

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DESEMPENHO DINÂMICO DE UM TRATOR AGRÍCOLA UTILIZANDO
BIODIESEL DESTILADO ETÍLICO E METÍLICO

ANA MARTA SORANSO

CASCADEL - PR

2006

ANA MARTA SORANSO

**DESEMPENHO DINÂMICO DE UM TRATOR AGRÍCOLA UTILIZANDO
BIODIESEL DESTILADO ETÍLICO E METÍLICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Gabriel Filho
Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Lopes
Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

CASCADEL - PR

2006

ANA MARTA SORANSO

“Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado
etílico e metílico”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Raimundo Pinheiro Neto
UEM – Maringá - PR

Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira
UNIOESTE/CCET – Cascavel – PR

Cascavel, 11 de julho de 2006

*Aos meus pais, que sempre me apoiaram: Oralino e Benta;
Aos meus irmãos: José, Pedro, Marlene, Marcos, Paulo;
às cunhadas Lélia, Isa, Olga, Jóice e ao Cunhado Kido;
aos sobrinhos: Pricila, Eduardo, Flávio, Sandra, Ana Paula,
Mateus, Enzo, Sávio e Leonardo, que são a alegria da família;
À Professora Ana, pela sua eterna dedicação à minha família.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde, pela Família e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Ao Professor Dr. Antonio Gabriel filho, pela orientação, incentivo, compreensão e amizade durante todo o decorrer deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Afonso Lopes, pela co-orientação, atenção, amizade, oportunidade e disponibilidade dos tratores de testes.

Ao Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza, pela co-orientação, amizade, apoio e ajuda.

Aos demais professores que contribuíram para o enriquecimento do meu conhecimento.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel - PR, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade.

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

Ao Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL de Ribeirão Preto e ao Prof. Dr. Miguel Joaquim Dabdoub, pela parceria com a UNESP de Jaboticabal que resultou no fornecimento de biodiesel para o desenvolvimento deste trabalho.

À COOPERCITRUS e à VALTRA do Brasil, pela parceria que resultou na disponibilidade dos tratores de testes, em especial Ao Sr. José Geraldo Silveira Mello, gerente da COOPERCITRUS, pelo apoio logístico ao projeto biodiesel.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo incentivo financeiro para a aquisição da instrumentação do trator.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os funcionários da UNIOESTE, pelos serviços prestados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, em especial ao técnico Aparecido Alves e ao operador de máquinas Valdecir Aparício, pela amizade, apoio e dedicação.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Rural, Gustavo Naves dos Reis, Felipe Thomaz da Camara, Ana Lúcia Paschoa Barbosa, Roberta Carrara e Pricila Vetrano Rizzo, pelo apoio e incentivo.

À amiga Angélica, pela amizade desenvolvida ao longo desses anos.

Aos amigos Chico e Rose pelo apoio.

Aos amigos do programa de pós-graduação, Andréia, Cacea, Dirceu, Ivair, Luciano, Mirian e Celso, pelos momentos de alegria e descontração.

À minha Família, pelo apoio, amor e carinho e por nunca me deixar desistir.

A todas as pessoas que, de diferentes formas, colaboraram para a realização deste trabalho, sendo este o resultado de todos os esforços.

SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1 ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1.1 Fontes Alternativas de Energia.....</u>	<u>4</u>
<u>2.1.1.1 Biodiesel.....</u>	<u>6</u>
<u>2.2 DESEMPENHO DE MOTORES DE CICLO DIESEL COM COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS.....</u>	<u>10</u>
<u>2.3 DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA.....</u>	<u>13</u>
<u>2.3.1 Desempenho de Tratores com Combustíveis Alternativos.....</u>	<u>15</u>
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>18</u>
<u>3.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....</u>	<u>18</u>
<u>3.2 SOLO</u>	<u>18</u>
TRATOR	19
<u>3.3 ESCARIFICADOR.....</u>	<u>20</u>
<u>3.4 TRATOR DE LASTRO.....</u>	<u>20</u>
<u>3.5 BODIESEL.....</u>	<u>21</u>
<u>3.6 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....</u>	<u>21</u>
<u>3.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....</u>	<u>23</u>
<u>3.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO.....</u>	<u>23</u>
<u>3.9 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE REAL DE DESLOCAMENTO.....</u>	<u>24</u>
<u>3.10 SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS.....</u>	<u>25</u>
<u>3.11 DETERMINAÇÃO DA FORÇA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO.....</u>	<u>25</u>
<u>3.12 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO.....</u>	<u>27</u>
<u>3.13 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAMPO OPERACIONAL.....</u>	<u>27</u>
<u>3.14 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....</u>	<u>28</u>
<u>3.14.1 Consumo Horário Volumétrico.....</u>	<u>29</u>
<u>3.14.2 Consumo Específico.....</u>	<u>30</u>
<u>3.14.3 Consumo de Combustível por Área Trabalhada.....</u>	<u>30</u>
<u>3.15 PATINAGEM DO RODADO MOTRIZ.....</u>	<u>31</u>
<u>3.16 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</u>	<u>31</u>

