

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DE BIODIESEL DE MAMONA NO DIESEL INTERIOR E
METROPOLITANO EM TRATOR AGRÍCOLA**

Rubens André Tabile

Engenheiro Agrícola

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2008

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DE BIODIESEL DE MAMONA NO DIESEL INTERIOR E
METROPOLITANO EM TRATOR AGRÍCOLA**

Rubens André Tabile

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2008

T113e Tabile, Rubens André
Efeito de biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano
em trator agrícola / Rubens André Tabile. — Jaboticabal, 2008
xii, 74 f. ; il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: Afonso Lopes
Banca examinadora: Luís Carlos Passarini, Marcílio Vieira Martins
Filho

Bibliografia

1. Biodiesel. 2. Desempenho operacional. 3. Mecanização
agrícola. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.372.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Campus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RUBENS ANDRE TABILE – Filho de Valdemar Tabile e Joacir Richetti Tabile, nasceu em Cascavel, Paraná em 20 de julho de 1983. Coursou o ensino fundamental no Colégio Estadual Prof.^a Julia Wanderley e o ensino médio no Colégio Estadual Polivalente “Pedro Boaretto Neto”, ambos na cidade de origem. Em março de 2001, iniciou o curso de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná em Cascavel - PR. Durante a graduação participou de programa de Iniciação Científica realizando projetos e participando de congressos na área de Máquinas e Mecanização Agrícola, formando-se na XXIII Turma de Engenharia Agrícola em dezembro de 2005. Em agosto de 2006, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia, vinculado ao programa de Ciência do Solo, da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias em Jaboticabal - SP, concentrando-se na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em fevereiro de 2008, submete-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Esforce-se pelo que acredite valer a pena.

A meus pais: *Valdemar Tabile e Joacir Richetti Tabile*

A meus irmãos: *Rafael Augusto Tabile e Robson Adriel Tabile*

A minha segunda família: *Arlete Maria De Maman e Vilma Bachega De Maman*

Pelo amor, carinho, incentivo e confiança

Dedico

A meu eterno amigo: *Douglas De Maman (in memoriam).*

Pois um amigo nunca morre.

A minha avó materna: *Rosina Barreta Richetti (in memoriam)*

Ofereço e Homenageio

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, SP, em especial ao Departamento de Engenharia Rural.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Afonso Lopes e aos amigos Profs, Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e Dr. Rouverson Pereira da Silva, pela amizade e oportunidade de trabalharmos juntos, sempre dispostos a realizar novos projetos, proporcionando engrandecimento científico e pessoal.

Ao LADETEL (Laboratório de Tecnologias Limpas) de Ribeirão Preto pela parceria a qual resultou no fornecimento de Biodiesel para execução deste trabalho, em especial ao Prof. Miguel Dabdoub responsável pelo laboratório.

À COOPERCITRUS e à VALTRA do Brasil, pela parceria a qual resultou na disponibilidade do trator de teste, em especial aos Srs. José Geraldo da Silveira Mello e Rogério Zanotto, respectivamente.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo apoio financeiro na compra de instrumentação e à CAPES pela bolsa de pesquisa concedida.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Sra. Míriam Rosângela Ignácio e ao Sr. Davi Aparecido Trevizolli, Secretários, ao Sr. Aparecido Alves, Técnico Agrícola e ao Sr. Valdecir Aparício e ao Sr. Sebastião Tiao, Operadores de Máquinas, que sempre estiveram dispostos a contribuir para a melhoria dos trabalhos realizados.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Rural Ana Lúcia Barbosa, Felipe Thomaz da Câmara, pela efetiva participação neste projeto durante a coleta de dados.

Aos amigos, em especial a Ôna Freddi, Anderson de Toledo, Danilo Grotta, Claudinei da Cruz, pelo companheirismo.

Em especial a Francine Perri Venturine, pela amizade, companheirismo, cumplicidade e carinho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vi
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1 Matriz energética	3
2 Óleos Vegetais	5
3 Conceitos e definições do Biodiesel	10
4 Degradação do Biodiesel.....	14
5 Poluição ambiental.....	15
6 Rendimento do Biodiesel	21
III MATERIAL E MÉTODOS	25
1 Material.....	25
1.1 Área experimental	25
1.2 Solo	25
1.3 Biodiesel.....	25
1.4 Diesel	26
1.5 Tratores.....	26
1.6 Escarificador	27
1.7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho	27
1.7.1 Rotação da tomada de potência.....	27
1.7.2 Rotação dos rodados.....	28
1.7.3 Velocidade de deslocamento.....	28
1.7.4 Força na barra de tração	28
1.7.5 Consumo de combustível	29
1.7.6 Sistema de aquisição de dados	29
1.8 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça.....	30
1.8.1 Opacímetro.....	30
2 Métodos	32

2.1	Condução do trabalho	32
2.2	Delineamento experimental.....	33
2.3	Tratamentos	33
2.4	Ensaio I - Desempenho do trator	35
2.4.1	Propriedades físicas do solo.....	35
2.4.1.1	Granulometria	35
2.4.1.2	Resistência mecânica do solo à penetração	36
2.4.1.3	Teor médio de água no solo.....	36
2.4.2	Uso dos tratores	37
2.4.3	Rotação média do motor	38
2.4.4	Patinagem dos rodados.....	39
2.4.5	Velocidade real de deslocamento.....	39
2.4.6	Força média na barra de tração.....	39
2.4.7	Potência na barra de tração	40
2.4.8	Densidade do combustível	40
2.4.9	Consumo de combustível	41
2.4.10	Consumo horário volumétrico	42
2.4.11	Consumo horário ponderal	42
2.4.12	Consumo específico	43
2.5	Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator.....	43
2.6	Análise estatística	44
2.6.1	Análise de variância e teste de médias	44
2.6.2	Análise de regressão	44
IV	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
1	Ensaio I - Desempenho do trator	45
1.1	Propriedades físicas do solo	45
1.2	Rotação média do motor	48
1.3	Patinagem dos rodados	49
1.4	Velocidade de deslocamento	49
1.5	Potência na barra de tração	50

1.6 Densidade do combustível	50
1.7 Consumo horário volumétrico	55
1.8 Consumo horário ponderal.....	56
1.9 Consumo específico	57
2 Ensaio II – Opacidade da fumaça.....	58
V CONCLUSÕES.....	61
VI REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Evolução da oferta interna de energia (tonelada equivalente de petróleo).....	4
2. Características de oleaginosas com potencial para produção de Biodiesel.	8
3. Propriedades de óleos vegetais <i>in natura</i> e óleo diesel convencional tipo C....	12
4. Propriedades físico-químicas do Biodiesel (ésteres etílicos) em função do óleo vegetal utilizado como matéria-prima e óleo diesel convencional tipo C. .	13
5. Relação e designação dos tratamentos do ensaio I.	34
6. Relação e designação dos tratamentos do ensaio II.	35
7. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis rotação no motor (Rot motor), patinagem média dos rodados, velocidade de deslocamento e potência média na barra de tração.	47
8. Desdobramento da interação proporção de Biodiesel e carga na barra, para a variável rotação no motor (rpm).	48
9. Desdobramento da interação proporção de Biodiesel e carga na barra, para a variável velocidade de deslocamento (km h^{-1}).	49
10. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e proporção de mistura com diesel interior (kg m^{-3}).	51
11. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e proporção de mistura com diesel metropolitano (kg m^{-3}).	51
12. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce).	54
13. Síntese do desdobramento da interação proporção de Biodiesel e carga na barra para consumo ponderal (kg h^{-1}).	56
14. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça.	59
15. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de Biodiesel, para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).	59

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Variação das emissões de poluentes em função da adição de Biodiesel.....	18
2. Vista lateral dos tratores (esquerda BH140, direita BM100).	27
3. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.	30
4. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.	31
5. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.	32
6. Esquema das parcelas.	33
7. Dinâmica do ensaio de desempenho.....	37
8. Resistência mecânica do solo a penetração na área experimental.	46
9. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e proporção de mistura com diesel interior.....	53
10. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e proporção de mistura com diesel metropolitano.	53
11. Consumo horário volumétrico em função da proporção de Biodiesel.....	55
12. Consumo horário ponderal em função da proporção de Biodiesel e carga na barra.	57
13. Consumo específico em função da proporção de Biodiesel.	58
14. Opacidade da fumaça em função da proporção de Biodiesel e do tipo de diesel.	60

EFEITO DE BIODIESEL DE MAMONA NO DIESEL INTERIOR E METROPOLITANO EM TRATOR AGRÍCOLA

RESUMO: A grande demanda de recursos energéticos pelos sistemas de produção aliados à escassez dos combustíveis fósseis tem motivado o desenvolvimento e a produção do Biodiesel, que é um combustível produzido de fontes renováveis. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho operacional e a opacidade da fumaça do motor de um trator agrícola, operando com diesel metropolitano e interior misturados ao Biodiesel de mamona, em sete proporções. Os ensaios foram conduzidos no Departamento de Engenharia Rural da UNESP/Jaboticabal - SP. Os resultados mostraram que o tipo de diesel influenciou no consumo de combustível e na opacidade da fumaça, sendo o diesel metropolitano de melhor qualidade. Observou-se, também, que à medida que a proporção de Biodiesel aumentou, o mesmo ocorreu para o consumo de combustível, entretanto, a opacidade da fumaça reduziu com acréscimo da proporção de Biodiesel até B75.

Palavras-chave: Desempenho operacional, escarificador, mecanização agrícola, *Ricinus communis* L., opacidade da fumaça

MANOMA BIODIESEL EFFECT IN INTERIOR AND METROPOLITANO DIESEL IN AGRICULTURAL TRACTOR

ABSTRACT: The great demand for energy resources by production systems allied to scarcity of fossil fuels has driven the development and production of Biodiesel, a fuel produced from renewable sources. Therefore, the purpose of this study was to compare the performance and smoke opacity from a farm tractor, operating with interior and metropolitano diesel mixed with mamona Biodiesel in seven proportions. The tests were conducted in Departamento de Engenharia Rural of UNESP / Jaboticabal - SP. The results showed that the kind of diesel influenced consumption of fuel and smoke opacity, and the metropolitano diesel showed better quality, it was observed as well that as Biodiesel proportion increased, consumption of fuel increased too, however, the opacity of smoke decreased with an increase of Biodiesel proportions by B75.

Keywords: Operational performance, moldboard plow, agricultural mechanization, *Ricinus communis* L., Smoke opacity.

I INTRODUÇÃO

A questão energética é importante na história da humanidade, estando presente no processo produtivo, desde a produção, embalagem, distribuição, operação e bem como na fase de descarte.

Com a globalização, criou-se crescente dependência entre países devido o mercado internacional ser cada vez mais integrado. Isso se caracteriza como fator de segurança, visto a maior flexibilidade frente a conflitos ou problemas regionais. No entanto, também pode representar fragilidade se esse processo levar à concentração exagerada do sistema logístico, de infra-estrutura ou de determinada fonte de energia.

Diversos foram os fatores que levaram ao consumo excessivo de energia, principalmente de combustíveis fósseis, tornando tal recurso cada vez mais valorizado. Essa situação vêm causando graves problemas econômicos, sociais e ambientais, evidenciando-se flutuação no preço do petróleo, guerras, efeito estufa e alteração climática.

Considerando o custo elevado do barril de petróleo, os combustíveis alternativos passam a ser competitivos do ponto de vista econômico, devendo-se considerar, sobretudo, que, no futuro próximo, as reservas de petróleo tendem à escassez e dessa forma o desenvolvimento mundial dependerá de tecnologia e de infra-estrutura para a utilização de formas energéticas alternativas.

A estratégia a ser tomada no contexto atual é diversificar entre os tipos de energia primária utilizada, de fornecedores de suprimentos e de logística, que são pontos estratégicos na economia dos países. Tendo o mercado de importações e exportações diversificado, a eventualidade de uma guerra, desavenças políticas ou fenômenos meteorológicos podem ser contornados com o mínimo de dano à economia, caso contrário, esses eventos podem desencadear oscilações nos preços ou na escassez de mercadorias e de suprimentos.

Atualmente, no Brasil, para o sistema rodoviário são disponibilizados dois tipos de óleo diesel: o metropolitano (500 mg kg^{-1} de enxofre), utilizado nos grandes centros urbanos e o interior (2000 mg kg^{-1} de enxofre), comercializado nos demais. Essa

medida foi tomada para reduzir a quantidade de gases poluentes emitidos na atmosfera em locais onde existe grande concentração de veículos automotores.

Nesse contexto, a produção de biocombustíveis, em especial o Biodiesel, tornou-se uma das formas mais eficientes de diversificar a matriz energética, principalmente dos países importadores de diesel mineral, contribuindo para a conservação do meio ambiente, por meio da redução de emissão de gases de efeito estufa, o desenvolvimento econômico, por meio da otimização e da descentralização de investimentos e o desenvolvimento social, por meio da geração de emprego e de renda no campo.

Torna-se necessário produzir a infra-estrutura que dê suporte à produção e à comercialização desse biocombustível. Isso é possível por meio da otimização de recursos e da integração das informações das instituições públicas, privadas e produtores rurais, evitando que ocorra problemas com logística, distribuição, falta de matéria-prima, oscilação nos preços, entre outros.

Para que o processo possa ser implantado e transcorra satisfatório, é essencial a realização de estudos que garantam a viabilidade jurídica, técnica, ambiental, social e comercial dos investimentos. Outro fator importante a ser avaliado é a funcionalidade mecânica do Biodiesel, antes desse ser disponibilizado no mercado, tornando-se fundamental o conhecimento das características de funcionamento e desempenho das máquinas com o referido combustível por meio de ensaios para avaliação do rendimento operacional e emissão de poluentes.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi comparar o desempenho operacional e a opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com dois tipos de diesel (metropolitano e interior) e sete proporções de mistura diesel/Biodiesel de mamona.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 Matriz energética

Segundo PARENTE (2003), a consciência mundial está mudando com relação à produção e ao consumo de energia, especialmente quando originária de fontes não-renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis. Isso tem conduzido estudos em busca do aperfeiçoamento do uso de energia alternativa. Segundo o autor, o ano de 1970 representou um verdadeiro marco na história energética do planeta, pois a partir daí, vários esforços foram dedicados à superação da crise, os quais incidiram, basicamente, em dois grupos de ações; o primeiro consistiu na conservação ou economia energética, e o segundo dedicou-se ao aperfeiçoamento do uso de fontes alternativas, como álcool e Biodiesel.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007), no Brasil, a oferta interna de energia para o ano de 2006 foi dividida em fontes não-renováveis, que representam 54,9%, compreendendo petróleo e derivados (37,7%), gás natural (9,6%), carvão mineral e derivados (6,0%), urânio (U308) e derivados (1,6%) e fontes renováveis que representam 45,1%, incluindo hidráulica e eletricidade (14,8%), lenha e carvão vegetal (12,7%), derivados da cana-de-açúcar (14,6%), outras fontes renováveis (3,0%). A possibilidade da escassez das fontes não-renováveis, ainda neste século, é uma das problemáticas a ser discutida, além de outras, como a poluição decorrente da emissão de gases CO₂, NO_x e SO₂ pelos combustíveis fósseis, agravando o efeito estufa.

A partir de 1970 para 2006, ocorreu aumento significativo na participação das fontes, gás natural, hidráulica e eletricidade e derivados da cana-de-açúcar na matriz energética, aumentando, em média 9%; verifica-se, também, a queda de 35% na oferta de lenha e carvão vegetal. Na Tabela 1, representa-se a evolução na oferta interna de energia de 1970 até 2006, em função das fontes disponíveis, em tonelada equivalente de petróleo.

TABELA 1. Evolução da oferta interna de energia (tonelada equivalente de petróleo).

Identificação	1970	1980	1990	2000	2006
Energia não-renovável	27.858	62.387	72.298	112.376	124.207
Petróleo e derivados	25.251	55.393	57.749	86.743	85.287
Gás natural	170	1.092	4.337	10.256	21.716
Carvão mineral e derivados	2.437	5.902	9.615	13.571	13.537
Urânio (U308) e derivados	0	0	598	1.806	3.667
Energia renovável	39.088	52.373	69.702	78.239	101.880
Hidráulica e eletricidade	3.420	11.063	20.051	29.980	33.537
Lenha e carvão vegetal	31.852	31.083	28.537	23.060	28.589
Derivados da cana-de-açúcar	3.593	9.217	18.988	20.761	32.999
Outras renováveis	223	1.010	2.126	4.439	6.754
Total	66.945	114.761	142.000	190.615	226.086

1 tonelada equivalente de petróleo (TEP) = 10.800.000 kcal; 1 barril = 159 L
 Fonte: Adaptado Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007)

Segundo a Agência Nacional do Petróleo (BRASIL, 2006a), no Brasil, em decorrência da reserva provada de petróleo ser de 11,8 bilhões de barris e o atual ritmo de produção de 1,72 milhões de barris por dia, essa reserva será suficiente por mais 18,8 anos, entretanto, considerando-se outras fontes potenciais, esse horizonte pode chegar a 24,7 anos. O Brasil consumiu em 1996, o total de 30,16 bilhões de litros de óleo diesel (189,69 milhões de barris); comparado com o anuário de 2006, em que o consumo foi de 39,12 bilhões de litros (246,04 milhões de barris), houve aumento de 29,7% (154,38 mil barris por dia).

Tomando-se como base o anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis do ano de 2006, para atender à demanda obrigatória de 2% de Biodiesel na matriz energética, a partir de 2008 serão necessários produzir 780 milhões de litros de Biodiesel por ano, aumentando para aproximadamente 2 bilhões de litros por ano a partir de 2013, quando se torna obrigatório a mistura de 5% de Biodiesel na matriz energética (BRASIL, 2006a)

No Brasil, a principal fonte primária de energia é o petróleo; o mesmo contribui com 37,7% na produção total, e o gás natural, entre os combustíveis fósseis, em função

do preço competitivo e emitir menos gases nocivos ao meio ambiente, teve aumento no consumo nas últimas décadas. Apesar da queima do gás, assim como o carvão e o petróleo resultar em dióxido de carbono, substância prejudicial à camada de ozônio, o percentual poluente é menor (BILICH & SILVA, 2006b; BRASIL, 2007). Entretanto, essas fontes são limitadas, com possibilidade de escassez, portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de suma importância (SHUCHRDT et al., 1998).

