES (1987).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese da análise de variação e Teste de médias encontra-se na Tabela 1 e, para interpretar os resultados deve-se observar que a ausência de letras comparativas implica em interação significativa, e neste caso, será explicado por uma tabela complementar de desdobramento.

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

| Fatores | Consumo Horário (L h ⁻¹) | Consumo Horário (kg h ⁻¹) | Consumo Específico (g kW h ⁻¹) |
|-----------------------|---|--|---|
| PROPORÇÃO (P) | | | |
| B ₀ | 13,11 | 11,02 | 617 a |
| B ₂₅ | 12,64 | 10,66 | 599 a |
| B ₅₀ | 12,56 | 10,94 | 596 a |
| B ₇₅ | 12,85 | 11,23 | 673 b |
| B ₁₀₀ | 13,75 | 12,05 | 687 b |
| VELOCIDADE (V) | | | |
| V ₁ | 10,00 | 8,65 | 824 a |
| V ₂ | 12,12 | 10,47 | 662 b |
| V ₃ | 14,87 | 12,78 | 556 c |
| V ₄ | 14,95 | 12,84 | 498 d |
| TESTE F | | | |
| P | 6,08 ** | 10,10 ** | 11,01 ** |
| V | 189,43 ** | 185,64 ** | 154,68 ** |
| PxV | 4,69 ** | 4,56 ** | 1,82 NS |
| C.V.% | 5,98 | 5,92 | 8,14 |

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula 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

3.1. Consumo Horário em Volume (L h⁻¹)

Pela Tabela (1) percebe-se que ocorreu interação significativa entre os fatores avaliados e a Tab.(2) ilustra os dados desta interação.

Tabela 2. Interação entre os fatores proporção de mistura e velocidade para a variável consumo horário em volume (L h⁻¹).

| Proporção | Velocidade | | | |
|------------------|--|--|---|--|
| | V ₁ (2,7 km h ⁻¹) | V ₂ (4,3 km h ⁻¹) | V ₃ (6,0km h ⁻¹) | V ₄ (6,7 km h ⁻¹) |
| B ₀ | 9,90 a A | 11,93 ab B | 15,08 ab C | 15,53 a C |
| B ₂₅ | 9,38 a A | 11,48 b B | 13,53 c C | 16,18 a D |
| B ₅₀ | 9,85 a A | 11,63 ab B | 14,03 bc C | 14,75 ab C |
| B ₇₅ | 10,20 a A | 12,45 ab B | 15,45 ab B | 13,30 b C |
| B ₁₀₀ | 10,63 a A | 13,10 a B | 16,30 a C | 14,98 a C |

- Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e em cada linha médias seguidas de mesma letra maiúscula e não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se o fator proporção dentro de cada fator velocidade, verifica-se que para a velocidade V₁ ocorreu semelhança estatística entre todas as proporções; na velocidade V₂, ocorreu semelhança nas proporções B₀, B₂₅, B₅₀ e B₇₅, entretanto, B₂₅ diferiu de B₁₀₀, sendo esta última semelhante às demais. Na velocidade V₃, B₂₅ foi semelhante a B₅₀ que apresentou-se semelhante a B₀ e B₇₅, que por sua vez

não diferiram de B₁₀₀; em V₄, B₀, B₂₅, B₅₀ e B₁₀₀ foram semelhantes, mas apenas B₅₀ foi semelhante a B₇₅.

Analisando-se a velocidade dentro de cada fator proporção de mistura, verifica-se que para as condições B₀, B₅₀ e B₁₀₀, houve diferença significativa entre V₁, V₂ e V₃, com V₃ não diferindo de V₄. Na proporção B₂₅ houve diferença significativa entre todas as velocidades ensaiadas, sendo um consumo crescente, de V₁ para V₄. Para B₇₅, V₁ foi diferente de V₂, V₂ foi semelhante a V₃ e, V₄ diferente das demais.

3.2. Consumo Horário em Massa (kg h⁻¹)

Na Tabela (1) verifica-se a síntese da análise de variância e do Teste de médias, onde observa-se a influência significativa dos fatores proporção e velocidade, e ainda a interação entre ambos quanto ao consumo horário em kg/h.

Tabela 3. Interação entre os fatores proporção de mistura e velocidade para a variável consumo horário em massa (kg h⁻¹).

| Proporção | Velocidade | | | |
|------------------|--|--|---|--|
| | V ₁ (2,7 km h ⁻¹) | V ₂ (4,3 km h ⁻¹) | V ₃ (6,0km h ⁻¹) | V ₄ (6,7 km h ⁻¹) |
| B ₀ | 8,38 ab A | 10,03 b B | 12,65 bc C | 13,05 a C |
| B ₂₅ | 7,95 b A | 9,75 b B | 11,38 c C | 13,58 a D |
| B ₅₀ | 8,60 ab A | 10,13 b B | 12,18 bc C | 12,88 ab C |
| B ₇₅ | 8,95 ab A | 10,90 ab B | 13,48 ab B | 11,60 b C |
| B ₁₀₀ | 9,38 a A | 11,53 a B | 14,23 a C | 13,08 a C |

- Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e em cada linha médias seguidas de mesma letra maiúscula e não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se a proporção dentro de cada velocidade observa-se que em V₁, B₀, B₂₅, B₅₀ e B₇₅ foram semelhantes estatisticamente, entretanto B₂₅ foi diferente de B₁₀₀ e esta foi semelhante às demais. Em V₂, B₀, B₂₅, B₅₀ e B₇₅ foram semelhantes, e B₇₅ também foi semelhante à B₁₀₀. Em V₃, B₀, B₂₅ e B₅₀ foram semelhantes, sendo B₅₀ semelhante a B₇₅, sendo B₇₅ também semelhante a B₀ e B₁₀₀. Em V₄, B₀, B₂₅, B₅₀ e B₁₀₀ foram semelhantes, entretanto B₅₀ foi semelhante a B₇₅.