<u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>33</u>
<u>4.1 DENSIDADE DOS COMBUSTÍVEIS.....</u>	<u>33</u>
<u>4.2 CONSUMO HORÁRIO VOLUMÉTRICO.....</u>	<u>33</u>
<u>4.3 CONSUMO HORÁRIO PONDERAL.....</u>	<u>35</u>
<u>4.4 CONSUMO ESPECÍFICO.....</u>	<u>36</u>
<u>4.5 CAPACIDADE DE CAMPO OPERACIONAL.....</u>	<u>37</u>
<u>4.6 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR ÁREA TRABALHADA.....</u>	<u>39</u>
<u>4.7 FORÇA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO.....</u>	<u>40</u>
<u>4.8 VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO.....</u>	<u>41</u>
<u>4.9 POTÊNCIA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO.....</u>	<u>42</u>
<u>4.10 PATINAGEM DO RODADO MOTRIZ.....</u>	<u>43</u>
<u>5 CONCLUSÕES.....</u>	<u>44</u>
<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>45</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista geral do trator instrumentado.....	19
Figura 2 - Trator de lastro.....	20
Figura 3 - Esquema das parcelas experimentais.....	22
Figura 4 - Radar.....	24
Figura 5 - Sistema de aquisição de dados ligado aos sensores.....	25
Figura 6 - Célula de carga acoplada à barra de tração.....	26
Figura 7 - Reservatórios de combustível à esquerda e filtros auxiliares à direita.	28
Figura 8 - Consumo horário volumétrico (L h ⁻¹), em função das proporções de mistura (diesel x biodiesel).....	34
Figura 9 - Consumo horário ponderal (kg h ⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	36
Figura 10 - Consumo específico (g kWh ⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	37
Figura 11 - Capacidade de campo operacional (ha h ⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	38
Figura 12 - Consumo por área trabalhada (L ha ⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	39
Figura 13 - Força média na barra de tração (kN), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	41
Figura 14 - Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	42
Figura 15 - Potência na barra de tração (kW), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados médios obtidos em potência máxima.....	16
Tabela 2 - Resultados médios obtidos com carga parciais.....	17
Tabela 3 - Relação e designação dos tratamentos.....	23
Tabela 4 - Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis: consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.....	34
Tabela 5 - Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis: capacidade de campo operacional e consumo de combustível por área trabalhada.....	38
Tabela 6 - Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis: força média na barra de tração, velocidade de deslocamento e potência na barra de tração.....	40

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dinâmico de um trator agrícola, funcionando com biodiesel destilado (50% etílico + 50% metílico), em função das seguintes proporções de biodiesel e diesel de petróleo: 0 e 100%, 5 e 95%, 15 e 85%, 25 e 75%, 50 e 50%, 75 e 25% e 100 e 0%, respectivamente. O experimento foi realizado em área do departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista - UNESP, *campus* de Jaboticabal - SP, localizado na latitude 21° 14' 28" S e longitude 48° 17'12" W. Foi utilizado um trator 4x2 TDA, com potência de 73,6 kW (100 cv) no motor e um trator de lastro. O biodiesel utilizado foi produzido à base de óleo residual de fritura de alimentos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com 7 tratamentos e 5 repetições, totalizando 35 observações. Os resultados evidenciaram que a mistura, biodiesel e diesel de petróleo, influenciou significativamente as variáveis: consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal, consumo de combustível por área trabalhada e consumo específico. Quando o trator operou com 100% de biodiesel (B100) o consumo específico aumentou, em média, 18%, em relação ao diesel (B0).

Palavras-chave: Biodiesel, misturas de combustíveis, trator, desempenho dinâmico.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the dynamic performance of an agricultural tractor utilizing distilled biodiesel (50% ethylic + 50% methylic) in proportion function of biodiesel and diesel of petroleum (0 and 100%, 5 and 95%, 15 and 85%, 25 and 75%, 50 and 50%, 75 and 25% and 100 and 0%) respectively. This research was done in the area of the department of Rural Engineering of the State University Paulista -UNESP, campus of Jaboticabal - SP, located in the latitude 21° 14' 28" S e longitude 48° 17'12" W, and a tractor 4x2 FWA was used, with power of 73,6 kW (100 cv) in the motor and a ballast tractor. The used biodiesel was produced the base of residual oil of fried foods. The experimental design was entirely casualized, with 7 treatments and 5 repetitions, totaling 35 observations. The results evidenced that the mixture, biodiesel and diesel, influenced the variables significantly, hourly volumetric consumption, hourly mass consumption, fuel consumption for worked area and specific fuel consumption. When the tractor operated with 100% of biodiesel (B100) the specific consumption increased 18% on average in relation to the diesel (B0).

KEYWORDS: biodiesel, mixtures of fuels, tractor, dynamic performance.

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da energia consumida no mundo é obtida a partir da queima de carvão, de gás natural e de derivados de petróleo como a gasolina, o querosene e o óleo diesel, sendo este último um combustível amplamente utilizado para movimentar ônibus, caminhões e máquinas agrícolas.

Devido ao grande desenvolvimento industrial, econômico e agrícola ocorrido no mundo após a Segunda Guerra Mundial e o estabelecimento de padrões de consumo cada vez mais intensos, a demanda energética elevou-se a tal ponto, que coloca em risco grande parte do modelo de produção contemporâneo que é dependente, basicamente, de uma única fonte de energia: o petróleo.

Considerando-se que há previsões de escassez das reservas petrolíferas mundiais, é imediata a necessidade de se encontrar um substituto para os combustíveis de origem fóssil que, atualmente, são indispensáveis para a geração da energia necessária ao desenvolvimento econômico e para movimentar as máquinas agrícolas.

O Brasil, por ser um país com grande extensão territorial e por sua natureza agrícola, apresenta um grande potencial de uso e de recursos naturais que podem ser aplicados para gerar energia e substituir as fontes energéticas convencionais.