No Brasil, o fato de a Matriz Energética ter grande participação de fontes renováveis, principalmente no que diz respeito à geração elétrica, que é, em grande parte de origem hidráulica (91% de toda a eletricidade consumida no País), e a utilização da biomassa de cana-de-açúcar (álcool anidro e álcool hidratado), em cerca de 15,5% da energia consumida no setor de transportes, proporciona posição favorável em comparação a outros países (MORAES, 2005).

2 Óleos Vegetais

O uso de óleos vegetais em motores de combustão interna remonta ao início da utilização do próprio motor diesel. Por razões econômicas, devido ao maior custo e menor disponibilidade frente aos derivados de petróleo, o uso de tal fonte de combustível foi abandonado por determinado tempo. Entretanto, o aumento dos preços do petróleo, iniciado em 1973, gerou nova consciência mundial a respeito da produção e do consumo de energia, especialmente quando originária de fontes não-renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis (KÖRBITZ, 1999).

Devido a atual condição da matriz energética mundial, os óleos vegetais aparecem novamente como alternativa para substituição ao óleo diesel em motores de ignição por compressão (ENCINAR et al., 1999; DUNN, 2002; CANAKCI & VAN GERPEN, 2001), sendo testado no final do século XIX, produzindo resultados satisfatórios no próprio motor de Diesel. Essa possibilidade de emprego de combustíveis de origem agrícola em motores do ciclo Diesel é bastante atrativa, tendo em vista o aspecto ambiental, por ser fonte renovável de energia e permitir a redução

da dependência de importação de petróleo (WU et al., 1998; NASCIMENTO et al., 2001; KNOTHE, 2002; DORADO et al., 2002; FERRARI et al. 2005a).

Os óleos vegetais são constituídos principalmente de glicerídeos, contendo outros lipídeos em pequenas quantidades. Os ácidos graxos que esterificam o glicerol apresentam, muitas vezes, cadeias alifáticas saturadas, mas, freqüentemente, cadeias insaturadas estão presentes. As diferenças funcionais entre os ácidos graxos constituintes dos óleos vegetais determinam as distinções entre certas propriedades desses óleos, tais como: ponto de fusão e peso específico, viscosidade, solubilidade, reatividade química e estabilidade térmica (BILICH & SILVA, 2006a).

Foi constatada que a aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada por algumas propriedades físicas dos mesmos, principalmente a alta viscosidade, baixa volatilidade e o caráter poliinsaturado. Como consequência, o uso de óleo sem modificação química provoca problemas ambientais, como resultado da combustão incompleta, e causam danos aos motores. Assim, visando reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, várias alternativas têm sido consideradas, tais como: diluição, microemulsão, pirólise (craqueamento catalítico) e reação de transesterificação com álcool de cadeia curta (NASCIMENTO et al., 2001; ENCINAR et al., 2002; FERRARI et al., 2005a).

Entre as alternativas de modificação química do óleo, a transesterificação tem se apresentado como a opção mais viável, visto que o processo é relativamente simples, obtendo-se como produto principal, ésteres etílicos ou metílicos (Biodiesel), cujas propriedades são similares às do óleo diesel (DUNN et al., 1996; DORADO et al., 2003). Além disso, no processo de transesterificação, resulta como subproduto a glicerina, sendo o aproveitamento outro aspecto importante na viabilização do processo de produção do Biodiesel, fazendo com que o mesmo se torne competitivo no mercado de combustíveis (FERRARI et al., 2005a).

A maior parte do Biodiesel atualmente produzido no mundo deriva do óleo de soja, utilizando metanol e catalisador alcalino, porém, todos os óleos vegetais, enquadrados na categoria de óleos fixos ou triglicerídeos, podem ser transformados em Biodiesel (TECBIO, 2003a).

Fatores como a geografia, o clima e a economia determinam o óleo vegetal de maior interesse para uso potencial nos biocombustíveis. Assim, nos Estados Unidos, por exemplo, o óleo de soja é considerado como matéria-prima primordial e, nos países tropicais, é o óleo de palma. Dentre as matérias-primas incluem-se os óleos de palma, de soja, de algodão e de mamona, além dos óleos de menor produção, como o de babaçu (KNOTHE, 2002). Na Alemanha, o óleo de colza é utilizado na produção de Biodiesel, o qual é distribuído de forma pura, isento de qualquer mistura ou aditivação. Há também a produção de Biodiesel na Malásia a partir do óleo de palma (TECBIO, 2003b).

No cenário mundial, o Brasil se destaca pela grande diversidade e produtividade de grãos que podem ser utilizados na fabricação de óleos vegetais, apresentando, nesse sentido, grande abertura para nova alternativa energética, no caso da substituição do diesel por biocombustíveis (BILICH & SILVA, 2006a).

As fontes para extração de óleo vegetal que podem ser utilizadas são baga de mamona, polpa do dendê, amêndoa do coco de dendê, amêndoa do coco de babaçu, semente de girassol, amêndoa do coco da praia, caroço de algodão, grão de amendoim, semente de canola, semente de maracujá, polpa de abacate, caroço de oiticica, semente de linhaça, semente de tomate e de nabo forrageiro (PERES et al., 2005).

Os óleos vegetais mais comuns, cuja matéria-prima é abundante no Brasil, são soja, milho, amendoim, algodão, babaçu e palma. A soja, considerada a rainha das leguminosas, dispõe de oferta muito grande do óleo, pois quase 90% da produção de óleo no Brasil provém dessa leguminosa (FERRARI et al., 2005b). Em 2004, o Brasil figurava como o segundo produtor mundial, com produção de 50 milhões de toneladas ou 25% da safra mundial, montante menor que o de 2003, quando o país produziu 52 milhões de toneladas e participou de 27% da safra mundial (AGRIANUAL, 2005).

Plantas nativas como o pequi, o buriti e a macaúba apresentaram resultados relevantes nos testes laboratoriais, entretanto, a produção é extrativista e não há plantios comerciais para produção de Biodiesel (PERES et al., 2005).

Segundo BARBOSA (2007), uma das oleaginosas eleita pelos programas federal e estadual de Biodiesel para fornecer matéria-prima para a produção deste biocombustível foi a mamona (*Ricinus communis* L.).

A semente de mamona é constituída de 75% de amêndoa e 25% de casca, em termos médios. A quantidade de óleo extraída da semente está compreendida entre 40-60% em massa. Como componente principal, destaca-se o ácido ricinoleico (12-hidróxi-9-octadecenóico), que representa aproximadamente 90% da constituição total do óleo (KOUTROUBAS et al., 1999). Esse ácido é um hidroxiácido (ácido carboxílico hidroxilado), possui insaturação, massa molar alta (298) e baixo ponto de fusão (5°C).

A quantidade total de ácidos graxos insaturados, entre eles, o ácido ricinoleico, responde por cerca de 97% em massa deste óleo vegetal. A concentração de ácidos graxos saturados nas sementes é de somente 2,3-3,6% (MORENO & CÓRDOBA, 1997). O óleo de mamona diferencia-se dos demais óleos vegetais pela quantidade de hidroxilas presentes, propriedade que lhe confere solubilidade total em álcool. Além disso, possui boa estabilidade, mesmo variando a temperatura e a pressão (KOUTROUBAS et al., 1999; FAGUNDES et al., 2005).

De acordo com o Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (BRASIL, 2005), as oleaginosas com potencial para produção de Biodiesel, no Brasil, apresentam características distintas entre si (Tabela 2), que devem ser analisadas para tornar a produção deste biocombustível viável economicamente.

TABELA 2. Características de oleaginosas com potencial para produção de Biodiesel.

Características	Espécie					
	Dendê	Girassol	Canola	Mamona	Amendoim	Soja
Origem do óleo	amêndoa	grão	grão	grão	grão	grão
Conteúdo de óleo (%)	26	38-48	40-48	43-45	40-50	17
Meses de colheita	12	3	3	3	3	3
Rendimento em óleo (t ha ⁻¹)	3,0-6,0	0,5-1,5	0,5-0,9	0,5-1,0	0,6-0,8	0,2-0,6
Custo de produção (US\$ t ⁻¹)	284	-	650	720	1300	85
Preço óleos (US\$ t ⁻¹)	450	-	653	1040	1281	560

Fonte: (BRASIL, 2005)

BILICH & SILVA (2006a) analisaram, por meio da metodologia multicritério, qual das culturas oleaginosas é a mais apropriada para ser utilizada na produção de Biodiesel no Brasil. Avaliaram o dendê (*Elaeis guineensis* N.), colza ou canola (*Brassica napus*), mamona (*Ricinus communis* L.), amendoim (*Arachis hipogaea*) e soja (*Glycine max*). Os critérios investigados para cada cultura foram percentagem de óleo, meses de colheita, rendimento médio em óleo (t ha^{-1}), produtividade média (kg ha^{-1}), custos de produção e preços dos óleos. Verificaram que a soja apresentou maior viabilidade, seguida pelo dendê, canola, mamona e amendoim.

Quanto aos álcoois utilizados no processo de transesterificação, os mais freqüentemente empregados são os de cadeia curta, tais como: metanol, etanol, propanol e butanol. No Brasil, o uso de etanol anidro é vantajoso, pois esse é produzido em larga escala para ser misturado à gasolina, além de ser um produto obtido por meio da biomassa e, dessa maneira, o processo torna-se totalmente independente do petróleo, promovendo a produção de um combustível completamente agrícola (FERRARI et al., 2005a). Segundo o JORNAL DA CANA (2006), na safra 2004/2005, a produção de álcool foi de 14 bilhões de litros.

Com relação aos catalisadores, a transesterificação pode ser realizada tanto em meio ácido quanto em meio básico, porém, ocorre de maneira mais rápida na presença de um catalisador alcalino, que na presença da mesma quantidade de catalisador ácido. Observa-se que o meio básico apresenta maior rendimento e seletividade, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos (ENCINAR et al., 2002). Os catalisadores mais eficientes para esse propósito são KOH e NaOH, sendo o uso de hidróxido de sódio, ao invés de metóxido de sódio, preferido por causa dos perigos e inconvenientes do uso de metal de sódio (BOOCOOCK et al., 1998; FERRARI et al. 2005a).

Para aumentar o rendimento de alquil ésteres e permitir a formação de uma fase separada de glicerol, um excesso de agente transesterificante (álcool primário) é usado, devido ao caráter reversível da reação (SHUCHRDT et al., 1998). Também é necessário que os óleos possuam baixo teor de ácidos graxos livres, pois esses podem reagir com o catalisador alcalino, formando produtos saponificados, que diminui a

eficiência de conversão. Os óleos brutos comercialmente encontrados possuem índice de acidez entre 0,5 e 3%, sendo indicado, para a reação de transesterificação ser completa, teor inferior a 3% (FERRARI et al., 2005a).

MACHADO et al. (2006) estudaram propriedades físico-químicas de misturas formuladas com Biodiesel de mamona e Biodiesel oriundo das oleaginosas soja, algodão e canola, com o intuito de determinar uma ótima razão de mistura que atenda as especificações brasileira e européia. Observou-se que o Biodiesel de mamona puro não atende às especificações, em função da densidade e da viscosidade elevadas, tendo maior influência sobre a viscosidade. Verificou-se, também, que, para atender às especificações, é necessário misturar pelo menos 80% em volume com outro Biodiesel.

3 Conceitos e definições do Biodiesel

O Biodiesel é um combustível natural usado em motores de compressão interna de ciclo Diesel, produzido a partir de fontes renováveis e que atende às especificações da ANP, podendo ser utilizado puro ou em mistura com o óleo diesel, em qualquer proporção (BILICH & SILVA, 2006a).

A maioria dos tipos de Biodiesel é produzida por meio de processo químico denominado transesterificação. Esse processo consiste em misturar o óleo com álcool, normalmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador, tal como hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio. Essa reação produz o biocombustível, que são ésteres metílicos (utilizando metanol) ou ésteres etílicos (utilizando etanol) e glicerina (MURPHY, 1995).

Biodiesel pode ser definido como sendo um mono-alquil éster de ácidos graxos, derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, obtido por processo de transesterificação, no qual ocorre a transformação de triglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (MONYEM et al., 2001; CANAKCI & VAN GERPEN, 2001).

Encontra-se registrado na “Environment Protection Agency – EPA – USA” como combustível e aditivo para combustíveis e pode ser usado puro (100%), em mistura com

o diesel de petróleo, ou numa proporção baixa como aditivo (1 a 5%). A utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores do ciclo Diesel, sem haver a necessidade de nenhuma modificação no motor (LUE et al., 2001).

A nomenclatura a qual se refere o percentual de concentração de Biodiesel no diesel é denominada mundialmente de Bxx, sendo B do inglês *blend*, que significa mistura e xx, a percentagem em volume do Biodiesel à mistura. Algumas nomenclaturas B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de Biodiesel, respectivamente. A adição de Biodiesel no mercado de combustíveis tem sido utilizada em quatro níveis de concentração: Puro (B100), Misturas (B20 – B30) e Aditivo (B5) (BILICH & SILVA, 2006a).

Como combustível, o Biodiesel possui algumas características que representam vantagem sobre o diesel derivado do petróleo, tais como, virtualmente livre de enxofre e de compostos aromáticos, alto número de cetano, teor médio de oxigênio 10 a 11% superior, maior ponto de fulgor, menor emissão de partículas (HC, CO e CO₂), caráter não-tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis (PETERSON et al., 2002; HAAS et al., 2001).

De acordo com PIMENTA (2004), existem diversos desafios técnicos a serem avaliados, tais como a rápida oxidação, contida com aditivos, a viscosidade elevada dependente da matéria-prima e a baixa estabilidade. SAAD et al. (2006) alertaram para a qualidade dos tipos de Biodiesel em função da matéria-prima. Certas propriedades inerentes à matéria-prima, como viscosidade e densidade, podem ser transferidas para o combustível produzido, que poderão ser inadequadas para o funcionamento do motor.

A confiabilidade mecânica dos motores é a maior preocupação, pois embora a lubricidade do Biodiesel seja benéfica para bombas e peças do motor, a incerteza está na formação de depósitos que podem se acumular nos bicos injetores (SEM, 2004b) e anéis de segmentos (SEM 2004a). Esse fato mostrou-se dependente do tipo do motor, origem do Biodiesel e método de produção. A diluição do óleo do cárter pelo combustível, também é uma preocupação e pode acabar resultando em desgaste prematuro ou falhas do motor. Esses fatores requerem a quantificação da diluição (mistura) para que os efeitos sejam minimizados (SWACHART et al., 2005). Entretanto

CANAKCI & VAN GERPEN (2003), afirmam que o biocombustível pode ser utilizado em motores diesel com poucas ou nenhuma modificação.

COSTA NETO et al. (2000) apresentam propriedades comparativas de óleo diesel e óleos vegetais *in natura*, assim como de óleo diesel e Biodiesel de diversas origens, conforme Tabelas 3 e 4.

TABELA 3. Propriedades de óleos vegetais *in natura* e óleo diesel convencional tipo C.

Características	Tipo de Óleo					Óleo
	Mamona	Babaçu	Dendê	Soja	Pequi	Diesel
Poder calorífico (kcal kg ⁻¹)	8.913	9.049	8.946	9.421	9.330	10.824
Ponto de névoa (°C)	10	26	31	13	26	1
Índice de cetano	-	38	38-40	36-39	38	45,8
Densidade a 25 °C	0,958	0,91	0,912	-	0,910	0,850
Viscosidade a 37,8 °C (cSt)	285	30,3	36,8	36,8	47,0	3,04
Destilação a 90% (°C)	-	349	359	370	-	373
Teor de cinzas (%)	-	0,03	0,01	-	0,001	0,014
Cor (ASTM)	1,0	0,5	1,0	-	2,0	2,0
Resíduo de carbono Conradson sobre 10% do resíduo seco (%)	-	0,28	0,54	0,54	-	0,35

Fonte: COSTA NETO et al. (2000)

TABELA 4. Propriedades físico-químicas do Biodiesel (ésteres etílicos) em função do óleo vegetal utilizado como matéria-prima e óleo diesel convencional tipo C.

Características	Origem do Biodiesel					Óleo
	Mamona	Babaçu	Dendê	Algodão	Pequi	Diesel
Poder calorífico (kcal kg ⁻¹)	9.046	9.440	9.530	9.520	9.590	10.824
Ponto de névoa (°C)	-6	-6	6	-	8	1
Índice de cetano	-	65	-	57,5	60	45,8
Densidade a 25 °C	0,919	0,886	0,860	0,875	0,865	0,850
Viscosidade a 37,8 °C (cSt)	21,6	3,9	6,4	6,0	5,2	3,04
Inflamabilidade (°C)	208	-	-	184	186	55
Ponto de fluidez	-30	-	-	-3	5	-
Destilação a 50% (°C)	301	291	333	340	334	278
Destilação a 90% (°C)	318	333	338	342	346	373
Corrosividade ao cobre	0	0	0	0	0	-
Teor de cinzas (%)	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,014
Teor de enxofre (%)	0	-	-	0	0	0,24
Cor (ASTM)	1,0	0	0,5	1,0	1,0	2,0
Resíduo de carbono Conradson sobre 10% do resíduo seco (%)	0,09	0,03	0,02	-	0,01	0,35

Fonte: COSTA NETO et al. (2000)

LOPES (2006) avaliou a densidade de 14 tipos de Biodiesel em que se variou a matéria-prima de produção, álcool utilizado (metanol e etanol), processo de purificação (destilação e filtragem) e misturas biocombustíveis em sete proporções de mistura Biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100). Comparando o comportamento da densidade por tipo de Biodiesel, observou-se que o produto de origem metílica teve densidade maior do que a etílica, assim como o Biodiesel filtrado teve densidade maior que o destilado. Verificou-se, também que, a 20 °C, a maior densidade foi 893 kg m⁻³ e a menor 863 kg m⁻³; para servir de comparação, a do diesel foi 837 kg m⁻³. Referente à variação da densidade em função da temperatura (10 a 70 °C), a maior variação foi de 46 kg m⁻³ e a menor 38 kg m⁻³; para o diesel, essa foi de 35 kg m⁻³.