Analisando-se a velocidade dentro de cada fator proporção de mistura, verifica-se que para as condições B₀, B₅₀ e B₁₀₀, houve diferença significativa entre V₁, V₂ e V₃, com V₃ não diferindo de V₄. Na proporção B₂₅ houve diferença significativa entre todas as velocidades ensaiadas, sendo um consumo crescente, de V₁ para V₄. Para B₇₅, V₁ foi diferente de V₂, V₂ foi semelhante a V₃ e, V₄ diferente das demais.

3.3. Consumo Específico

Pela Tabela (1) verifica-se que não ocorreu interação significativa entre os fatores, dessa forma analisando o fator proporção de mistura, observar-se que o consumo específico foi semelhante para B₀, B₂₅ e B₅₀. Observou-se também que B₇₅ foi estatisticamente semelhante a B₁₀₀.

Para o fator velocidade notou-se consumo específico diferente e decrescente de V₁ para V₄; tal comportamento de consumo está de acordo com LAFORGIA & ARDITO (1995).

4. CONCLUSÕES

- O incremento de biodiesel até o limite de 50% misturado ao diesel de petróleo não alterou o consumo específico do trator;
- O uso de biodiesel como combustível nas proporções de 5 a 100% não comprometeu o funcionamento do trator, entretanto, quando utilizado 100% de biodiesel, o consumo teve um aumento médio de 11%;
- Sempre que possível, utilizar-se o consumo específico para comparar tratamentos; pois nessa modalidade contempla-se a o efeito da temperatura e da potência convertida;
- O uso de biodiesel como combustível e ou aditivo é uma alternativa viável, mas necessita da continuidade dos estudos, e para tal fim, apoio governamental e de instituições privadas seriam de enorme valia.

5. AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo incentivo financeiro em todas as fases do projeto, a FUNDUNESP pelo apoio complementar ao projeto e à COOPERCITRUS e VALTRA do Brasil pela disponibilidade do trator de testes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOLI, I., CENTURION, J.F. **Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. Anais, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM).
- DABDOUB, M. J. Uso de novos combustíveis permitirá a redução das importações de diesel em no mínimo 33%. São Paulo, 2003. 4p. Disponível em: [http:// www.dabdoub-labs.com.br](http://www.dabdoub-labs.com.br).
- LAFORGIA, L.; ARDITO, V. Biodiesel fueled IDI engines: performances, emissions and heat release investigation. **Bioresource Technology**, Bari, Itália, n. 51, p. 53-9, 1995.
- LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho em condição de preparo do solo com escarificador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.375-379, 2003.
- LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Protótipo de sistema instrumental para medição do consumo de combustível em tratores. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA A AGROPECUÁRIA E A AGROINDÚSTRIA., 4, 2003, Porto Seguro. *Anais...* Lavras: Sociedade Brasileira de Informática Aplicada a Agropecuária e a Agroindústria, 2003. 1 CD.
- PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 162p.
- 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.
- ZAGONEL, G.; COSTA NETO, P. R.; RAMOS, L. P.; In: **Anais do Congresso Brasileiro de Soja**; Centro Nacional de Pesquisa de Soja; Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária; Londrina, PR, 17 a 20 de maio, 1999; p. 342 .

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

ETHYL BIODIESEL OF RESIDUAL OIL: CONSUMPTION OF FUEL OF AN AGRICULTURAL TRACTOR IN FUNCTION OF THE PERCENTILE OF MISTURA BIODIESEL AND DIESEL AND OF PETROLEUM

AFONSO LOPES, UNESP, Department of Rural Engineering, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, 14884-900, e-mail: afonso@fcav.unesp.br

DANILO CESAR CHECCHIO GROTTA, UNESP, Department of Rural Engineering, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, 14884-900

CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
FELIPE THOMAZ DA CAMARA
MIGUEL JOAQUIM DABDOUB
GABRIELA RAMOS HURTADO

***Abstract.** The experiment was accomplished in FCAV-UNESP, Jaboticabal, and a tractor 4x2 TDA of 73,6 kW was used (100 cv) of potency in the motor and harrow. The used biodiesel was of the ethyl type, filtrate, produced the base of residual oil. The experimental delineamento was blocks casualizados in factorial outline (5x4) where he/she combined 5 proportions of mixture biodiesel and diesel of petroleum (0 and 100%, 25 and 75%, 50 and 50%, 75 and 25% and 100 and 0%), with 4 displacement speeds (2,7, 4,3, 6,0 and 6,7 km h⁻¹). the consumption hour was Evaluated (L h⁻¹), I consummate hour (kg h⁻¹) and the specific consumption (g kWh⁻¹). The results evidenced that the biodiesel use to the proportion of 50% of mixture didn't alter the consumption, however when the tractor worked with 100% of biodiesel anomaly it was not observed in the operation, although the consumption of fuel has increased in 11%.*

***Keywords:** ethyl biodiesel, consumption of fuel, agricultural tractor*