As fontes alternativas que atualmente despertam maior interesse dos pesquisadores são os combustíveis de origem vegetal, como o álcool e, mais recentemente, o biodiesel.

O biodiesel apresenta características importantes, como a produção a partir de diversas matérias primas como o amendoim, a colza, o dendê, o girassol, a mamona, a soja, entre outros.

Segundo DABDOUB (2003b), a produção do biodiesel, obtido de fontes 100% renováveis, poderá ser responsável pelo ingresso de divisas para o Brasil, pela venda das cotas de carbono, estabelecidas pelo protocolo de

Kyoto. Desse modo, ocorrerá um incremento na área de plantio de matérias primas para produção de biodiesel, que serão também responsáveis pela retirada de grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera.

Outra alternativa importante para a produção de biodiesel é o uso de óleos vegetais residuais, como o óleo utilizado em fritura de alimentos, contribuindo para a reciclagem desse subproduto, que necessita de uma solução ambiental para não ser lançado diretamente no solo ou na rede de esgotos, poluindo solo e água. Segundo COSTA NETO et al. (2000), estima-se que na cidade de Curitiba – PR e sua região metropolitana são descartadas cerca de 100 toneladas por mês desse subproduto no meio ambiente.

Uma das grandes vantagens do biodiesel é sua adaptabilidade aos motores do ciclo diesel, dispensando modificações e configurando-se como uma alternativa técnica capaz de atender à frota movida atualmente a óleo diesel. O uso de outros combustíveis alternativos, tais como o gás natural ou biogás, requer adaptações dos motores para a sua utilização, fato que torna o biodiesel bastante atrativo (MEIRELLES, 2003).

Considerando a realidade acima, foi estabelecido como objetivo para esta pesquisa avaliar o desempenho dinâmico de um trator agrícola em função da proporção de mistura dos combustíveis, diesel de petróleo e biodiesel destilado (50% etílico + 50% metílico), à base de óleo residual de fritura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO

A história da humanidade é também uma história de descobertas de novas fontes de energia e novas aplicações para a energia. A primeira dessas descobertas foi, provavelmente, a do uso da força do vento para impelir barcos a vela. O fogo foi o primeiro elemento da natureza a ser dominado pelo homem e tem inúmeras aplicações desde os primórdios da história, mas seu uso como energia para mover uma máquina só se tornou possível no século XVII, quando associado à produção de pressão do ar ou do vapor (BRANCO, 1990). O uso da energia dos ventos aumentou com o aprimoramento dos equipamentos de captação dessa força natural, que é usada ainda hoje para mover moinhos e bombas de água, particularmente na Europa (ZEGNA, 1991).

No Brasil, a exemplo de outros países, os ciclos de desenvolvimento econômico estão diretamente ligados aos ciclos de desenvolvimento da energia. Inicialmente foi o ciclo da energia animal, em que cavalos, burros e bois movimentavam mercadorias e negócios. Depois veio o ciclo da máquina a vapor, do gás e, no final do século XIX, a eletricidade. Só a partir de 1950 o Brasil conheceu o petróleo, o “ouro negro” (YOKOMIZO, 2003).

A ameaça de que a principal matéria-prima, em nível mundial, usada como fonte para energia: o petróleo, está para se esgotar em poucos anos, provoca uma busca por novas fontes energéticas, expondo a fragilidade de nações inteiras que se apóiam em um único produto gerador de combustível (PACHECO, 2004).

O desenvolvimento energético é considerado um fator estratégico para uma nação e a extensão do uso da energia sempre esteve diretamente associada ao grau de desenvolvimento dos povos. Ao longo da história, pode-se constatar que a disponibilidade e a acessibilidade que as pessoas têm à energia estão ligadas ao crescente conforto humano e à produção de bens (RABELO, 2001). Sem energia, as máquinas param, não há produção, emprego ou renda (YOKOMIZO, 2003).

Uma das tarefas atuais dos pesquisadores é a busca por novas fontes energéticas para atender ao período de transição do petróleo para outros combustíveis não fósseis. Esse fato depende de cada país, de cada região mundial e de cada condição climática. Para mudança da política energética são necessários não só grandes investimentos, como longos prazos de maturação e de pesquisas para produção dos novos combustíveis em um escala suficientemente capaz de atender à demanda prevista para os próximos anos (LIMA; MARCONDES, 2002).

A investigação do potencial combustível dos óleos vegetais constitui-se em uma destas alternativas e vem apresentando resultados animadores (SALAZAR, 2002).

2.1.1 Fontes Alternativas de Energia

Desde a “crise do petróleo”, na década de 1970, o governo brasileiro tem estimulado pesquisas e programas para substituir parte do consumo de combustível fóssil por combustíveis alternativos e renováveis, e que possam ser produzidos no Brasil (KUBOTA, 2003).

Ainda na década de 1970, a Universidade Federal do Ceará desenvolveu pesquisas com o objetivo de encontrar fontes alternativas de energia. As experiências revelaram alternativas que utilizam óleos vegetais como combustíveis e que possuem propriedades semelhantes às do diesel convencional: o biodiesel (HOLANDA 2004).

O Programa brasileiro Proálcool, lançado em 1975, tinha como objetivo garantir o suprimento de combustível para o Brasil, substituindo a gasolina por

um combustível renovável, encorajando o desenvolvimento tecnológico da indústria de cana-de-açúcar e do álcool. Até 1979, a ênfase foi na produção de álcool anidro, com 99,33% de etanol, para ser misturado à gasolina. Com a crise do petróleo de 1979, o foco passou a ser a produção de álcool hidratado para ser utilizado diretamente como combustível para os carros. A partir de 1989, o programa sofreu uma crise prolongada, mas o álcool continua sendo um importante componente da gasolina, com um percentual atual de 25% de mistura, fato inédito no mundo. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, de açúcar e de álcool combustível (HOLANDA, 2004).