4 Degradação do Biodiesel

O Biodiesel tende a ter alterações nas propriedades ao longo do tempo devido a reações de natureza hidrolítica, microbiológica e oxidativa com o meio ambiente. Tratam-se de processos de degradação que podem ser acelerados pela exposição ao ar, à umidade, a metais, à luz e ao calor ou mesmo a ambientes contaminados por microrganismos. O Biodiesel está sujeito à degradação oxidativa, também conhecida como rancificação oxidativa, que gera graves problemas para o mercado consumidor, assim como processos corrosivos com efeitos igualmente desastrosos. Estes são induzidos pela presença simultânea de água e de microrganismos, denominados de biocorrosão, podem também ocorrer com combustíveis, a exemplo do que comumente se verifica em tanques de armazenamento de diesel de origem fóssil (LUTTERBACH et al., 2006).

Os processos de degradação oxidativa do Biodiesel dependem da natureza dos ácidos graxos utilizados na produção, do grau de insaturação dos ésteres que o compõem, do processo de produção adotado, da umidade, da temperatura, luz e da presença de antioxidantes intrínsecos, como os carotenos (FERRARI, 2005a). Dentre as implicações negativas desse processo, podemos destacar o aumento da viscosidade, a elevação da acidez, que é capaz de gerar processos corrosivos abióticos, e a formação de gomas e compostos poliméricos indesejáveis (FERRARI, 2005a).

Processos distintos de degradação, podem ocorrer, de forma abiótica, quanto induzidos pela presença simultânea de água livre e de microrganismos. No caso de diesel de origem fóssil, é comum não só a incidência dos processos de corrosão abiótica e de biocorrosão, bem como a formação de sedimentos de origem biológica (biodepósitos) ante a presença inevitável de água nos sistemas de armazenagem (BENTO et al., 1999).

Tais processos tendem a provocar ataques corrosivos e entupimentos, notadamente na linha d'água e no fundo de tanques de estocagem (aéreos e subterrâneos), bem como em sistemas de alimentação, de armazenamento e de injeção

de veículos. Estudos realizados pela Bosch reportam a grande incidência de processos de biocorrosão, formação de biodepósitos e de corrosão aquosa (abiótica), quando da utilização de Biodiesel de colza em desacordo com as especificações (BOLDO & WAHNFRIEND, 2003).

5 Poluição ambiental

A questão ambiental vem adquirindo cada vez mais relevância à medida que os danos à humanidade tornam-se progressivamente mais evidentes. A emissão de gases poluentes é consequência, em grande parte, da queima de combustíveis fósseis. Esses gases são causadores das chuvas ácidas e da nuvem de poluição urbana, dentre outros males à saúde humana. O dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa estão se acumulando rapidamente na atmosfera, causando o aquecimento global. Desde a revolução industrial, houve aumento de 31% nos níveis de dióxido de carbono e 151% de metano na atmosfera (GELLER, 2003; MORAES, 2005).

Segundo WALSH et al. (2005), apesar do progresso e de novas tecnologias, a qualidade do ar, com relação à presença de material particulado e ozônio, continua ruim. Os autores relatam que durante a década de 1970, a região metropolitana de São Paulo iniciou o monitoramento da qualidade do ar e encontrou quantidades altas de dióxido de enxofre, monóxido de carbono e fumaça. Na década de 1980, por meio de 23 estações automáticas de coleta e de monitoramento, constatou-se que os níveis de material particulado inalável e ozônio eram também altos, freqüentemente ultrapassando os limites prescritos em normas.

Desde então, progressos têm sido feitos no que se refere a certos problemas de poluição, particularmente provindos do CO e SO₂. A crescente utilização de álcool como combustível no final da década de 1980 e início de 1990 reduziu a quantidade de chumbo, antes utilizado na gasolina como aditivo anti-detonante (WALSH et al., 2005). Graças ao álcool, em 1991, os níveis de poluentes na região metropolitana de São Paulo estavam dentro do nível aceitável, segundo a Organização Mundial de Saúde – OMS (WALSH et al., 2005).

Devido ao crescimento da frota, principalmente dos veículos movidos a diesel, a quantidade de material particulado, em 2002, voltou a mostrar níveis alarmantes, até 40% maiores que o prescrito pela OMS. Além disso, 80% dos óxidos de nitrogênio são originados nos caminhões e nos ônibus, que na atmosfera são responsáveis pela formação das partículas secundárias. Observa-se que o nível de emissões de motores a diesel está vinculado diretamente à quantidade de enxofre contida no combustível (WALSH et al., 2005).

As emissões de CO₂ no mundo cresceram 54% de 1973 a 2002, chegando a 2,41 bilhões de toneladas. Os países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE são os grandes emissores de CO₂, representando 52,1% (2002) das emissões totais. No entanto, o crescimento tem sido relativamente estável, perdendo gradativamente participação para os países em desenvolvimento. Com o crescimento populacional acelerado, a gradual melhoria nos padrões de vida, aliada à progressiva integração no mercado mundial, espera-se que esse grupo de países venha a aumentar significativamente o consumo de energia e as emissões de gases poluentes, como já vem ocorrendo nas últimas décadas. Cabe observar que, enquanto a OCDE representa 19% da população mundial, a China, juntamente com a América Latina e a África representam 41%. No período de 1973 a 2002, essas regiões dobraram sua participação na emissão de CO₂, passando de 10,3% para 20,3%. A Ásia e os países do Oriente Médio também apresentaram crescimentos significativos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2004).

Verificou-se que, em 2002 as emissões de CO₂ provenientes do petróleo representavam 41,8% do total (2,41 bilhões de toneladas), na frente das emissões de gás (20,4%) e carvão (37,5%). Além disso, o transporte é o setor que mais rapidamente tem aumentado a taxa de emissão e deve apresentar crescimento de 2% ao ano, no período de 2001 a 2025 (ESTADOS UNIDOS, 2003).

Os combustíveis, ao serem queimados nos motores de combustão interna, deveriam produzir apenas dióxido de carbono e água, quando queimam derivados do petróleo. Porém, uma série de impurezas no combustível e deficiências no processo de combustão levam à formação de poluentes, como óxidos de carbono, aldeídos,

cetonas, compostos de enxofre, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio (CORRÊA & ARBILLA, 2006).

Em relação ao óleo diesel derivado do petróleo, o Biodiesel pode reduzir em 78% as emissões líquidas de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas. Além disso, reduz em 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre (HOLANDA, 2004).

De acordo com CANAKCI et al., 2005; PUHAN et al., 2005; CORRÊA & ARBILLA, 2006, as emissões provenientes da queima do diesel contém centenas de compostos orgânicos e inorgânicos, particionados entre as fases particulada e gasosa. Essas fases contém espécies carcinogênicas como aldeídos e hidrocarbonetos aromáticos. Por essa razão, a INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (2001) considera as emissões de motores a diesel como “provavelmente carcinogênica para humanos”. A principal fonte de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos na exaustão do diesel são moléculas não-queimadas, piro-síntese e alterações estruturais durante a combustão. Estudo de TANCELL et al. (1995) indicou que 80% do benzo[a]pireno na exaustão é oriundo das moléculas presentes no combustível líquido. Por essa razão, o Biodiesel torna-se excelente alternativa por ser isento de compostos aromáticos e enxofre.

Segundo a Environmental Protection Agency, proporcionalmente ao teor em mistura com diesel, o Biodiesel promove redução das principais emissões associadas ao derivado de petróleo, com a exceção dos óxidos de nitrogênio (ESTADOS UNIDOS, 2002, citado por ANGELO, 2006). O incremento observado nas emissões desse poluente não é elevado, (Figura 2) se comparado com os benefícios obtidos nos demais poluentes sendo de 2% a 4% para B20, com ponto máximo de 10% para B100, mas deve ser considerado, porque é um dos principais precursores do ozônio troposférico, atualmente o mais grave problema de qualidade do ar em São Paulo (SÃO PAULO, 2003).

Segundo o Environmental Protection Agency, há que se considerar a redução das emissões de óxidos de enxofre, pois como o Biodiesel não contém enxofre, as emissões desses óxidos são reduzidas com esse combustível (ESTADOS UNIDOS,

2002, citado por ANGELO, 2006). Outro ponto importante relacionado ao Biodiesel é a redução da emissão de poluentes para a atmosfera, assim como a transformação de óleo residual de frituras em combustível, minimizando o efeito desse sobre o solo e os cursos d'água (LOPES, 2004).

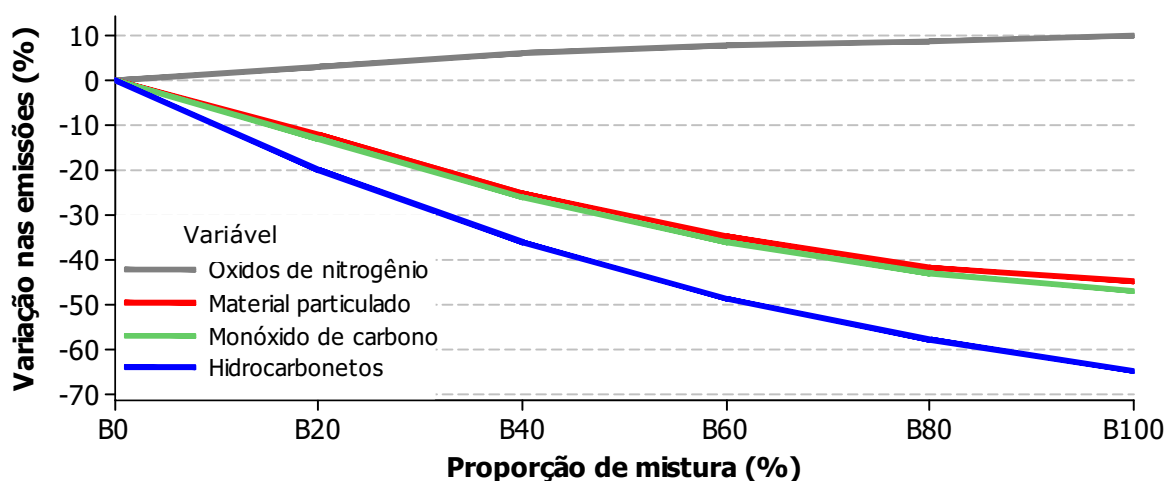


FIGURA 1. Variação das emissões de poluentes em função da adição de Biodiesel.
Fonte: ESTADOS UNIDOS (2002)

CORRÊA & ARBILLA (2006) conduziram experimento com motor alimentado com diesel puro e proporções de mistura diesel/Biodiesel etílico de mamona (B2, B5 e B20), sendo avaliado a emissão de 12 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos no ar de exaustão do motor. A redução média, em comparação com as emissões do diesel, foram 2,7% para B2; 6,3% para B5, e 17,2% para B20, e salientaram o resultado positivo, para todas as misturas, na redução da emissão do hidrocarboneto policíclicos aromático benzo(a)pireno que tem elevadas características carcinogênicas. Para os resultados com B2, os valores exibiram grande variação; para misturas B5, os resultados indicaram que 11 dos 12 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos estudados exibiram menor emissão; para misturas B20, todos os hidrocarbonetos policíclicos aromático tiveram redução nas emissões. Os autores concluíram que o impacto do uso do Biodiesel é benéfico em termos de emissões totais dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

CLARK & LYONS (1999) compararam emissões de gases produzidas por oito tratores funcionando com óleo diesel comum e uma proporção de mistura Biodiesel de soja/diesel (B35). Emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado apresentaram-se menores utilizando B35 nos tratores Detroit Diesel Série 60 350 hp (261 kW) e 1989 Cummins 855 (14 L) 315 hp (235 kW), mas ao medir os resultados nos tratores equipados com os motores 1989 Mack E-6 350 hp (261 kW), apenas o monóxido de carbono apresentou-se menor. As emissões de óxidos de nitrogênio apresentaram-se maiores para todos os tipos de motores/tratores com B35.

MUÑOZ et al. (2004) apresentaram resultados de ensaios de motores funcionando com Biodiesel de óleo de girassol. Primeiramente, os ensaios foram executados sem nenhuma alteração nas especificações do fabricante do motor, e, então, o tempo de injeção foi atrasado em 3°. Os resultados apresentaram quedas inconsistentes de emissões. Por exemplo, hidrocarbonetos foi menor apenas em algumas condições de operação do motor, principalmente em rotações menores. As concentrações de óxidos de nitrogênio apresentaram-se sempre maiores em quaisquer condições de operação quando o motor funcionava com Biodiesel. As emissões de monóxido de carbono foram menores para Biodiesel, com exceção de alguns pontos de alta carga. Ao se atrasar o tempo de injeção em 3°, obteve-se maiores emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono para os dois combustíveis e menor óxidos de nitrogênio.

CANAKCI & VAN GERPEN (2003) estudaram o desempenho e as emissões de motor operando com Biodiesel de gordura animal, Biodiesel de soja e óleo diesel comum. Entre as conclusões, pode-se citar que ambos os tipos de Biodiesel forneceram praticamente a mesma eficiência térmica efetiva do que o diesel comum. No entanto, o consumo específico foi maior em 13,5% para Biodiesel de soja e 14,2% para o Biodiesel de gordura animal. O maior consumo de combustível pôde ser atribuído ao seu menor poder calorífico (12% menor que óleo diesel); o motor ao funcionar com biocombustível (ambos os tipos) apresentou diferenças significativas em relação ao monóxido de carbono, hidrocarbonetos e opacidade da fumaça, se comparadas ao óleo diesel. Não houve diferença significativa entre os dois tipos de Biodiesel. Os óxidos de

nitrogênio apresentaram-se maior em 13,1% para Biodiesel de soja e 11,6% para Biodiesel de gordura animal.

XIAOMING et al. (2005) testaram três proporções de mistura Biodiesel/diesel e diesel com baixo teor de enxofre (B20, B50 e B100), em três motores; foram avaliados o desempenho e as emissões de gases dos motores testados. Os resultados indicaram que hidrocarbonetos e monóxido de carbono, material particulado e opacidade da fumaça foram melhores com misturas de Biodiesel. No entanto, houve sensível piora nas emissões de óxidos de nitrogênio, além de pequena queda de potência com as misturas. Os autores concluíram que, quando abastecido com B20 e B50, o consumo de combustível aumentou e a potência diminuiu aproximadamente 8% e 3%, respectivamente. Emissões de monóxido de carbono caíram 11% para B50 e 8% para B20. Material particulado apresentou queda de 12% para B50 e 13% para B20. Óxidos de nitrogênio tiveram comportamento inverso, aumentando 27,4% com B50 e 6,8% com B20. As emissões de hidrocarbonetos reduziram 29,4% com B50 e 7,1% com B20. A opacidade da fumaça foi reduzida de 35 a 65%.

LOPES (2006) quantificou a opacidade da fumaça em trator agrícola funcionando com 14 tipos de Biodiesel em que se variou a matéria-prima de produção, álcool utilizado (metanol e etanol), processo de purificação (destilação e filtragem) e misturas entre Biodiesel, e para cada biocombustível foram feitas sete proporções de mistura Biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100). Observaram-se diferenças significativas em todas as proporções de mistura, evidenciando-se redução da opacidade à medida que se aumentou a quantidade de Biodiesel, destacando-se que a redução média foi de 49% de B0 para B100. O autor pressupõe que esse fato esteja relacionado com a maior eficiência da combustão do Biodiesel em relação ao diesel de petróleo, apesar de não a ter mensurado.

MELLO JUNIOR. (2006), em experimento com trator agrícola, avaliou a opacidade da fumaça em função de proporções de mistura diesel/Biodiesel etílico destilado de soja (B0, B50 e B100) e das condições climáticas no horário de execução do ensaio (1; 4; 7; 10; 13; 16; 19 e 22 h). Os resultados evidenciaram redução da

opacidade à medida que diminuiu a temperatura ambiente e aumentou a umidade relativa do ar, e com o acréscimo da proporção de Biodiesel no diesel.

CAMARA et al. (2007) mensuraram a opacidade da fumaça em trator agrícola funcionando com proporções de mistura diesel / Biodiesel etílico de dendê (B0, B5, B25, B50 e B100). Os resultados evidenciaram redução (52,8%) na opacidade com o aumento da proporção de Biodiesel no diesel.

LOPES et al. (2007) quantificaram a opacidade da fumaça em trator agrícola alimentado com diesel metropolitano e interior. Os resultados revelaram que a opacidade do diesel interior foi 17% superior a do metropolitano. Os autores evidenciam que a decisão da ANP em diminuir o teor de enxofre do diesel contribui para a melhoria da qualidade do ar, no que se refere à emissão de material particulado.

TABILE et al. (2007) avaliaram a opacidade da fumaça em trator agrícola alimentado com dois tipos de Biodiesel metílico de gordura hidrogenada (filtrado e destilado) e sete proporções mistura Biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100). Com relação às proporções de mistura de Biodiesel no diesel, os autores afirmam que a adição de 5% de Biodiesel ao diesel já melhora significativamente a opacidade da fumaça (redução de 4,7%), tendo o mesmo comportamento à medida que se aumentam as proporções de mistura Biodiesel/diesel diminuindo em 48%, comparado-se B0 e B100. Observou-se, também, que o Biodiesel destilado emitiu menos material particulado.

6 Rendimento do Biodiesel

Os primeiros estudos com Biodiesel começaram segundo PETERSON & REECE (1999), com o uso de óleo de colza, em 1979, como combustível alternativo. Desde então, diversos outros trabalhos foram realizados com diferentes tipos de óleos vegetais puros ou misturados com diesel. O estudo do uso de 12 combustíveis alternativos, produzidos pela mistura de óleos vegetais com óleo diesel, realizado por ALI & HANNA (1996), em bancada dinamométrica, mostrou que o desempenho do motor foi similar ao obtido com óleo diesel.

FERRARI et al. (2005a) realizaram testes de consumo de combustível horário em um gerador de energia de Marca Yanmar do Brasil S.A. NSB50 – Kohlbach S.A. Rot. 1800/Hz 60, mantido sob as mesmas condições de operação. Foram utilizados diesel puro e proporções de mistura diesel/Biodiesel (B5, B10, B20, B40, B60, B80 e B100). Os resultados demonstraram que, até B20, ocorreu diminuição do consumo do combustível pelo equipamento; acima disso ocorreu elevação no consumo do combustível.

MONYEM & VAN GESPEN (2001) também observaram que o desempenho do motor com Biodiesel puro e suas misturas foi similar à observada com diesel combustível com a mesma eficiência térmica, mas o consumo de combustível foi maior, devido, possivelmente, a seu menor poder calorífico.

AGARWAL & DAS (2001), testando motor de ciclo Diesel, encontraram que B20 teve melhor desempenho entre todas as misturas analisadas, obtendo benefício de 2,5% na máxima eficiência térmica, com substancial redução nos teores de fumaça.

DORADO et al. (2002) concluíram que o motor de ciclo diesel, analisado sem nenhuma modificação, funcionou com B10 de óleo de fritura sem nenhum dano aparente nos componentes do motor.

AL-WIDYAN et al.(2002), estudando o potencial do Biodiesel para substituição ao óleo diesel, obtiveram resultados que indicaram que as diversas proporções de mistura diesel/Biodiesel estudadas queimaram com maior eficiência e com menor consumo específico de combustível que o diesel puro, resultando, portanto, em maior eficiência térmica do motor. Além disso, as misturas produziram menos monóxido de carbono que o óleo diesel. B100 e B75 tiveram o melhor desempenho, enquanto B50 resultou em menor emissão de gases.

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 com motor turbinado e potência de 180 kW (238 cv). O ônibus percorreu 915 km em condições normais de trabalho, utilizando B20. 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).

SILVA et al. (2006) ensaiaram trator com potência nominal de 59 kW (78 cv) a 2.300 rpm, alimentado com proporções de mistura diesel/Biodiesel de óleo residual (B0, B50 e B100). Foi utilizado um dinamômetro para medição do torque e da potência do motor, mensurados pela TDP do trator, em regime de plena carga para as rotações no motor de 2.200, 1.889, 1.700 e 1.500 rpm. Concluíram que a utilização do Biodiesel reduziu a potência do motor a 91,3% e 97% e o torque a 93,8% e 97,1%, quando se utilizou respectivamente, B100 e B50, em relação à potência e ao torque produzidos quando se utilizou o diesel mineral; o consumo do B100 foi praticamente o mesmo do diesel mineral, verificando-se consumo horário 7,6% maior quando se utilizou o B50.

Utilizando motor de ciclo diesel, de injeção direta, de um cilindro e sem adaptações, RABELO (2001) observou que a mistura de Biodiesel e diesel resultou 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 em melhoria do rendimento para rotações acima de 1.800 rpm.

SCHUMACHER et al. (1993) avaliaram o funcionamento de caminhonetes, tratores, veículos de aeroportos e ônibus urbanos usando Biodiesel na ordem de 20 a 100%. Os resultados não apontaram indícios de aumento de desgaste, comprometimento de potência ou redução na durabilidade.

PETERSON et al. (1996) testaram Biodiesel do tipo etílico filtrado, produzido à base de sementes de colza, em 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 utilizou-se B100, a potência do motor foi reduzida em 1,8% ao mesmo tempo que aumentou o consumo horário em 8,9%, para a rotação média de 2.500 rpm, porém nenhum problema foi observado no veículo.

OLIVEIRA & COSTA (2002) realizaram ensaios com proporções de mistura diesel/Biodiesel e comprovam o potencial dessa alternativa, sugerindo B20; mesmo considerando o aumento no consumo horário decorrente do balanço desfavorável entre o maior número de cetano e o menor poder calorífico inferior, o Biodiesel demonstra-se viável tecnicamente

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 B50 não alterou o consumo; quando o trator funcionou com B100, o consumo de combustível específico aumentou 11%, entretanto, não foram observadas anomalias no funcionamento.

GROTTA (2003) avaliou o consumo de combustível em trator agrícola, em operação de gradagem, em quatro velocidades de deslocamento do conjunto motomecanizado (2,7; 4,3; 6,0 e 6,7 km h⁻¹); evidenciaram que a proporção de mistura diesel/Biodiesel não comprometeu o desempenho do trator nem alterou seu consumo de combustível até B50; quando funcionou com B100, também não se observou alteração no desempenho, entretanto o consumo de combustível horário aumentou, 4,9% o consumo ponderal 13,0% e o consumo específico 11,4%

LOPES (2006) conduziu experimento para avaliar o desempenho de trator agrícola alimentado com 14 tipos de Biodiesel, em que se variava a matéria-prima de produção, álcool utilizado (metanol e etanol), processo de purificação (destilação e filtração) e misturas entre Biodiesel, e para cada biocombustível foram feitas sete proporções de mistura Biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100). Comparando B0 e B100, concluiu-se que, com o acréscimo da proporção de Biodiesel, o consumo horário volumétrico variou de 6,4 a 24,8%, de acordo com o tipo de biocombustível, apresentando média geral de 13,3%; para o consumo horário ponderal, a variação foi de 7,5 a 29,2%, com média geral de 15,6%. Segundo o autor, isso é devido ao menor poder calorífico do Biodiesel em relação ao diesel. Para o consumo específico, verificou-se semelhança entre B0 e B5, e entre B15 e B25, entretanto, B50, B75 e B100 foram diferentes entre si e das demais, com aumento médio de 17%, confrontando B0 e B100.

III MATERIAL E MÉTODOS

1 Material

1.1 Área experimental

O trabalho foi conduzido nas dependências do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola - LAMMA, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Jaboticabal. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, 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.

1.2 Solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, com relevo suave ondulado e declividade média de 3%, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

1.3 Biodiesel

O Biodiesel utilizado foi do tipo mamona etílico destilado. 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, num sistema de parceria com a UNESP - Jaboticabal desde o ano de 2001.

1.4 Diesel

Foram utilizados dois tipos de óleo diesel classificados de acordo com a resolução da ANP N° 15, de 17 de julho de 2006 (BRASIL, 2006b) como: óleo diesel interior, tendo quantidade de enxofre total máxima de 2.000 mg kg^{-1} e massa específica a 20°C entre 820 e 880 kg m^{-3} , advindo da cidade de Jaboticabal - SP; e óleo diesel metropolitano, tendo quantidade de enxofre total máxima de 500 mg kg^{-1} e massa específica a 20°C entre 820 e 865 kg m^{-3} , advindo da cidade de São Paulo - SP. No Apêndice 2, encontram-se as características dos óleos utilizados.

1.5 Tratores

Trator de teste - marca Valtra, modelo BM 100, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de $73,6 \text{ kW}$ (100 cv) no motor a 2.350 rpm , massa total de 5.400 kg , distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, equipado com pneus $14.9-24$ no eixo dianteiro e $23.1-26$ no eixo traseiro, sendo tal trator instrumentado para a realização do teste.

Trator de frenagem - marca Valtra, modelo BH140, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 103 kW (140 cv) no motor a 2.400 rpm , massa total de 7.400 kg , distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, equipado com pneus $14.9-24$ no eixo dianteiro e $23.1-26$ no eixo traseiro.

Os tratores estão ilustrados na Figura 2, e as principais características dos mesmos encontram-se no Apêndice 1.



FIGURA 2. Vista lateral dos tratores (esquerda BH140, direita BM100).

1.6 Escarificador

Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator de teste, no ensaio preliminar, foi utilizado um escarificador da marca Marchesan, modelo AST/MATIC 7, regulado com cinco hastes, com espaçamento entre si de 45 cm, ponteira sem asa com 8 cm de largura, equipado com discos de corte de palha individuais para cada haste, sistema de segurança nos braços e rolo destorroador laminar para a acomodação do solo, apresentando massa total de 1.400 kg.

1.7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho

O trator de ensaios utilizado, encontra-se instrumentado com um protótipo desenvolvido e descrito por LOPES (2006).

1.7.1 Rotação da tomada de potência

A rotação da tomada de potência foi obtida por meio de sistema constituído por roda dentada com 60 dentes e um sensor magnético, com frequência máxima de saída

de 8.000 Hz. Cada volta completa da TDP equivalia a 60 pulsos detectados pelo sensor.

1.7.2 Rotação dos rodados

Foi instalado um sensor encoder da marca S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo GIDP-60-U-12V, em cada roda do trator, fornecendo, assim, o número de pulsos individual para as quatro rodas. Esse equipamento tem o princípio de funcionamento com base no deslocamento angular, e cada volta completa da roda corresponde a 60 pulsos fornecidos pelo sensor.

1.7.3 Velocidade de deslocamento

A velocidade real de deslocamento foi determinada por meio de radar da marca Dick John, modelo RVS II, com erro de $\pm 3\%$ para velocidades de 3,2 a 70,8 km h⁻¹, instalado na parte inferior do trator de teste, fazendo ângulo de 45° com a superfície do solo, conforme recomendação do fabricante. Considerou-se a velocidade real de deslocamento, aquela obtida pelo radar no momento em que o trator de teste estava em operação. Os valores de velocidade foram obtidos km h⁻¹.

1.7.4 Força na barra de tração

A força na barra de tração foi obtida por meio de célula de carga da marca M.Shimitsu, modelo TF 400, com escala nominal de 0 a 100 kN, acoplada à barra de tração do trator, sendo os valores de força obtidos em kN.

Para a montagem da célula de carga, utilizou-se de sistema em formato de berço para a acomodação e proteção da mesma. Tal estrutura foi fixada no trator de teste e teve a função de absorver todo o tipo de impacto lateral, vertical, horizontal ou torção que pudesse comprometer a integridade física da célula de carga, provocado por acidentes devido a manobras ou mesmo em paradas bruscas.

1.7.5 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado, obtendo-se o volume e a temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora e o volume e a temperatura do combustível que retorna ao tanque, sendo o combustível consumido a diferença entre as duas medidas. A temperatura do combustível medida foi utilizada para a correção da densidade do combustível.

O sistema consiste em dois conjuntos, um para a alimentação da bomba injetora e o outro para o retorno. Cada conjunto contém um medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSN 48, com precisão de 1% sobre a vazão nominal e vazão máxima de 100 L h^{-1} , e um sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100 ohms a 0°C) com faixa de medida de -200°C a 800°C . Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em mL s^{-1} e a temperatura em $^\circ\text{C}$. O sistema conta com três depósitos auxiliares de combustível, permitindo a realização de ensaios com vários tipos de combustíveis sem contaminar o tanque original do trator.

1.7.6 Sistema de aquisição de dados

Todos os transdutores e sensores foram alimentados a partir de uma bateria auxiliar, montada junto ao sistema de aquisição de dados. Os dados referentes a consumo de combustível, temperatura do combustível, força na barra de tração, rotação dos rodados, rotação da tomada de potência e velocidade de deslocamento foram monitorados e armazenados em um sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific modelo Microllogger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232), para um computador a fim de serem processados.



FIGURA 3. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.

Fonte: LOPES (2006)

1.8 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça

1.8.1 Opacímetro

A opacidade da fumaça foi medida por um opacímetro de absorção de luz com fluxo parcial, da marca Tecnomotor, modelo TM 133, compatível com as normas NBR 13037, Inmetro, CEE 72/306.

O opacímetro está ligado ao controlador serial da marca Tecnomotor, modelo TM 616, que recebe os sinais do sensor e as converte em unidade de medida. Tal equipamento exporta os dados convertidos para computadores por meio de conexão serial, cuja interface é o *software* denominado IGOR, que gerencia os ensaios. Os equipamentos são apresentados na Figura 4.

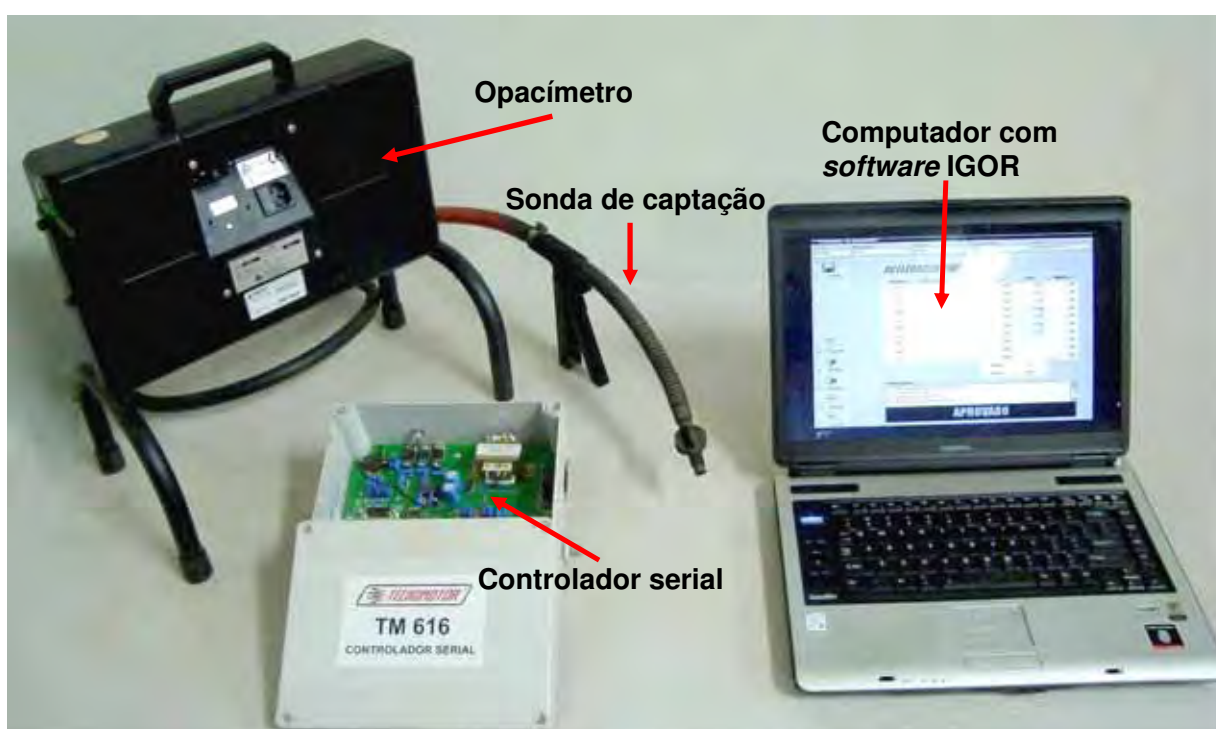


FIGURA 4. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.

O opacímetro é um equipamento montado no escapamento do veículo ou no banco de provas para a medição da fumaça do gás de escapamento. Em motores diesel, o gás de escapamento contém partículas suspensas que, ao serem atravessadas por um fecho de luz, obscurecem, refletem ou refratam a luz. Os opacímetros de fluxo parcial realizam a medição da fuligem do gás de escapamento, com parte do fluxo total de gás, coletado por meio de uma sonda e um tubo de captação, montados no cano de escape do motor. A fumaça do escapamento coletada pela sonda do opacímetro é levada até a câmara de medição, na qual existe um emissor de luz e um receptor. Ao passar pela câmara, a fumaça provoca alterações no

facho de luz, sendo a porção captada pelo receptor processada pelo equipamento, conforme a Figura 5.



FIGURA 5. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.

Fonte: LOPES (2006)

2 Métodos

2.1 Condução do trabalho

O trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira, dinâmica, realizada em condições de campo, com o intuito de avaliar o desempenho do trator; a segunda foi estática, realizada com o trator estacionado, com o intuito de avaliar a opacidade da fumaça do motor do trator. Para facilitar o entendimento, os experimentos foram divididos em tópicos, apresentados da seguinte forma:

- Ensaio I - Desempenho do trator, e
- Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator.

2.2 Delineamento experimental

Ensaio I – o ensaio de desempenho teve delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial $2 \times 2 \times 7$, com três repetições, totalizando 84 observações. As combinações dos fatores foram dois tipos de diesel (interior e metropolitano), duas cargas na barra de tração (13 e 23 kN) e sete proporções de mistura diesel/Biodiesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a percentagem de Biodiesel no diesel). Cada parcela experimental possuía 30 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 15 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização do conjunto motomecanizado em cada tratamento.

Ensaio II – o ensaio de opacidade teve delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 2×7 , com três repetições, totalizando 42 observações. As combinações dos fatores foram dois tipos de diesel (interior e metropolitano) e sete proporções de mistura diesel/Biodiesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a percentagem de Biodiesel no diesel).

2.3 Tratamentos

As combinações e respectivas designações dos tratamentos dos ensaios I e II são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 5 e 6. A localização e a distribuição das repetições de cada tratamento na área do ensaio de desempenho encontram-se ilustradas na Figura 6.

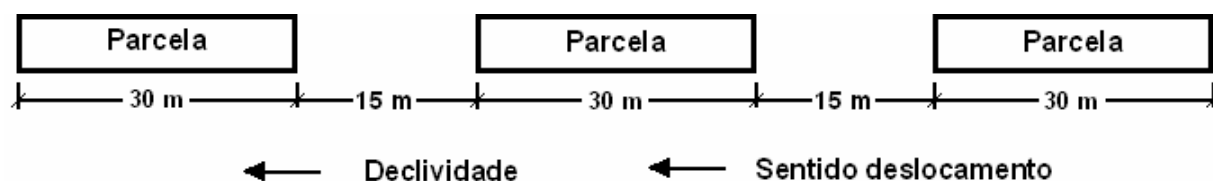


FIGURA 6. Esquema das parcelas.