A energia solar tem enorme potencial de aproveitamento como uma alternativa energética decisiva para o futuro (ZEGNA, 1991). A quantidade de energia que o sol irradia sobre a superfície do continente brasileiro em um dia equivale à energia produzida em 24 horas por trezentas e sessenta mil usinas hidrelétricas do porte da usina de Itaipu. Segundo esses autores, a energia de um dia de sol sobre a terra equivale à energia de todas as reservas de petróleo (NOGUEIRA; VIDAL, 1999),

A energia solar recebida continuamente pela Terra é a principal responsável por fenômenos meteorológicos vitais que ocorrem na sua superfície. Os ventos, por exemplo, são causados por diferenças de temperatura que ocorrem continuamente em diferentes pontos do planeta. Todo movimento cíclico das águas do planeta depende da energia solar, que é responsável também pela umidade atmosférica, nuvens ou mesmo a chuva, que alimenta e movimenta a água nos rios. A água corrente é capaz de mover moinhos, rodas d'água ou turbinas hidráulicas. A utilização do potencial hidráulico para a geração de energia elétrica constituiu até agora a melhor alternativa possível de aproveitamento dos recursos energéticos da natureza em nosso país (BRANCO, 1990).

Pela fotossíntese, parte da energia solar é armazenada na forma de moléculas que compõem as plantas, que em sua fase adulta podem ser transformadas e aproveitadas como combustível, como por exemplo: o álcool, a lenha e, ainda, os óleos vegetais que podem ser utilizados como energia nos motores a diesel (NOGUEIRA; VIDAL, 1999).

As fontes orgânicas utilizadas para produção de energia são chamadas de biomassa, que corresponde à toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal que pode ser convertida em energia (TWIDELL; WEIR, 1986).

A energia obtida de “biomassas”, juntamente com outras opções energéticas, como a energia solar em suas mais variadas formas, oferecem à humanidade alternativas importantes, por serem renováveis e por cumprirem praticamente todos os requisitos de uma alternativa menos danosa ao ambiente, em substituição ao petróleo (GILBERT, 1980).

A grande vantagem do uso da biomassa renovável, como o combustível, está na possibilidade de reciclagem do gás carbônico, que se desprende na combustão, não permitindo que ele se acumule na atmosfera (BRANCO, 1990).

O biodiesel, o bagaço da cana-de-açúcar, as pequenas centrais hidrelétricas, o álcool, a energia eólica e a solar são algumas das fontes energéticas alternativas conhecidas, e que precisam ser melhor estudadas e utilizadas para um desenvolvimento econômico sustentável (CORDEIRO, 2003).

O Brasil tem uma grande extensão de terras agricultáveis, combinada com diferentes padrões climáticos, o que lhe confere perfeitas condições para ser referência na produção e exportação de diferentes formas de energia de biomassa (VIEIRA, 2004).

O êxito nacional com a grande produção de álcool mostra que o biodiesel também pode ser produzido competitivamente, especialmente considerando-se os patamares atuais do preço do petróleo (VIEIRA, 2004).

2.1.1.1 Biodiesel

Biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis e aditivos derivados de fontes renováveis, como o dendê, o babaçu, a soja, a palma, a mamona, entre outras. No Brasil, as pesquisas com biodiesel tiveram início em 1980, com os trabalhos do professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, que é o autor da patente PI – 8007957. Essa foi a primeira patente, registrada no mundo, de biodiesel e de querosene vegetal de aviação (HOLANDA, 2004).

Segundo RAMOS (1999), de um modo geral, o biodiesel foi definido pela *National Biodiesel Board* dos Estados Unidos como o derivado mono-alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (motores do ciclo diesel).

De acordo com RAMOS (1999), o biodiesel tem as seguintes características:

- ausência de enxofre e aromáticos;
- alto número de cetano;
- teor médio de oxigênio em torno de 11%;
- maior viscosidade e maior ponto de fulgor que o diesel convencional;
- direcionamento a mercado específico, diretamente associado a atividades agrícolas;
- no caso do biodiesel de óleo de fritura (óleo residual), caracteriza-se por um grande apelo ambiental;
- preço de mercado relativamente superior ao diesel de petróleo.

Historicamente, o primeiro biodiesel foi o óleo de amendoim, combustível que Rudolf Diesel utilizou para abastecer o “motor” fruto de sua invenção, em uma feira em Paris em 1900. O motor que, contrariando a vontade do inventor, seria utilizado, por mais de oito décadas, somente com o óleo diesel, devido ao gigantesco avanço proporcionado pela indústria do petróleo nos anos que se seguiram (FONTANA, 2004).

Segundo DABDOUB (2003a), o biodiesel é um combustível que pode ser utilizado nos motores diesel e, portanto, é um bom substituto puro ou como um componente, quando misturado ao óleo diesel.

Ainda segundo DABDOUB (2003a), o biodiesel é quimicamente conhecido como éster de alquila, de metila ou etila, que podem ser obtidos por reações de transesterificação, utilizando o metanol (originário de fontes fósseis) ou etanol (álcool de cana), na presença de uma substância química (catalisador), que promove a transformação química desses reagentes.