TABELA 5. Relação e designação dos tratamentos do ensaio I.

Tratamentos	Fatores comparativos				Designação
	Tipo de diesel	Força na barra de tração	Proporção %		
			Biodiesel	Diesel	
T1	Interior	13 kN	0	100	IC1-B0
T2	Interior	13 kN	5	95	IC1-B5
T3	Interior	13 kN	15	85	IC1-B15
T4	Interior	13 kN	25	75	IC1-B25
T5	Interior	13 kN	50	50	IC1-B50
T6	Interior	13 kN	75	25	IC1-B75
T7	Interior	13 kN	100	0	IC1-B100
T8	Interior	23 kN	0	100	IC2-B0
T9	Interior	23 kN	5	95	IC2-B5
T10	Interior	23 kN	15	85	IC2-B15
T11	Interior	23 kN	25	75	IC2-B25
T12	Interior	23 kN	50	50	IC2-B50
T13	Interior	23 kN	75	25	IC2-B75
T14	Interior	23 kN	100	0	IC2-B100
T15	Metropolitano	13 kN	0	100	MC1-B0
T16	Metropolitano	13 kN	5	95	MC1-B5
T17	Metropolitano	13 kN	15	85	MC1-B15
T18	Metropolitano	13 kN	25	75	MC1-B25
T19	Metropolitano	13 kN	50	50	MC1-B50
T20	Metropolitano	13 kN	75	25	MC1-B75
T21	Metropolitano	13 kN	100	0	MC1-B100
T22	Metropolitano	23 kN	0	100	MC2-B0
T23	Metropolitano	23 kN	5	95	MC2-B5
T24	Metropolitano	23 kN	15	85	MC2-B15
T25	Metropolitano	23 kN	25	75	MC2-B25
T26	Metropolitano	23 kN	50	50	MC2-B50
T27	Metropolitano	23 kN	75	25	MC2-B75
T28	Metropolitano	23 kN	100	0	MC2-B100

TABELA 6. Relação e designação dos tratamentos do ensaio II.

Tratamentos	Fatores comparativos			Designação
	Tipo de diesel	Proporção %		
		Biodiesel	Diesel	
T1	Interior	0	100	I-B0
T2	Interior	5	95	I-B5
T3	Interior	15	85	I-B15
T4	Interior	25	75	I-B25
T5	Interior	50	50	I-B50
T6	Interior	75	25	I-B75
T7	Interior	100	0	I-B100
T8	Metropolitano	0	100	M-B0
T9	Metropolitano	5	95	M-B5
T10	Metropolitano	15	85	M-B15
T11	Metropolitano	25	75	M-B25
T12	Metropolitano	50	50	M-B50
T13	Metropolitano	75	25	M-B75
T14	Metropolitano	100	0	M-B100

2.4 Ensaio I - Desempenho do trator

2.4.1 Propriedades físicas do solo

2.4.1.1 Granulometria

Essa análise seguiu a rotina do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Jaboticabal, conforme descrito em EMBRAPA (1997).

2.4.1.2 Resistência mecânica do solo à penetração

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração foi realizada no dia da operação de escarificação, de forma aleatória, em 10 pontos da área amostral, utilizando-se o penetrógrafo eletrônico marca DLG modelo PNT-2000/MOTOR, compatível com a norma ASAE S313.3, coletando-se dados até a profundidade de 45 cm, com intervalo de uma leitura por centímetro.

O penetrógrafo hidráulico-eletrônico possuía haste com ponteira cônica (129 mm²), célula de carga e sistema de aquisição de dados para medição da força de reação do solo, para posterior construção dos gráficos de resistência mecânica do solo à penetração.

2.4.1.3 Teor médio de água no solo

Foram coletadas 10 amostras de solo, utilizando como referencial os pontos de amostragem da resistência mecânica a penetração, para a determinação do teor de água no perfil de 0-15; 15-30 e 30-45 cm de profundidade no dia da operação de escarificação.

O método utilizado foi o gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 °C até massa constante, conforme EMBRAPA (1997), e os resultados apresentados em valor percentual, utilizando-se da equação (1):

$$U = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s - T_a} \right) 100 \quad (1)$$

em que,

U = teor de água no solo (%);

M_u = massa úmida (g);

M_s = massa seca (g), e

T_a = tara (g).

2.4.2 Uso dos tratores

Foi realizado um ensaio preliminar, também denominado de experimento-piloto, com a finalidade de definir a carga na barra de tração do trator de teste, para o ensaio de desempenho. O ensaio compreendia a operação de escarificação da área experimental em duas profundidades de trabalho, 15 e 30 cm; a força de tração necessária para realizar essa operação foi mensurada, resultando em 13 e 23 kN. Devido à grande variabilidade na resistência do solo durante a operação, o escarificador foi substituído por um segundo trator, denominado trator de frenagem.

Esse, foi acoplado ao trator de teste por meio de um cabo de aço, formando um comboio e em virtude da combinação de marchas do trator de frenagem, o esforço na barra de tração foi semelhante à escarificação a 15 e 30 cm de profundidade. O trator de frenagem foi utilizado desligado e engrenado, pois a única função era oferecer sempre a mesma carga na barra de tração do trator de teste. A dinâmica do ensaio é ilustrada conforme Figura 7.

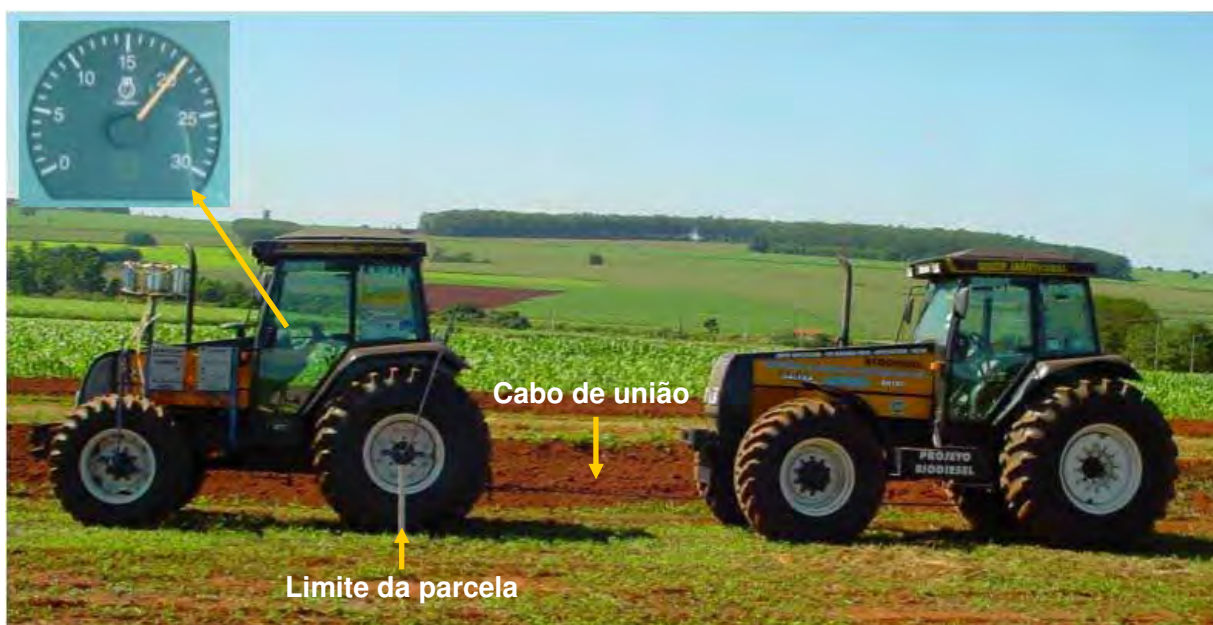


FIGURA 7. Dinâmica do ensaio de desempenho.

Fonte: LOPES (2006)

Em todas as parcelas, procurando estabilizar as determinações, o trator de teste iniciava o movimento num espaço de 15 m, antes da primeira baliza, que demarcava o início da medição. Quando o referencial do trator, centro do rodado traseiro, coincidia com a primeira baliza, era acionado o sistema de aquisição de dados. O procedimento era interrompido quando decorridos os 30 m de comprimento da parcela, momento em que o centro do rodado traseiro coincidia com a segunda baliza.

Referente ao ensaio de desempenho, simultaneamente, em cada parcela, o sistema de instrumentação fornecia diretamente:

- Tempo de percurso;
- Velocidade real de deslocamento;
- Força integrada;
- Rotação integrada da tomada de potência;
- Volume de combustível consumido;
- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora;
- Número de pulsos individual das rodas dianteira direita e esquerda, e
- Número de pulsos individual das rodas traseira direita e esquerda.

2.4.3 Rotação média do motor

A rotação do motor foi determinada de forma indireta, utilizando-se da rotação da tomada de potência e da relação de transmissão do trator. Para o cálculo da rotação média do motor, utilizou-se da equação (2):

$$R_m = RTDP * RT \quad (2)$$

em que,

R_m = rotação média do motor (rpm);

$RTDP$ = rotação da tomada de potência (rpm), e

RT = relação de transmissão do trator de teste, entre o motor e a TDP (3,703).

2.4.4 Patinagem dos rodados

A patinagem foi determinada individualmente para cada roda do trator, sendo possível verificar o comportamento individualizado nas quatro rodas. O sistema de instrumentação forneceu o valor integrado do número de pulsos de cada roda, no momento em que o trator operava na condição com e sem carga na barra de tração. A condição sem carga na barra, denominada condição zero (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1997), foi determinada em local plano de pista pavimentada. Para o cálculo da patinagem, utilizou-se da equação (3):

$$P = \left(1 - \frac{NPS}{NPC}\right) * 100 \quad (3)$$

em que,

P = patinagem (%);

NPC = número de pulsos do rodado do trator operado com carga

NPS = número de pulsos do rodado do trator operado sem carga, e

100 = fator de conversão.

Os resultados apresentados são a média aritmética da patinagem dos rodados dianteiros e traseiros.

2.4.5 Velocidade real de deslocamento

A velocidade de deslocamento foi medida de forma direta pelo radar.

2.4.6 Força média na barra de tração

A força média na barra de tração exercida pelo trator de teste foi determinada de forma direta pela célula de carga acoplada ao trator de teste. Os valores fornecidos em kgf foram transformados em kN, conforme equação (4):

$$FT = \left(\frac{F_t}{1000} \right) * 9,81 \quad (4)$$

em que,

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

Ft = força de tração média (kgf), e

1000 e 9,81 = fator de conversão.

2.4.7 Potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi determinada de forma indireta, conforme equação (5):

$$PB = FT * \frac{Vel}{3,6} \quad (5)$$

em que,

PB = potência na barra de tração (kW);

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

Vel = velocidade real de deslocamento (km h⁻¹), e

3,6 = fator de conversão.

2.4.8 Densidade do combustível

A densidade do combustível varia em função da temperatura e da proporção de mistura diesel/Biodiesel, influenciando no consumo de combustível e conseqüentemente, no desempenho do trator; por esse motivo, ensaios foram realizados para sua verificação.

Para a determinação da densidade, foi verificada a massa de 100 mL de combustível, a temperatura de 10°C com auxílio de uma proveta graduada, uma balança de precisão e um termômetro digital. O combustível foi aquecido, com o auxílio

de manta aquecedora, até a temperatura de 70°C, e a variação do volume do combustível na proveta foi monitorada em intervalos de 5°C.

Tal procedimento foi realizado para o diesel interior e metropolitano, em cada uma das sete proporções de misturas; com base nos dados obtidos, foram geradas as equações (6) e (7).

$$D_{int} = -0,0095 T^2 + 0,00173 P^2 - 0,0124 T + 0,5723 P - 0,0016 T P + 851 \quad (6)$$

$$D_{met} = -0,00965 T^2 + 0,00223 P^2 - 0,00084 T + 0,581 P - 0,00161 T P + 845 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,98 \text{ (equações 6 e 7).}$$

em que,

D_{int} = densidade da mistura diesel interior e Biodiesel (kg m^{-3});

D_{met} = densidade da mistura diesel metropolitano e Biodiesel (kg m^{-3});

T = temperatura do combustível ($^{\circ}\text{C}$);

P = proporção de Biodiesel (%), e

R^2 = coeficiente de determinação das regressões.

A densidade média do combustível foi obtida pela média aritmética da densidade, para o diesel metropolitano e o interior.

2.4.9 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi medido, em cada parcela, em unidade de volume (mL), obtendo-se o volume total de alimentação na entrada da bomba injetora e o volume total retornado, sendo o combustível consumido a diferença entre as duas medidas. De posse desses dados, determinaram-se o consumo horário (volumétrico e ponderal) e o consumo específico.

2.4.10 Consumo horário volumétrico

Com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário volumétrico, conforme equação (8):

$$Chv = \left(\frac{Va - Vr}{t} \right) * 3,6 \quad (8)$$

em que,

Chv = consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$);

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

3,6 = fator de conversão.

2.4.11 Consumo horário ponderal

Para o cálculo do consumo horário ponderal, considerou-se a influência da densidade do combustível de alimentação e o retorno no momento do teste, conforme equação (9):

$$Chp = \frac{(Va * Dca - Vr * Dcr)}{t} * 0,0036 \quad (9)$$

em que,

Chp = consumo horário ponderal ($kg h^{-1}$);

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Dca = densidade do combustível de alimentação ($kg m^{-3}$);

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

Dcr = densidade do combustível de retorno ($kg m^{-3}$);

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

0,0036 = fator de conversão.

2.4.12 Consumo específico

Consumo específico é o consumo de combustível expresso em unidade de massa por unidade de potência requerida na barra de tração, conforme equação (10):

$$C_e = \left(\frac{Ch_p}{PB} \right) * 1000 \quad (10)$$

em que,

C_e = consumo específico ($g \text{ kW h}^{-1}$);

Ch_p = consumo horário ponderal ($kg \text{ h}^{-1}$);

PB = potência na barra de tração (kW), e

1000 = fator de conversão.

2.5 Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator

Os ensaios foram realizados de acordo com o método da aceleração livre, que é o regime em que o motor é submetido ao máximo débito de combustível, 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 realizadas determinando-se o coeficiente de absorção de luz K , expresso em m^{-1} (TECNOMOTOR, 2001).

A opacidade da fumaça foi determinada no trator de testes marca Valtra, modelo BM100. Ao término de cada determinação, realizou-se a drenagem completa do sistema de alimentação, evitando, com isso, a contaminação do ensaio seguinte. Além disso, depois de trocado o combustível, o motor ficou em funcionamento em torno de dez minutos antes do início de cada teste.

2.6 Análise estatística

2.6.1 Análise de variância e teste de médias

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, conforme recomendação de PIMENTEL GOMES (1987) e BANZATTO & KRONKA (2006).

2.6.2 Análise de regressão

Para o consumo específico, foi estudado um modelo de ajuste de regressão que melhor explicasse o comportamento do mesmo, em função da proporção de Biodiesel. Para o caso da densidade, procurou-se o modelo de superfície de resposta que explicasse essa variável em função da temperatura e da proporção de Biodiesel.

Neste trabalho, utilizou-se da análise de variância (teste F) para selecionar o modelo de equação de maior expoente significativo.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para maior clareza e melhor interpretação dos resultados, a apresentação geral encontra-se na seguinte ordem:

- Ensaio I – Desempenho do trator.
- Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator.

Nos apêndices, estão inseridas informações complementares sobre os tratores e a especificação do diesel de acordo com a resolução da ANP N° 15, de 17 de julho de 2006 (BRASIL, 2006b).

1 Ensaio I - Desempenho do trator

Os resultados de desempenho do trator foram apresentados na forma de equações, figuras e tabelas. Ressalta-se que, a interpretação dos mesmos se inicia pelo teste F; caso esse seja significativo para algum dos fatores (tipo de diesel, proporção de Biodiesel ou carga na barra), o teste de Tukey é aplicado junto à média na própria tabela. Caso a interação seja significativa, a interpretação terá como base tabela complementar de desdobramento.

Nas tabelas nas quais se encontra a síntese da análise de variância e teste de médias dos itens avaliados, os dados referentes aos fatores tipo de diesel, proporção de Biodiesel e carga na barra representam médias de 56; 16 e 56 observações, respectivamente. Os resultados de cada variável foram discutidos em tópicos separados para facilitar o entendimento.

1.1 Propriedades físicas do solo

O teor médio de água no dia do ensaio, no perfil de 0-15, 15-30 e 30-45 cm de profundidade, foi, respectivamente, 11,2; 13,4 e 15,1%. A análise granulométrica da camada de 0-20 cm para argila, silte e areia foi 51; 29; e 20%, respectivamente, sendo

o mesmo considerado como textura argilosa. A Figura 8 representa graficamente a média da resistência mecânica do solo a penetração na área experimental.

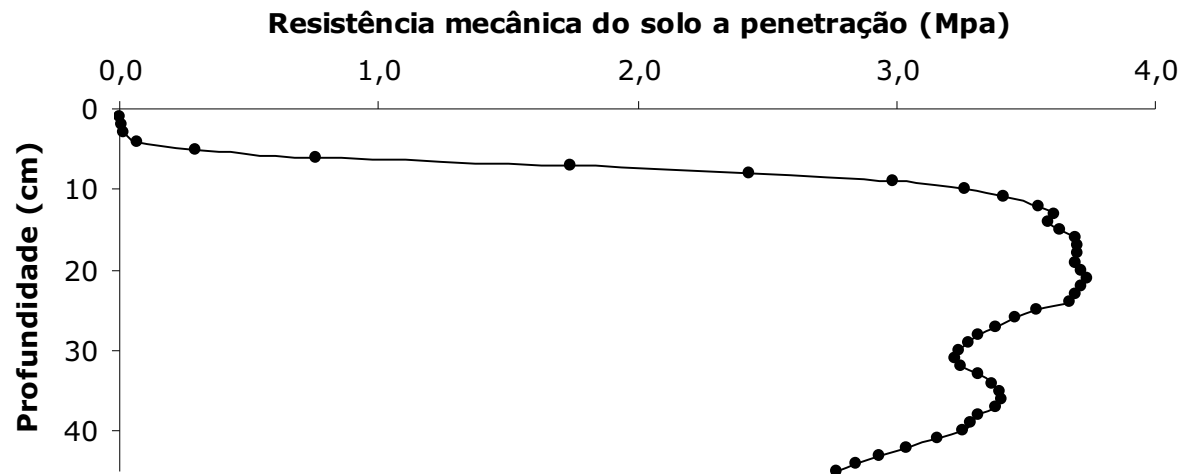


FIGURA 8. Resistência mecânica do solo a penetração na área experimental.

Na Tabela 7, encontram-se a síntese da análise de variância e o teste de médias, para as variáveis rotação do motor, patinagem média dos rodados e velocidade de deslocamento.

TABELA 7. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis rotação no motor (Rot motor), patinagem média dos rodados, velocidade de deslocamento e potência média na barra de tração.

Fatores	Rot motor rpm	Patinagem %	Velocidade km h ⁻¹	Potência kW
Tipo de diesel (D)				
Interior	1.921 A	8,4 A	5,5 A	26,77 A
Metropolitano	1.915 A	8,8 A	5,4 A	26,81 A
Proporção de Biodiesel (B)				
B0	1.937	8,3 A	5,5	27,36 A
B5	1.936	8,8 A	5,5	26,80 A
B15	1.933	8,4 A	5,5	26,80 A
B25	1.920	8,6 A	5,5	26,90 A
B50	1.915	9,1 A	5,4	27,31 A
B75	1.905	8,3 A	5,4	26,27 A
B100	1.879	8,5 A	5,3	26,09 A
Carga na barra (C)				
13 kN	1.953	8,1 A	5,6	19,74 A
23 kN	1.883	9,2 B	5,3	33,84 B
Teste F				
Tipo de diesel (D)	3,51 ns	2,53 ns	1,44 ns	0,01 ns
Proporção de Biodiesel (B)	52,60 **	3,02 ns	9,73 **	0,81 ns
Carga na barra (C)	1.070,28 **	74,67 **	418,01 **	1.242,35 **
D x B	2,16 ns	0,52 ns	1,23 ns	1,11 ns
D x C	2,04 ns	1,33 ns	1,44 ns	0,10 ns
B x C	5,19 **	1,18 ns	2,97 *	1,31 ns
D x B x C	1,39 ns	1,43 ns	1,23 ns	1,33 ns
CV %	0,52	6,03	1,50	6,85

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; quando desacompanhada de letras, implica interação significativa, necessitando de quadro de desdobramento.

** : significativo (P<0,01); * : significativo (P<0,05); ns : não-significativo; CV : coeficiente de variação

1.2 Rotação média do motor

Verifica-se, na Tabela 7, que o tipo de diesel não influenciou na rotação média do motor, e a ocorrência de interação significativa entre os fatores proporção de Biodiesel e carga na barra indica que os fatores agem conjuntamente sobre a mesma, sendo o desdobramento apresentado na Tabela 8.

TABELA 8. Desdobramento da interação proporção de Biodiesel e carga na barra para a variável rotação no motor (rpm).

Carga na barra	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
13 kN	1.968 Bc	1.966 Bc	1.964 Bc	1.955 Bbc	1.951 Bbc	1.939 Bab	1.929 Ba
23 kN	1.906 Ad	1.905 Ad	1.901 Acd	1.885 Abc	1.879 Ab	1.870 Ab	1.830 Aa

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

Pela Tabela 8, analisando a rotação média do motor na linha, para a carga de 13 kN, até B50 não houve diferença significativa; na carga de 23 kN, houve diferença a partir de B15. Comparando B0 a B100, a rotação do motor reduziu 2% na carga de 13 kN e 4% na carga de 23 kN. Essa redução pode ser explicada devido ao menor poder calorífico do Biodiesel em relação ao diesel. Resultados semelhantes também foram encontrados por COSTA NETO et al. (2000).

Analisando a rotação média do motor nas colunas, verifica-se que, para todas as proporções, a carga na barra de 23 kN apresentou redução de valores em relação à carga na barra de 13 kN, sendo de 3,2% para B0 e 5,1% para B100, em função da maior exigência de potência solicitada ao motor, contudo o funcionamento permaneceu na região de regime do motor.

Foi constatada durante a execução do experimento, a dificuldade em fazer circular pelo sistema de alimentação do protótipo de medição do consumo de combustível, as proporções de mistura Biodiesel/diesel B50, B75 e B100, devido à alta

viscosidade do Biodiesel de mamona. Os resultados apresentados equivalem-se àqueles encontrados por LOPES (2006) e SILVA et al. (2006).

1.3 Patinagem dos rodados

Verifica-se, na Tabela 7, que os fatores tipo de diesel e proporção de Biodiesel não influenciaram na patinagem dos rodados. Registra-se que os valores de 8,1 e 9,2% encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1989), para solos não-mobilizados, e que o aumento de 18,5% na patinagem entre as cargas de 13 e 23 kN é aceitável, considerando-se o aumento de trabalho produzido.

Ressalta-se que patinagem muito baixa pode ser indício que o trator está com lastro excessivo ou subutilizado, o que aumenta o custo da hora trabalhada, também acelerando o desgaste do mesmo. Os resultados deste trabalho concordam com aqueles apresentados por YANAI & LANÇAS (2001) e BARBOSA et al. (2005).

1.4 Velocidade de deslocamento

Verifica-se, na Tabela 7, que o tipo de diesel não influenciou na velocidade de deslocamento; observou-se, também, que ocorreu interação significativa entre os fatores proporção de Biodiesel e carga na barra, sendo o desdobramento apresentado na Tabela 9.

TABELA 9. Desdobramento da interação proporção de Biodiesel e carga na barra para a variável velocidade de deslocamento (km h^{-1}).

Carga na barra	Proporção de Biodiesel					
	B0	B5	B15	B25	B50	B75 B100
13 kN	5,7 Ba	5,7 Ba	5,7 Ba	5,6 Ba	5,6 Ba	5,6 Ba
23 kN	5,4 Ac	5,4 Ac	5,3 Abc	5,3 Abc	5,3 Abc	5,2 Ab 5,1 Aa

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

Pela Tabela 9, analisando-se a velocidade de deslocamento na linha, para a carga na barra de 13 kN não houve diferença significativa. Para a carga na barra de 23 kN, até B50 não houve diferença significativa; comparando B0 a B100, a redução foi de 5,6%. Analisando a velocidade nas colunas, verifica-se que, para todas as proporções, a carga na barra de 23 kN apresentou redução de valores em relação à carga na barra de 13 kN, sendo de 5,3% para B0 e 8,9% para B100, resultado da maior exigência de força para a realização do trabalho. Essa redução ocorreu devido ao aumento da patinagem e da queda na rotação do motor na carga de 23 kN.

1.5 Potência na barra de tração

Verifica-se, na Tabela 7, que os fatores tipo de diesel e proporção de Biodiesel não influenciaram na potência na barra de tração, que apresentou média de 26,79 kN, explicado por essa ser o produto da força com a velocidade, que, neste experimento, não apresentaram variações significativas. Comparando-se as cargas de 13 e 23 kN, o incremento de exigência de potência foi 71,5%.

1.6 Densidade do combustível

Nas Tabelas 10 e 11, são apresentados os valores da densidade do combustível em função da proporção de mistura e da temperatura do mesmo, para o diesel interior e metropolitano, respectivamente.

TABELA 10. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e da proporção de mistura com diesel interior (kg m^{-3}).

T (°C)	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
10	850	853	859	865	882	901	923
15	849	851	857	863	880	900	921
20	847	850	855	862	878	897	918
25	845	847	853	859	876	894	915
30	842	845	850	856	873	891	912
35	839	842	847	853	869	887	908
40	835	838	843	849	865	883	903
45	831	834	839	845	861	878	899
50	827	829	834	840	856	873	893
55	822	824	829	835	850	868	887
60	816	818	824	829	844	862	881
65	810	812	817	823	838	855	874
70	804	806	811	816	831	848	867

TABELA 11. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e da proporção de mistura com diesel metropolitano (kg m^{-3}).

T (°C)	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
10	844	847	853	860	878	899	923
15	843	846	852	858	876	897	921
20	841	844	850	856	874	895	918
25	839	842	848	854	872	892	915
30	836	839	845	851	868	889	912
35	833	836	842	848	865	885	908
40	830	832	838	844	861	881	903
45	825	828	834	840	856	876	899
50	821	823	829	835	851	871	893
55	816	818	824	829	846	865	887
60	810	813	818	824	840	859	881
65	804	807	812	817	834	852	874
70	798	800	805	811	827	845	867

Analisando as Tabelas 10 e 11, observa-se que, a medida que se adiciona Biodiesel ao diesel, ocorre aumento gradativo na densidade da mistura, tanto para o diesel interior quanto para o metropolitano. Considerando-se a temperatura de 35°C, de B0 a B100, para o diesel interior, esse foi de 8,2%; e para o metropolitano 9,0%.

Na coluna de B0, verifica-se que o diesel metropolitano apresentou menor densidade em relação ao diesel interior, para ambas as temperaturas. Para a temperatura de 35°C, a diferença de 6 kg m⁻³ ou 0,7% entre o diesel interior e metropolitano é devido ao processo de produção dos combustíveis. No Apêndice 2, apresentam-se as características do óleo diesel interior e metropolitano de acordo com a Resolução ANP N° 15, de 17 de julho de 2006 (BRASIL, 2006b).

O Biodiesel de mamona (B100) não atende às especificações européias e nem o exigido na ANP em razão dos valores da viscosidade do produto, entretanto isso não impede que o mesmo seja utilizado em menores proporções ou em adição a outro tipo de Biodiesel. Os resultados apresentados concordam com MACHADO et al. (2006) e COSTA NETO et al. (2000).

As Figuras 9 e 10 representam graficamente a densidade do combustível em função do tipo de diesel, proporção de mistura e temperatura avaliada.

Na Tabela 12, encontram-se a síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico. Os resultados além de tabelas, estão apresentados em forma de figuras e equações, sendo possível determinar a variação do consumo em função da proporção de mistura de Biodiesel/diesel (unidade de medida padrão e porcentagem em relação a B0), o que proporcionou ajustes de modelos de equação de primeira ordem.

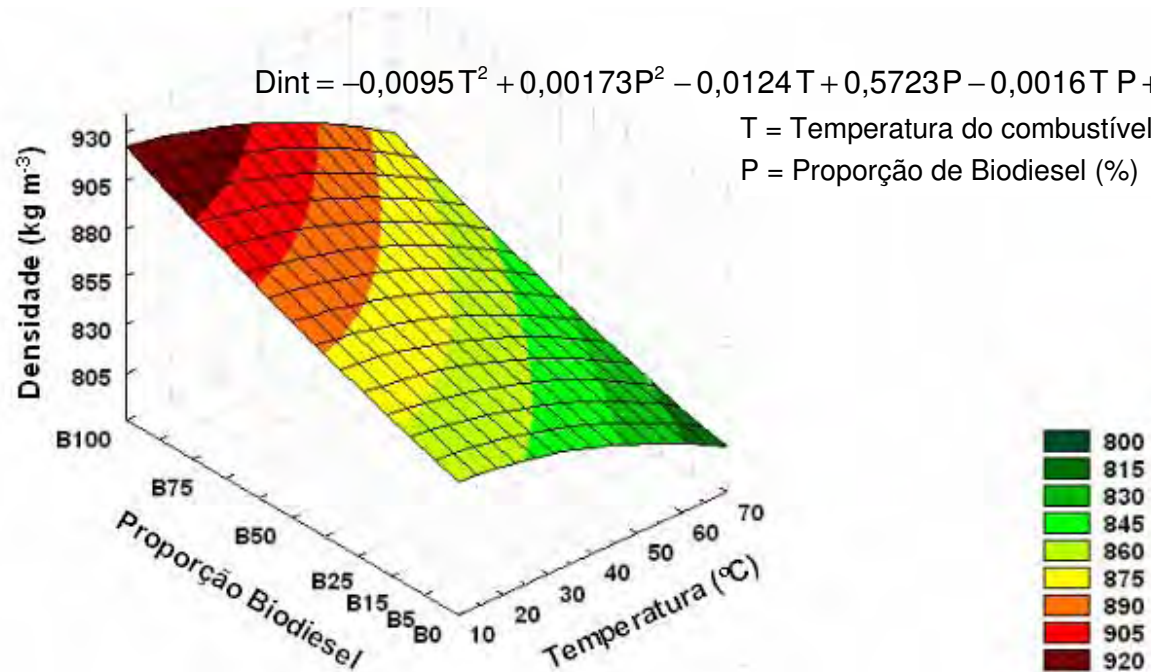


FIGURA 9. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e proporção de mistura com diesel interior.

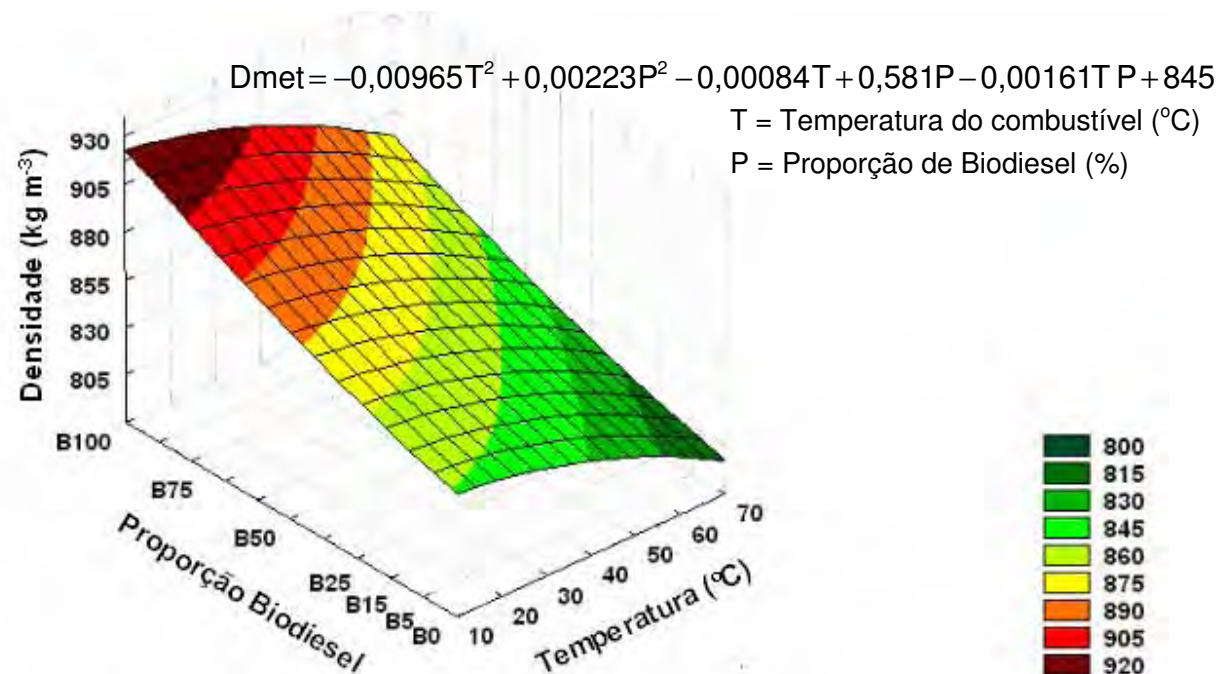


FIGURA 10. Densidade do Biodiesel etílico destilado de mamona em função da temperatura e proporção de mistura com diesel metropolitano.

TABELA 12. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce).

Fatores	Chv L h ⁻¹	Chp kg h ⁻¹	Ce g kWh ⁻¹
Tipo de diesel (D)			
Interior	12,25 B	10,69 B	416,4 B
Metropolitano	11,95 A	10,31 A	397,8 A
Proporção de Biodiesel (B)			
B0	11,32 A	9,21	352,5 A
B5	11,58 A	9,51	367,8 A
B15	11,81 AB	9,88	385,3 AB
B25	11,85 AB	10,00	387,2 AB
B50	12,42 BC	10,92	417,5 BC
B75	12,74 C	11,62	451,8 CD
B100	12,98 C	12,33	487,5 D
Carga na barra (C)			
13 kN	10,32 A	8,96	456,2 B
23 kN	13,88 B	12,03	358,0 A
Teste F			
Tipo de diesel (D)	6,87 *	13,77 **	5,98 *
Proporção de Biodiesel (B)	17,05 **	74,49 **	22,93 **
Carga na barra (C)	985,92 **	916,28 **	166,38 **
D x B	0,84 ns	0,78 ns	0,91 ns
D x C	0,42 ns	0,19 ns	1,14 ns
B x C	1,56 ns	3,90 *	0,84 ns
D x B x C	0,42 ns	0,42 ns	0,55 ns
CV %	4,30	4,42	8,58

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; quando desacompanhada de letras, implica interação significativa, necessitando de quadro de desdobramento.

** : significativo (P<0,01); * : significativo (P<0,05); ns : não-significativo; CV : coeficiente de variação

1.7 Consumo horário volumétrico

Pela Tabela 12, observa-se que o diesel metropolitano apresentou menor consumo em relação ao diesel interior, sendo a redução média de 2,5% em função da melhor qualidade desse produto.

Observou-se, também, que, relacionado à proporção de Biodiesel, não houve diferença significativa até B25, todavia, comparando B0 e B100, o consumo aumentou 14,6% (Figura 11). Esse aumento foi em função do menor poder calorífico do Biodiesel em relação ao diesel, sendo necessário queimar mais combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho.