SUAREZ (2002) desenvolveu um catalisador que acelera o processo de obtenção de biocombustível e elimina os compostos oxigenados resultantes

do craqueamento (quebra das cadeias das moléculas) do óleo, considerados corrosivos e que diminuem a eficiência da combustão. Esse autor afirma que o combustível pode ser usado por qualquer veículo ou equipamento movido a diesel, sem a necessidade de adaptação do motor e que, quando comparado ao óleo diesel de petróleo, o óleo diesel vegetal possui uma série de vantagens: é livre de enxofre (reduz a poluição), é um recurso renovável, ao contrário do petróleo que demora milhares de anos para ser transformado na natureza e, portanto, finito.

De acordo com PARENTE (2003), pelas semelhanças de propriedades fluidodinâmicas e termodinâmicas, o biodiesel e o diesel do petróleo possuem características de completa equivalência, especialmente vistas sob os aspectos de combustibilidade em motores do ciclo diesel. Portanto, o desempenho e o consumo são praticamente equivalentes e, não há necessidade de qualquer modificação ou adaptação dos motores para que funcionem regularmente com um ou outro combustível.

Ainda segundo PARENTE (2003), graças à equivalência de suas propriedades físico-químicas e como o biodiesel e o diesel mineral são completamente miscíveis, as misturas de biodiesel com o diesel de petróleo podem ser empregadas em qualquer proporção, tornando essa condição vantajosa, pois não são requeridos para o uso do biodiesel motores diferenciados daqueles que utilizam o diesel de petróleo.

MONYEM e VAN GERPEN (2003) mostraram que máquinas abastecidas com biodiesel produziram menos monóxido de carbono e menor queima de hidrocarboneto, quando comparados ao diesel.

WANG et al. (2000), durante um experimento em motores de caminhões abastecidos com um combustível contendo 65% de óleo diesel e 35% de biodiesel, observaram uma redução moderada nos níveis de emissão de hidrocarbonetos, quando comparado ao diesel.

Segundo CONTE (2004), na Universidade de São Paulo, estudos com biodiesel já foram estendidos aos veículos de passeio e os carros das montadoras brasileiras Peugeot e Citroën vêm sendo testados com biodiesel, visando à obtenção de dados sobre consumo e emissão de poluentes, entre outros.

A poluição atmosférica é um dos principais problemas ambientais e de saúde pública nos grandes centros urbanos. Ao lado das indústrias e das atividades de serviço, os veículos ocupam destaque como grandes fontes emissoras de poluentes atmosféricos. A deterioração da qualidade do ar eleva os custos sócio-econômicos e provoca sérios danos à saúde humana, por isso deve ser controlada pela adoção de medidas eficazes de controle da poluição (RABELO, 2001).

De acordo com o CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (2004), o conceito de impacto ambiental, é definido como: qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estáticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Estudos divulgados pela *National Biodiesel Board*, dos Estados Unidos, afirmam que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição de 60% da demanda mundial de diesel (MEIRELLES, 2003).

De acordo com COOK et al. (1993), a produção de biodiesel tem como grande fonte de matéria prima os óleos residuais ou óleos produzidos a partir de produtos vegetais, o que causou interesse científico em vários países europeus. Os autores ressaltam a importância de estudos com o objetivo de reduzir o custo de produção e procurar alternativas de uso para esse produto. Desse modo, é imprescindível o suporte governamental para tornar viável a produção e o uso do biodiesel.

RABELO (2001) afirma que, diante da necessidade da reciclagem de resíduos e da crescente escassez do petróleo, o óleo de frituras usado contribui como um combustível alternativo de excelentes qualidades. Segundo esse autor, o óleo residual de fritura torna-se muito semelhante ao diesel em termos de viscosidade e de poder calorífico ao sofrer uma transformação química, a transesterificação. Convertendo-se, dessa forma, em biodiesel que, adicionado ao diesel de petróleo, melhora a lubricidade e dispensa aditivos mais poluentes. Também, por conter oxigênio na cadeia química, tem melhor

queima, com conseqüente diminuição de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos.

Os esforços do governo em atender às perspectivas de aumento da demanda de energia elétrica, poderiam ser canalizados, em parte, para o uso de óleos vegetais na geração elétrica. Estimulando-se, assim, soluções regionais, principalmente em localidades isoladas, para as quais o custo de transporte do diesel de petróleo torna muito oneroso a geração de energia elétrica, permitindo-se a independência energética dessas comunidades isoladas e a promoção de melhores índices de qualidade de vida, haja vista a disponibilidade energética (DI LASCIO et al., 1994).

A produção de matéria prima para ser utilizada na fabricação de biocombustíveis pode ser uma importante forma de gerar empregos e renda em áreas carentes do Brasil e que necessitam de alternativas econômicas para a população local, além de ser um importante produto para exportação e independência energética nacional (KUBOTA, 2003).

2.2 DESEMPENHO DE MOTORES DE CICLO DIESEL COM COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

O uso de combustíveis de fontes renováveis, em motores, busca a redução do consumo de combustíveis fósseis e a dependência dessa fonte finita. Portanto, é importante que se realizem estudos para avaliação do desempenho dos motores usando combustíveis alternativos (fontes renováveis).

De acordo com os relatórios do MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO - MIC (1985), testes desenvolvidos em território nacional com vários tipos de óleos vegetais transesterificados, puros ou misturados ao diesel na proporção de 30%, demonstraram bons resultados quando utilizados por caminhões, ônibus e tratores. Nesses testes, foram percorridos mais de um

milhão de quilômetros e os principais problemas apresentados foram associados a um pequeno acúmulo de material nos bicos injetores e um leve decréscimo da viscosidade do óleo lubrificante.