Para o fator carga na barra, observa-se que, de 13 para 23 kN, o acréscimo foi de 80%, entretanto esse provocou aumento de 34,6% no consumo (Tabela 12), por isso recomenda-se, sempre que possível, utilizar a máxima capacidade de tração do trator, buscando maior eficiência.

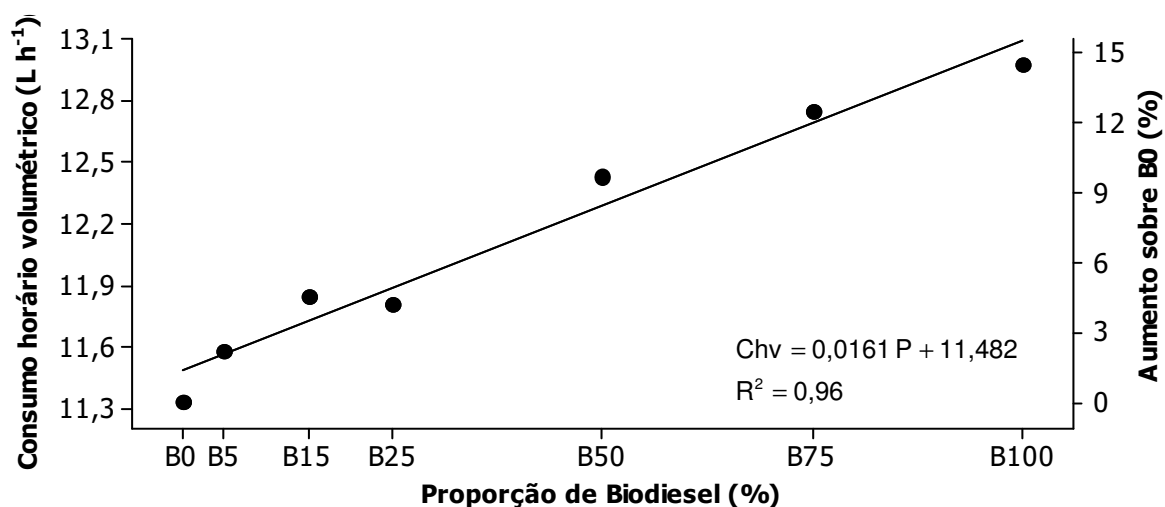


FIGURA 11. Consumo horário volumétrico em função da proporção de Biodiesel.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por MONYEM & VAN GESPEN (2001), PETERSON et al. (1996) e OLIVEIRA & COSTA (2002),

ressaltando-se que o consumo volumétrico é a informação mais utilizada no meio dos agricultores.

1.8 Consumo horário ponderal

Pela Tabela 12, nota-se que o diesel metropolitano apresentou menor consumo (3,7%) em relação ao diesel interior, comportamento semelhante ao consumo horário volumétrico, resultado esse em função da melhor qualidade e da menor densidade desse combustível, uma vez que tais características influenciam no cálculo do consumo horário ponderal.

Para o consumo horário ponderal, ocorreu interação significativa entre os fatores proporção de Biodiesel e carga na barra, sendo o desdobramento apresentado na Tabela 13.

TABELA 13. Síntese do desdobramento da interação proporção de Biodiesel e carga na barra para consumo ponderal (kg h^{-1}).

Carga na barra	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
13 kN	8,0 Ba	8,2 Ba	8,5 Ba	8,5 Ba	9,4 Bb	9,7 Bbc	10,5 Bc
23 kN	10,4 Aa	10,8 Aab	11,3 Ab	11,5 Ab	12,4 Ac	13,5 Ad	14,2 Ad

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

Pela Tabela 13, analisando o consumo ponderal na linha (carga de 13 kN), verifica-se que até B25 não houve diferença, comparando B0 a B100, o consumo aumentou 30,7%. Na carga de 23 kN, não houve diferença até B5; comparando B0 a B100, o consumo cresceu 36,6% (Figura 12) em função do menor poder calorífico do Biodiesel em relação ao diesel. Contribuindo para o incremento do consumo, existe a densidade da mistura que cresce à medida que se adiciona Biodiesel ao diesel.

Analisando-se o consumo horário ponderal nas colunas, verifica-se que a carga de 23 kN apresentou maior consumo em relação à de 13 kN, em qualquer proporção de

mistura, ressaltando-se que, em B0, o aumento foi 30,3%, e em B100 foi 35,8%, evidenciando-se o menor poder calorífico do Biodiesel.

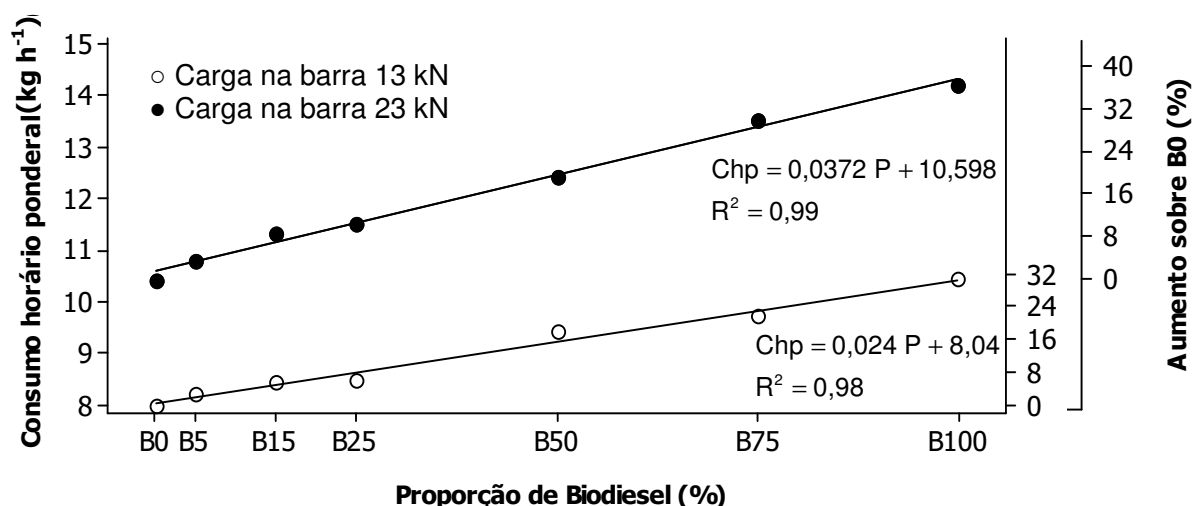


FIGURA 12. Consumo horário ponderal em função da proporção de Biodiesel e carga na barra.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por CAMARA (2004), GROTTA (2003) e REIS (2004), destacando-se que o consumo ponderal é a forma mais utilizada pelas distribuidoras de combustíveis líquidos.

1.9 Consumo específico

Pela Tabela 12, verifica-se que o trator consumiu 4,7% menos combustível quando funcionou com diesel metropolitano; tal resultado se deve à melhor qualidade e à menor densidade do produto, assim como ocorrido para o consumo horário volumétrico e ponderal.

Observou-se, também, que, relacionando a proporção de Biodiesel, não houve diferença significativa até B25, todavia, comparando B0 a B100, o consumo aumentou 38,3% (Figura 13). Esse aumento se deve aos fatores maior densidade e menor poder calorífico do Biodiesel em relação ao diesel. Nos combustíveis utilizados, a densidade

mínima encontrada foi $846,5 \text{ kg m}^{-3}$ para B0 (metropolitano), e a máxima $972,1 \text{ kg m}^{-3}$ para B100, proporcionando aumento de $125,6 \text{ kg m}^{-3}$ ou 14,8%.

A carga de 23 kN apresentou menor consumo em relação à de 13 kN, o inverso do que ocorreu para o consumo horário volumétrico e ponderal, reforçando a recomendação de utilizar a máxima capacidade de tração do trator.

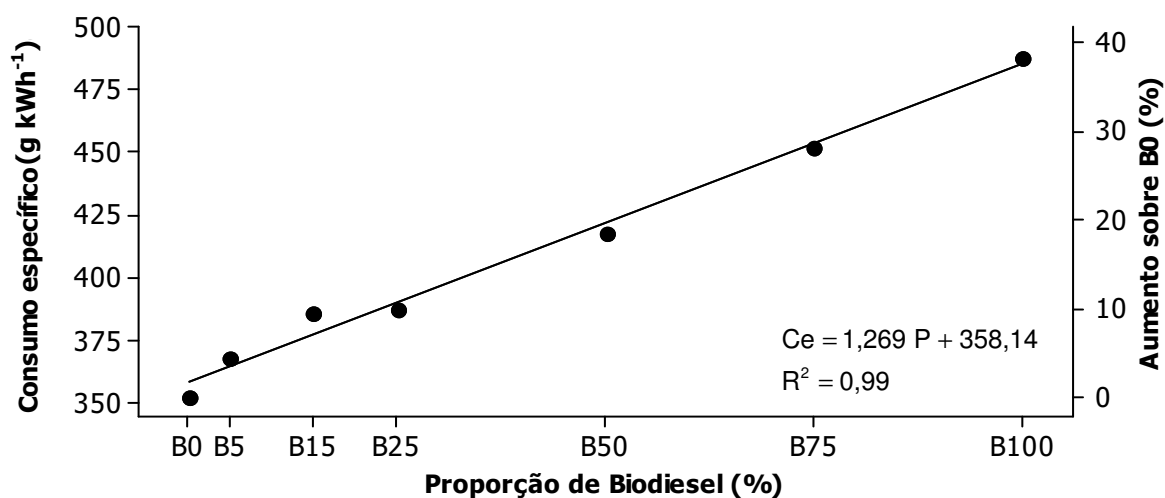


FIGURA 13. Consumo específico em função da proporção de Biodiesel.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por DORADO et al. (2003), LOPES (2006) e ANGELO (2006) e discordam dos apresentados por AL-WIDYAN et al.(2002). O consumo específico é a forma mais utilizada para comparar tratamentos, pois leva em consideração a quantidade de combustível consumida, potência desenvolvida e densidade do produto.

2 Ensaio II – Opacidade da fumaça

Na Tabela 14, encontra-se a síntese da análise de variância e do teste de médias da opacidade, sendo os dados referentes aos fatores tipo de diesel e proporção de Biodiesel representam médias de 21 e 6 observações, respectivamente.

TABELA 14. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça.

Fatores	Opacidade (m^{-1})
Tipo de diesel (D)	
Interior	0,96
Metropolitano	0,90
Proporção de Biodiesel (B)	
B0	1,02
B5	0,99
B15	0,94
B25	0,87
B50	0,89
B75	0,84
B100	0,98
Teste F	
Tipo de diesel (D)	40,06 **
Proporção de Biodiesel (B)	26,27 **
D x B	4,06 **
CV %	3,35

Médias desacompanhadas de letras implica interação significativa, necessitando de quadro de desdobramento.

** : significativo ($P < 0,01$); * : significativo ($P < 0,05$); ns: não-significativo; CV: coeficiente de variação

Nessa variável, ocorreu interação significativa entre os fatores, necessitando-se da Tabela 15 (desdobramento dos dados).

TABELA 15. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de Biodiesel para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).

Tipo de diesel	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Interior	1,09 Aa	1,05 Aa	0,96 Abc	0,89 Acd	0,90 Acd	0,85 Ad	1,01 Aab
Metropolitano	0,94 Ba	0,93 Bab	0,92 Aab	0,86 Abc	0,88 Aabc	0,84 Ac	0,94 Ba

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

Pela Tabela 15, tanto na linha do diesel interior quanto no diesel metropolitano, verifica-se que a opacidade reduziu 22% à medida que aumentou a quantidade de Biodiesel, até a proporção de B75. Para o metropolitano, o comportamento foi o mesmo, sendo a redução de 10,6%. Nos dois tipos de diesel, a partir de B75, a opacidade voltou a aumentar, especificamente para o metropolitano, em que B100 foi semelhante a B0. Essa situação pode ser explicada em função do alto índice de viscosidade do Biodiesel de mamona, sendo tal característica a maior dificuldade para trabalhar com esse biocombustível.

Ainda na Tabela 15, analisando as colunas, verifica-se que o diesel metropolitano apresentou melhor resultado em B0 e B5 (redução em relação ao diesel interior de 13,8 e 11,4%, respectivamente). A partir de B15, o diesel interior se iguala ao metropolitano, tornando-se notória a capacidade do Biodiesel em reduzir a opacidade. Pela diferença dos tipos de diesel, se explica a exigência de utilizar o metropolitano nos grandes centros urbanos, sendo essa ação ainda mais potencializada com a adição do Biodiesel, conforme disciplinada na lei 11097/2005. Os dados encontrados concordam com BARBOSA (2006), MELLO Jr. (2006) e XIAOMING et al. (2005). O comportamento da opacidade em decorrência da proporção de Biodiesel é ilustrado na Figura 14.

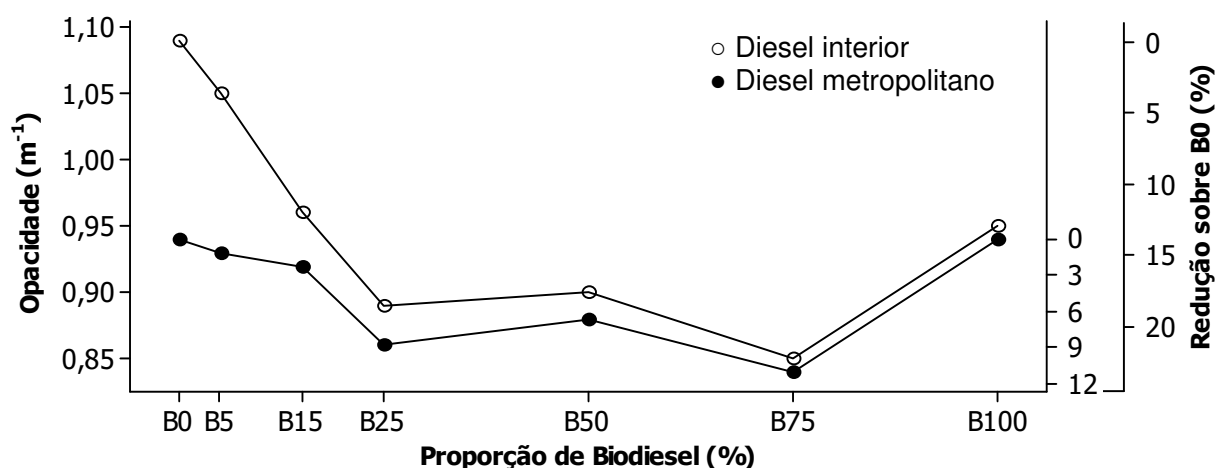


FIGURA 14. Opacidade da fumaça em função da proporção de Biodiesel e do tipo de diesel.

V CONCLUSÕES

A densidade do combustível aumentou à proporcionalmente a adição de Biodiesel de mamona na mistura, para os dois tipos de diesel.

A rotação do motor e a velocidade de deslocamento diminuíram com o aumento da proporção de mistura diesel/Biodiesel

O tipo de diesel influenciou no consumo de combustível e na opacidade da fumaça, com o metropolitano apresentando melhor resultado.

À medida que se aumentou a proporção de mistura diesel/Biodiesel, ocorreu incremento no consumo horário (volumétrico e ponderal) e específico.

A opacidade da fumaça reduziu com acréscimo de Biodiesel de mamona até B75 e cresceu em B100.

VI REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.K.; DAS, L.M. Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, v.132, n.2, p. 440-447, 2001.

AGRIANUAL 2005 **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: DIAS. D. Produção esta mais cara mas preços tendem a subir, p.455-456, 2005

ALI, Y.; HANNA, M.A. Durability testing of a diesel fuel, methyl tallow ate, and ethanol blend in a Cummins N14-410 diesel engine. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.3, p.793-797, 1996.

AL-WIDYAN, M.I.; TASHTOUSH, G.; ABU-QUDAIS, M. Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines. **Fuel Processing Technology**, v.76, n.2, p.91-103, 2002.

ANGELO, J. **Análise da influência de diferentes misturas de Biodiesel no desempenho e emissões de poluentes de um motor diesel agrícola**. 2006. 159 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Piracicaba, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code. In: **ASAE standards 1989**: Standards engineering practices data. St. Joseph, 1989. p.44-8. (ASAE S209.5)

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: **ASAE Standards 1997**: Standards engineering practices data. St. Joseph, 1997. p.254-75.

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

BARBOSA, A.L.P.B.F. **Biodiesel de mamona em trator agrícola na operação de preparo do solo**. 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2007.

BARBOSA, J.A.; VIEIRA, L.B.; DIAS, G.P.; DIAS JÚNIOR, M.S., Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.474-480, 2005.

BENTO, F.M.; ENGLERT, G.E.; GAYLARDE, C.C.; MULLER, I.L. Microrganismos e armazenamento de óleo diesel. **Petro & Química**, v.211, p.70-77, 1999.

BILICH, F.; SILVA, R. Análise da produção de Biodiesel utilizando multicritério, In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília. **Anais...** 2006a

BILICH, F.; SILVA, R. Análise do potencial brasileiro na produção de Biodiesel, In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília. **Anais...** 2006b

BOLDO, C.; WAHNFRIED, C. **Propriedades do Biodiesel – Influência nos equipamentos de injeção**. Apresentação no Seminário Federação das Indústrias do Estado do Paraná, 29 de maio de 2003.

BOOCOOCK, D.G.B.; KONAR, S.K.; MAO, V.; LEE, C.; BULIGAN, S.J. Fast formation of high purity methyl esters from vegetable oils. **American Oil Chemical Society**, v.75, p.1167-1172, 1998.

BRASIL. Presidência da Republica. 2005 **Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**. - n°. 2 (jan. 2005). Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. 2006a **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2006**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. 2006b **Resolução ANP N° 15**, de 17 de julho de 2006. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis>. Acesso em: 20 set. 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. 2007 **Balanco Energético Nacional**. Matriz Energética - 1970 em diante. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2007.

CAMARA, F.T. **Desempenho de um trator agrícola com Biodiesel etílico destilado**. 2004. 54 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

CAMARA, F.T.; LOPES, A.; DABDOUB, M.J; BORSATTO, E.A.; ZANOTTO, R.P.C; REIS, G.N. Biodiesel de dendê: opacidade da fumaça de um trator Agrícola . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4. 2007, Varginha. **Anais...** 2007

CANAKCI, M.; ERDIL, A.; ARCAKLIOGLU, E. Performance and exhaust emissions of a Biodiesel engine. **Applied Energy**, v.83, p.594–605, 2005.

CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J.H. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.44, n.6, p.1429-1436, 2001.

CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J.H. Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow Grease Biodiesel, and soybean oil Biodiesel **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.46, n.4, p.937-944, 2003.

CLARK, N.N.; LYONS, D.W. Class 8 truck emissions testing: effects of test cycles and data on Biodiesel operation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.42. p.121-19, 1999.

CORRÊA, S.M., ARBILLA, G. Emissões de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos por misturas de diesel e biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília, **Anais...** 2006

COSTA, F.C.; HOESCHL, H.C. Gestão do conhecimento na cadeia produtiva de Biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília, **Anais...** 2006

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F.; RAMOS, L.P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.4, p.531-537, 2000.

DORADO, M.P.; ARNAL, J.M.; GÓMEZ, J.; GIL, A.; LOPEZ, F.J. The effect of a waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, v.3, p.519-523, 2002.

DORADO, M.P.; BALLESTEROS, E.; ARNAL, J.M.; GÓMEZ, J.; LOPEZ, F.J. Exhaust emissions from diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. **Spain Fuel**, Valencia, v.82, p.1311-1315, 2003.

DUNN, R.O.; SHOCKLEY, M.W.; BAGBY, M.O., Improving the low-temperature properties of alternative diesel fuels: vegetable oil-derived methyl esters. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.73, n.12, p. 1719-1728, 1996.

DUNN, R.O. Effect of oxidation under accelerated conditions on fuel properties of methyl soyate (Biodiesel). **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.79, n.9 p.915-920, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos e análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro nacional de pesquisas de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ENCINAR, J.M.; GONZALEZ, J.F.; RODRIGUEZ, J.J.; TEJEDOR, A. Biodiesel fuels from vegetable oils: transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol. **Energy and Fuel**, v.16, p.443–450, 2002

ENCINAR, J.M.; GONZÁLEZ, J.F.; SABIO, E.; RAMIRO, M.J. Preparation and properties of Biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil. **Industry and Engineering Chemistry Resource**, v.38, p.2927-2931, 1999.

ESTADOS UNIDOS. **Environmental Protection Agency**. A comprehensive analysis of Biodiesel impacts on exhaust emissions. Washington, 2002. (Draft technical report EPA420-P-02-001)

ESTADOS UNIDOS, Energy Information Administration, 2003, Annual energy Outlook 2003 with projections to 2025. Washington: **U.S. Department of Energy**, 2003.

FAGUNDES, F.P; BEZERRA, J.P.; GARCIA, M.A.; MEDEIROS, A.C.R.; BORGES, M.R.; GARCIA, R.B.; COSTA, M. Avaliação das propriedades do óleo de mamona na produção de biocombustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3. 2005, Salvador. **Anais...** 2005.

FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia, **Química Nova**, v.28, n.1, 19-23, 2005a

FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO A. Oxidative stability of Biodiesel from soybean oil fatty acid ethyl esters. **Scientia Agrícola**, v.62, n.3, p. 291-295, 2005b.

GELLER, H. **Energy Revolution**: policies for a sustainable future. Washington, Island Press, 2003. 256 p. (United Nations. 2001. Report of the Secretary-General: Protection of the Atmosphere (E/CN.17/2001/2)).

GROTTA, D.C. **Desempenho de um trator agrícola em operação de gradagem utilizando Biodiesel etílico de óleo residual como combustível**. 2003. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

HAAS, M.J.; SCOTT, K.M.; ALLEMAN, T.L.; MCCORMICK, R.L. Engine performance of Biodiesel fuel prepared from soybean soapstock: a high quality renewable fuel produced from a waste feedstock. **Energy and Fuels**, v.15, p.1207-1212, 2001.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social / Ariosto Holanda**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004. v.1. 200 p. Série cadernos de altos estudos.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. 2001. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. **Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes**, v.46, França. Disponível em: <<http://www.iarc.fr>>. Acesso em: 25 nov. 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2004. **World Energy Outlook**, Paris: ECD/IEA. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org>>. Acesso em: 23 jul. 2006

JORNAL DA CANA. **Conheça o Setor - Os impressionantes números do setor (Safrá 2006/07)** Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>> Acesso em: 15 jul. 2006.

KNOTHE, G. Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales. **Revista A&G**, ano XII, v.47, n.2, 2001.

KÖRBITZ, W. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. **Renewable Energy**, v.16, p.1078-1083, 1999.

KOUTROUBAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K.; DOITSINIS, A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, v.11, p.227-237. 1999.

LOPES, A. Unesp Jaboticabal testa Biodiesel que pode garantir a criação de empregos. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, v.114, n.9, Seção II, p. 2. Publicado em: 15 jan. 2004.

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 trator agrícola – Parte I In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 4. 2007, Varginha - MG. Anais... 2007

LOPES, A.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; CASTRO NETO, P.; FRAGA, A.C.; REIS, G.N.; NAGAOKA, A.K. Potencialidades do Biodiesel no Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 1., 2004, Varginha. **Anais...** 2004.

LUE, Y.F.; YEH, Y.Y.; WU, C.H., The emission characteristics of a small D.I. diesel engine using Biodiesel blended fuels. **Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v.36 n.5 p. 845-859, 2001 (DOI: 10.1081/ESE-100103765)

LUTTERBACH, M.; BARRETO, A.; TOMACHUK, C.R.; FERRAZ, O.B.; CAVALCANTI, E. Avaliação da tendência à biocorrosão e da estabilidade à oxidação de biodiesel metílico de soja e mistura B5. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília. **Anais...** 2006.

MACHADO, Y.L.; ALBUQUERQUE, M.C.G.; FIRMIANO, L.R.; PARENTE Jr., E.J.S.; TORRES, A.E.B.; AZEVEDO, D.C.S. E CAVALCANTE Jr., C.L. Blends de Biodiesel Usando Diferentes Fontes de Biomassa. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília. **Anais...** 2006.

MELLO JUNIOR, J.G.S. **Opacidade da fumaça de trator agrícola em função da proporção de mistura de Biodiesel / diesel e das condições climáticas no horário de execução do ensaio**. 2006. 74 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2006.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J.H. The effect of Biodiesel oxidation on engine performance and emissions. **Biomass and Bioenergy**, v.20, p.317-325, 2001.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J.H.; CANAKCI, M. The effect of timing and oxidation on emissions from Biodiesel – fueles engines. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.44, p.35-42, 2001.

MORAES, N.G. **Avaliação das tendências da demanda de energia no setor de transportes no Brasil**. 2005 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MORENO, R.; CÓRDOBA, G. Oil-related deflocculants for tape casting slips. **Journal of the European Ceramic Society**, v.17, p.351-357, 1997.

MURPHY, M.J.; KETOLA, H.N.; RAJ, P.K. **Summary and assessment of the safety, health, environmental and system risks of alternative fuels**. Helena: U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration, 1995. 28 p. (Report, FTA-MA-90-7007-95-1).

MUÑOZ, M.; MORENO, F. MOREA, J. Emissions of na automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.47, p.5-11, 2004.

NASCIMENTO, M. G.; COSTA NETO, P. R.; MAZZUCO, L. M. Biotransformação de óleos e gorduras. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, ano III, n.19, p.28-31, 2001.

OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Energia, 2002. v.1, p.445-453.

PARENTE, E.J.S. **Biodiesel**: uma aventura tecnológica em um país engraçado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2003. 65 p.

PERES, J.R.R.; FREITAS JUNIOR, E.; GAZZONI, D.L. Biocombustíveis uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de política agrícola**, Brasília, ano XIV, n.1, v.1, p.31-41, 2005.

PETERSON, C.L.; COOK, J.L.; THOMPSON, J.C.; TABERSKI, J.S.; Continuous Flow. Biodiesel Production. **Applied Engineering in Agriculture**, v.18, p.5-11, 2002.

PETERSON, C.; REECE, D. Emissions characteristics of ethyl and methyl Ester of rapeseed oil compared with low sulfur diesel control fuel in a chassis dynamometer test of a pickup truck. **Transaction of ASAE**, American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, v.39, n.3, p. 805-816, 1999.

PETERSON, L.; REECE, D.L.; THOMPSON, J.C.; BECK, S.M.; CHASE, C. Ethyl ester of rapeseed used as a Biodiesel fuel – a case study. **Biomass and Bioenergy**, Moscow, v.10, n. 5/6, p. 331-345, 1996.

PIMENTA, V. GT4 – Testes em motores e veículos. In: SEMINÁRIO BIODIESEL: Expandindo o uso, 1., 2005, São Paulo. **Palestra...** São Paulo [s.n.], 2004. p.13.

PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. 3. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 162 p.

PUHAN, S.; VEDARAMAN, N.; SANKARANARAYANAN, G.; RAM, B.V.B. Performance and emission study of Mahua oil (madhuca indica oil) ethyl ester in a 4-stroke natural aspirated direct injection diesel engine. **Renewable Energy**, v.30, p.1269–1278, 2005. (Technical note)

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.

REIS, G. N., Biodiesel filtrado x Biodiesel destilado x diesel: Desempenho de um trator em operação de semeadura direta. 2004. 42 f.. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia

– Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

SAAD, E.B.; DOMINGOS, A.K.; CESAR-OLIVEIRA, M.A.F.; WILHELM, H.M.; RAMOS, L.P. Variação da qualidade do Biodiesel em função da matéria prima de origem vegetal. In: **Agronegócio de plantas oleaginosas**: Matérias-primas para Biodiesel, 2006. Piracicaba: ESALQ, 2006. p.193-225

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar 2003**. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em: 24 jan. 2006.

SAWIN, J.L. Estado do Mundo, 2004: **Estado do consumo e o consumo sustentável** / Worldwatch Institute; apresentação Enrique Iglesias ; tradução Henry Mallett e Célia Mallett.- Salvador, BA, 2004.

SCHUMACHER, L.; BORGELT, S.C.; HIRES, W.G.; HUMPHREY, J.K. Biodiesel on the road-A report from Missouri. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, 1993. (Paper, 93-5017).

SEM. T.R.. Effect of various lubricating oils on piston deposits in Biodiesel fueled engines. In: WORLD CONGRESS & EXHIBITION, 2004, Detroit, **Resumos...** Troy, 2004a.

SEM. T.R.. Investigation of injector tip deposits on transport refrigeration units running on Biodiesel fuel In: WORLD CONGRESS & EXHIBITION, 2004, Detroit, **Resumos...** Troy, 2004b.

SHUCHRDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, M.; Transesterification of vegetable oils: a review. **Journal Brazilian Chemical Society**. v.9, n.1 p.199-210, 1998.

SILVA, F.M.; LOPES, A.; CASTRO NETO, P.; DABDOUB, M.J.; SALVADOR, N.; SILVA, R.P. Avaliação do Desempenho do Motor de Combustão Alimentado com Diesel e Biodiesel, In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília. **Anais...** 2006.

SWACHART, D.; NORRGARD, L.; CHIRISTENSEN, M.; HEARLE, S. **Biodiesel engine testing**. Columbia: University of Bristish Columbia, 2005. 23 p.

TABILE, R.A.; LOPES, A.; DABDOUB, M.J.; CAMARA, F.T.; ZANOTTO, R.P.C.; REIS, G.N. Opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com Biodiesel metílico de gordura hydrogenada In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4. 2007, Varginha. **Anais...** 2007

TANCELL, P.J.; RHEAD, M.M.; PEMBERTON, R.D.; BRAVEN, J. Survival of polycyclic aromatic hydrocarbons during diesel combustion. **Environmental Science and Technology**, v.29, p.2871-2876, 1995.

TECBIO - Tecnologias Bioenergéticas. **Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.tecbio.com.br/Downloas/LIVRO%20Biodiesel.pdf>> Acesso em: 10 mar. 2003a.

TECBIO - Tecnologias Bioenergéticas. **Biodiesel – Situação atual**. Disponível em: <<http://www.tecbio.com.br>> Acesso em: 10 out. 2003b.

TECNOMOTOR, Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda., OPACER TM 133 Opacímetro de amostragem. **Manual de Operação**. São Carlos, 2001. Ed. 07/01, 26 p.

WALSH, M.P., BRANCO, G.M., RYAN, J., LINKE, R.R.A., ROMANO, J., MARTINS, M.H.R.B. Clean diesels: the key to clean air in São Paulo. In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, 1, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SAE, 2005

VALTRA. Valtra do Brasil. **Manual do operador**, 2007 45 p.

WU, W.H.; FOGLIA, T.A.; MARMER, W.N.; DUNN, R.O.; GOERING, C.E.; BRIGGS, T.E.; Low-temperature property and engine performance evaluation of ethyl and isopropyl esters of tallow and grease. **Journal of the American Oil Chemist Society**, v.75, n.9, p.1173-1179, 1998.

XIANOMING, L.; YUNSHAN, G.; SIJIN, W.; XIUKUN, H. An experimental investigation on combustion and emission characteristics of turbocharger engines fueled with blends of Biodiesel. In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, 1., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SAE, 2005.

YANAI, K.; LANÇAS, K.P. Desempenho de um pneu agrícola em função da lastragem e da pressão de inflação em pista de concreto. **Energia na Agricultura**, v.16, n.4, p.13-24, 2001

ZAGONEL, G.; COSTA NETO, P.R.; RAMOS, L.P. Obtenção de Biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleo de soja usado em frituras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária, 1999. p. 342.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Especificações técnicas dos tratores.

Item		Trator de teste	Trator de frenagem
Marca		VALTRA	VALTRA
Modelo		BM 100	BH 140
Motor			
Marca		Valtra	Valtra
Modelo		420DS	
Tipo		Turbo alimentado	Turbo alimentado
Arrefecimento		Líquido	Líquido
Cilindrada		4400 cm ³	6600 cm ³
Nº de cilindros		4	6
Potência máxima no motor		74 kW (100 cv)	103 kW (140 cv)
Rotação de potência máxima		2300 rpm	2400 rpm
Torque máximo		367 Nm	475 Nm
Rotação de torque máximo		1400 rpm	1400 rpm
Bomba injetora		ROTATIVA	ROTATIVA
Tanque de combustível		140 litros	270 litros
Número de marchas		16 + 8 RÉ	16 F + 8 RÉ
Dimensões			
Distância entre eixos		2525 mm	2763 mm
Bitola máxima		2240 mm	2128 mm
Altura da barra de tração		400 mm	400 mm
Distribuição de massa Trator sem lastro	Dianteiro	1406 kg	2020 kg
	Traseiro	2109 kg	3030 kg
	Total	3515 kg	5050 kg
Distribuição de massa Trator com lastro	Dianteiro	2160 kg	2930 kg
	Traseiro	3240 kg	4395 kg
	Total	5400 kg	7325 kg

Fonte: Valtra (2007)

APÊNDICE 2. Especificação do diesel

Característica	Unidade	Limite por tipo		Método	
		Metropolitano	Interior	ABNT	ASTM
Aparência					
Aspecto		Límpido isento de impurezas		Visual (1)	
Cor		-	Vermelho	Visual (1)	
Cor ASTM, máx.		3,0	3,0 (2)	NBR 14483	D 1500
Composição					
Teor de Biodiesel, (3)	% vol.	2,0	2,0	Espectrometria de Infravermelho	
Enxofre Total, máximo	mg/kg	500	2.000	NBR14875 - NBR14533 -	D 1552 D 2622 D 4294 D 5453
Volatilidade					
Destilação	°C	Anotar 245,0 a 310,0 360,0 370,0 Anotar		NBR 9619 D 86	
10% vol., recuperados					
50% vol., recuperados, máx.					
85% vol., recuperados, máx.					
90% vol., recuperados					
Massa específica a 20 °C	kg/m3	820 a 865	820 a 880	NBR 7148, NBR 14065	D 1298 D 4052
Ponto de fulgor, min.	°C	38,0		NBR 7974 NBR 14598 -	D 56 D 93 D 3828
Fluidez					
Viscosidade a 40 °C, máx.	(mm2/s) cSt	2,0 a 5,0		NBR 10441	D 445
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C			NBR 14747	D 6371

APÊNDICE 2. Especificação do diesel (continuação)

Característica	Unidade	Limite por tipo		Método	
		Metropolitano	Interior	ABNT	ASTM
Combustão					
Número de Cetano, mín. (4)	-	42	-	-	D 613
Resíduo de carbono	% massa	0,25		NBR 14318	D 524
Ramsbottom no resíduo dos 10% finais da destilação, máx.					
Cinzas, máx.	% massa	0,010		NBR 9842	D 482
Corrosão					
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.	-	1		NBR 14359	D 130
Contaminantes					
Água e Sedimentos, máx.	% volume	0,05		NBR 14647	D 1796
Lubricidade					
Lubricidade, máx.	mícron	460	-		D 6079

(1) A visualização será realizada em proveta de vidro de 1L.

(2) Limite requerido antes da adição do corante. O corante vermelho, deverá ser adicionado no teor de 20mg/L pelas Refinarias, Centrais de Matérias Primas Petroquímicas e Importadores.

(3) Adição não obrigatória. Com o objetivo de formar base de dados, os agentes autorizados que procederem a mistura óleo diesel/Biodiesel – B2 e dispuserem de espectrômetro de infravermelho deverão fazer a análise e anotar o resultado.

(4) Alternativamente ao ensaio de Número de Cetano fica permitida a determinação do Índice de Cetano calculado pelo método NBR 14759 (ASTM D 4737), cuja especificação fica estabelecida no valor mínimo de 45. Em caso de desacordo de resultados prevalecerá o valor do Número de Cetano.

Fonte: BRASIL (2006b).