Em Curitiba – PR foram realizados testes com combustível alternativo oriundo de óleo residual de fritura para utilização em ônibus de transporte coletivo da cidade. Os testes foram realizados com ônibus Mercedes-Benz motor modelo 355 turbinado e potência de 238 cv. Durante os testes foi utilizado o combustível na proporção de 80% óleo diesel e 20% biodiesel. O ônibus circulou em condições normais de trabalho, apresentando um desempenho semelhante ao uso diesel convencional (ZAGONEL et al., 1999; ZAGONEL, 2000; ZAGONEL et al., 2000).

RABELO (2001) em ensaios com um motor Lombardini de 1 cilindro, injeção direta e ciclo diesel em bancada dinamométrica, testou o uso de óleo diesel, biodiesel (óleo de fritura, após processo de transesterificação) e misturas. Durante esses testes o autor observou que o biodiesel puro apresentou a mesma potência e torque que o diesel, com um aumento de até 5% no consumo específico entre as rotações de 2000 e 2400 rpm. Para rotações superiores a 2200 rpm, os biodieseis, 50% óleo de fritura + 50% diesel e 20% óleo de fritura + 80% diesel, desempenharam torque e potência semelhantes ao diesel convencional, sem aumento do consumo específico.

CORDEIRO (2003), em estudo da síntese e caracterização de biodiesel etílico para a utilização em motores de ciclo-diesel, utilizou para a produção do biodiesel, óleo de soja virgem refinado e óleo de soja residual, concluindo que os resultados obtidos em bancada dinamométrica mostram que, para o tipo de motor usado, não é requerida nenhuma alteração adicional, pois os combustíveis ensaiados proporcionaram desempenho semelhante ao óleo diesel. Por essa razão, os biocombustíveis produzidos podem ser utilizados puros ou em misturas com o diesel.

NASCIMENTO (1999), em estudo com um motor diesel, avaliou, numa primeira etapa, o diesel de petróleo puro como combustível e, numa etapa seguinte, uma mistura de 20% diesel de petróleo e 80% de óleo de soja. Os resultados mostraram o mesmo desempenho de torque e potência do motor utilizando diesel de petróleo puro.

PETERSON et al. (1996) testaram um biodiesel do tipo etílico filtrado, produzido à base de sementes de colza em um veículo movido originalmente a óleo diesel, sem efetuar modificações. Para obtenção dos resultados, executaram o teste em duas etapas: a primeira, num teste de pista, utilizando o veículo em viagens pelas estradas norte-americanas, percorrendo um total de 14.069 km; a segunda etapa, um teste laboratorial utilizando um dinamômetro. Após os testes, concluíram que o motor do veículo, quando consumindo biodiesel puro, apresentou redução de 1,8% na potência (kW) e acréscimo de 8,9% no consumo (km L^{-1}), a 2.500 rpm, quando comparado ao seu desempenho funcionando a diesel (100%). Nenhum problema foi observado no veículo no decorrer das duas etapas do teste.

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

SCHUMACHER et al. (1993) avaliaram o funcionamento de caminhonetes, tratores, veículos de aeroportos e ônibus urbanos usando óleo diesel e biodiesel na ordem de 20% a 100%. Os resultados não apontaram indícios de aumento de desgaste, comprometimento de potência ou redução na durabilidade. Entretanto, fatores associados ao uso do biodiesel, seja parcial ou totalmente, em substituição ao diesel de petróleo como combustível, ainda necessitam maiores estudos.

2.3 DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA

A partir da década de 70, com a mudança das demandas da agricultura, a qual passou a responder pelo desenvolvimento industrial brasileiro, o trabalho manual foi progressivamente substituído pelo trabalho mecanizado. Dentre todas as máquinas introduzidas no meio rural merece destaque o trator agrícola que devido à sua versatilidade pode ser utilizado na execução de inúmeras tarefas, como fonte de potência e tração. Segundo CARDOSO JUNIOR (1991), a diversificação no meio agrícola implica a utilização de novas tecnologias e proporciona uma relação custo-benefício favorável à atuação no campo. Entretanto, a dependência de energia, especificamente no que diz respeito aos combustíveis fósseis, é um fator preocupante entre os agricultores e estudiosos da área (RABELO; SALVADOR, 1993).

Têm sido realizados diversos estudos para analisar a eficiência de conversão de energia química do combustível em energia mecânica na forma de potência e tração, entre eles o de LIMA, SOUZA e MILANEZ (1993). Essa conversão de energia influi no rendimento global do trator e considerando todas as perdas no motor, sistema de transmissão e sistema de tração.

De acordo com SILVA e BENEZ (1997), os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, torque e potência desenvolvida na tomada de potência (TDP), eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível.

Ainda, segundo SILVA e BENEZ (1997), a monitorização do desempenho do trator tem sido do interesse de pesquisadores a mais de três décadas, tendo como principal objetivo a otimização do desempenho do trator, para aumentar a eficiência de utilização do combustível, de modo que produza máxima quantidade de trabalho por unidade de combustível consumido.

A utilização da potência desenvolvida pelo motor de um trator por meio da barra de tração é a maneira mais comum de se utilizar este equipamento, devido a sua versatilidade. Porém, é menos eficiente quando comparada com a

tomada de potência e o sistema hidráulico. O baixo desempenho na barra de tração ocorre devido a alguns fatores como o tipo de solo (características intrínsecas), distribuição de peso sobre os rodados, características dos rodados, transferência de peso durante a operação, tipo e quantidade de cobertura vegetal, entre outros (GABRIEL FILHO et al., 2002).

GABRIEL FILHO et al. (2002), avaliando o desempenho operacional de um trator agrícola em área com diferentes tipos de cobertura vegetal, concluíram que a maior quantidade de matéria seca na superfície do solo aumenta os índices de patinagem e, por isso, diminui a eficiência de tração. Esse fato que pode ser explicado devido à tração ser resultado da interação entre o rodado e a superfície em questão.

De acordo com LOPES et al. (2003a), o consumo de combustível num trator 4x2 TDA com 121 cv no motor é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

Desde que o emprego de máquinas e implementos agrícolas montados ou de arrasto passou a se generalizar tornou-se preocupação, de pesquisadores e empresas, a quantificação dos esforços atuantes nos tratores e implementos, além do consumo de combustível, em função das características dos sistemas de produção (SILVA et al., 1999).

O objetivo da instrumentação agrícola para realização de ensaios em campo é, segundo SILVA et al. (1999), gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motomecanizados na agricultura.

Segundo MANTOVANI, LEPLATOIS e INAMASSU (1999), testes de desempenho do conjunto trator-implemento, usando instrumentação eletrônica, permitem uma grande capacidade de trabalho em razão da facilidade de programação e operação da cadeia de medições. Pelos dados coletados obtêm-se as curvas de desempenho operacional do conjunto, assim como um relatório de avaliação completo de forma bastante rápida, que pode servir de recomendação tanto para o usuário quanto para os fabricantes.

SUMMERS et al. (1986), ao analisarem funções relativas à variação da força de tração média com a velocidade, para alguns equipamentos de preparo do solo, observaram que o esforço tratório variou linearmente com a velocidade, para implementos, como subsoladores, grades de discos e arado

escarificador. Observaram ainda que, pequenas mudanças na profundidade de preparo ou velocidade de deslocamento podem afetar significativamente o consumo horário de combustível e a energia requerida.

Avaliando a patinagem de um trator agrícola, JENANE, BASHFORD e MONROE (1996) concluíram que, quando o trator trabalha com patinagem fora do ideal, há uma redução considerável na eficiência trativa com aumento do consumo específico de combustível.

Segundo a ASAE (1989), para um trator operar com máxima eficiência de tração, a patinagem do rodado motriz deve estar entre 8 e 10% em solos não mobilizados, 11 e 13% em solos mobilizados e 14 e 16% em solos soltos ou arenosos.

2.3.1 Desempenho de Tratores com Combustíveis Alternativos

Estudos foram e estão sendo realizados utilizando o conjunto trator/equipamento para testar o desempenho com uso de combustível convencional (óleo diesel). No entanto, dada à necessidade de novas alternativas para essa fonte finita de energia os testes com combustíveis alternativos tornaram-se muito importantes.

JORI (1993) avaliou o desempenho de tratores agrícolas utilizando biodiesel como alternativa ao diesel combustível derivado do petróleo. Nesse estudo, avaliou também o comportamento do biodiesel em motor aspirado e turbinado. Os resultados revelaram que não ocorreram limitações para as operações dos tratores, quando foram usados os combustíveis alternativos. O trabalho ressalta que não houve diferença significativa de consumo entre as várias fontes de biodiesel, entretanto, mostra que o rendimento do motor utilizando somente óleo diesel foi maior.

MATTOS et al. (1981) utilizaram mistura de etanol/óleo de mamona (70% de etanol e 30% de óleo de mamona) em estudo comparativo do desempenho de um trator agrícola. Os testes foram realizados em pista de concreto e em condições de campo, tracionando implemento. O desempenho foi avaliado na tomada de potência principal e na barra de tração. Verificou-se

que houve queda de potência, elevação do consumo específico, acúmulo de resíduo em vários pontos do motor e formação de incrustações no cabeçote e cabeça do êmbolo.

No Instituto de Engenharia Rural (INTA) - Argentina, vários trabalhos e testes com biodiesel em tratores estão sendo realizados para a normalização do uso do biodiesel naquele país. Entre os testes realizados pelo INTA com trator usando biodiesel está o de HILBERT et al. (2005), que utilizou um trator modelo Deutz Fahr AX 120, 6 cilindros, com potência nominal de 86,9 kW.

Foram realizados testes com dinamômetro, utilizando-se três alternativas de combustível: óleo diesel puro, 80% óleo diesel + 20% biodiesel e 100% biodiesel. Os resultados médios obtidos em plena carga são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados médios obtidos em potência máxima

COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kW)	TORQUE (N m)	CONSUMO HORÁRIO (L h ⁻¹)	CONSUMO ESPECÍFICO (g kWh ⁻¹)
Óleo Diesel	77,3	1162	21,9	243,3
B20	75,2	1139	23,1	270,6
B100	73,7	1117	23,7	279,8

NOTA: (*) 80% Óleo diesel + 20% Biodiesel; (**) 100% Biodiesel.

FONTE: Adaptado de HILBERT et al. (2005).

Segundo HILBERT et al. (2005), a mistura B20 teve um comportamento intermediário entre óleo diesel e o B100, com diferenças de potência que dificilmente podem ser notadas em trabalho normal de campo. As maiores diferenças observadas no rendimento dos três combustíveis foram as de consumo específico. Aumento de consumo que pode ser atribuído à diferença de poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel.

Os resultados médios obtidos por HILBERT et al. (2005), com cargas parciais, no mesmo estudo, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados médios obtidos com carga parciais

COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kW)	TORQUE (N m)	CONSUMO HORÁRIO (L h ⁻¹)	CONSUMO ESPECÍFICO (g kWh ⁻¹)
Óleo Diesel	40,6	606,7	13,1	280,9
B20	41,0	597,4	13,7	300,4
B100	39,0	584,4	14,3	334,9

NOTA: (*) 80% Óleo diesel + 20% Biodiesel; (**) 100% Biodiesel.

FONTE: Adaptado de HILBERT et al. (2005).

GROTTA (2003), durante a avaliação de desempenho de um trator Valtra modelo BM 100, 4 cilindros com potência nominal de 73,6 kW (100 cv) em condições de campo, em operação de gradagem, utilizou óleo diesel e biodiesel de óleo residual de soja (nas proporções de 0% , 25%, 75% e 100 %), e observou um maior consumo específico à medida que as proporções de biodiesel aumentam. Segundo o autor, isso ocorre devido ao menor poder calorífico do biodiesel, cerca de 3% a 4% menor que o poder calorífico do diesel.

REIS (2004) comparou o consumo de combustível de um trator agrícola funcionando de maneira alternada com biodiesel filtrado e biodiesel destilado em operação de semeadura-direta. Durante os ensaios testou sete misturas de biodiesel e diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 E B100) e concluiu que o tipo de biodiesel, filtrado ou destilado, não influenciou no consumo específico de combustível. O incremento de biodiesel aumentou o consumo específico a partir de B50 até B100.

CAMARA (2004) avaliou o desempenho de um trator agrícola funcionando com diesel e biodiesel etílico destilado nas proporções (B0, B5, B15, B25, B50, B75 E B100). Segundo o autor, a mistura (diesel e biodiesel) não comprometeu o desempenho do trator até o limite de 25% e não alterou o consumo específico de combustível. Quando o trator operou com 100% de biodiesel também não houve restrição quanto ao desempenho, entretanto o consumo específico de combustível aumentou, em média, 22%.

3 MATERIAL E MÉTODOS¹

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em área do departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista – UNESP, *campus* de Jaboticabal - SP, localizado na latitude 21° 14' 28" S e longitude 48° 17'12" W. A área apresenta altitude média de 559 m, declividade média de 4% e clima Cwa (subtropical), de acordo com a classificação de Köeppen, e pressão atmosférica de 942,4 kPa.

3.2 SOLO

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, relevo suave ondulado (ANDRIOLI; CENTURION, 1999), conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999). O solo apresentou teor médio de água nos dias dos ensaios de 13,3%, 12,9% e 12,3% nos perfis de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, respectivamente. A análise granulométrica da camada de 0-30 cm para argila, silte, areia fina e areia grossa, apresentaram, respectivamente, os seguintes valores: 51; 29; 10 e 10 % (textura argilosa).

¹As citações de marcas comerciais não implicam recomendação de uso, mas somente a descrição dos materiais e equipamentos utilizados nesta pesquisa.

3.3 ESCARIFICADOR

Utilizou-se um escarificador modelo AST/MATIC, marca MARCHESAN, de arrasto com 5 hastes, ponteira sem asa com 8 cm de largura, equipado com rolo destorroador. A operação foi realizada a 30 cm de profundidade para obtenção da força média na barra de tração, devido à grande variabilidade da resistência específica do solo. Após a determinação da força média do equipamento, ele foi substituído por um trator de lastro, que fornecia resistência uniforme na barra de tração do trator de teste, durante todo o experimento.

3.4 TRATOR DE LASTRO

Utilizou-se um trator de lastro para formar o comboio, modelo Valtra BH 140 (Figura 2), 4x2 TDA, com potência de 103 kW (140 cv) no motor a 2350 rpm. As suas principais características encontram-se no APÊNDICE A.



Figura 2 - Trator de lastro.

3.5 BIODIESEL

Foi utilizado no ensaio biodiesel do tipo destilado. O biodiesel puro (B100) foi resultante de uma mistura de 50% metílico e 50% etílico, produzido a base de óleo residual de frituras, proveniente do Restaurante Universitário da FCAV - UNESP, Jaboticabal - SP. O processo de produção e fornecimento do biodiesel ficou a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL da Universidade de São Paulo - USP de Ribeirão Preto, que mantém um sistema de parceria com a UNESP de Jaboticabal desde ano de 2001.

3.6 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A instalação, condução e coleta de resultados foram realizadas conforme a seqüência abaixo:

- aplicação de dessecante na área do experimento;
- demarcação e estaqueamento das parcelas experimentais;
- casualização dos tratamentos;
- teste do sistema de instrumentação do trator;
- verificação de massa do trator de teste e ajuste de lastros sólidos do trator;
- ajuste da pressão de inflação dos pneus;
- seleção da velocidade do trator de teste;
- preparo das porcentagens de mistura do combustível (biodiesel x diesel de petróleo);
- realização do ensaio;
- coleta de amostras de solo para a determinação do teor de água.

As operações de sangramento do sistema de alimentação foram executadas entre todas as trocas de combustíveis, a fim de não contaminar o combustível do teste subsequente.

Cada parcela experimental ocupou uma área de 39 m² (20 x 1,95 m). Entre as parcelas, na direção longitudinal, foi reservado um espaço de 15 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização das determinações em cada tratamento, conforme Figura 3.

Diagrama

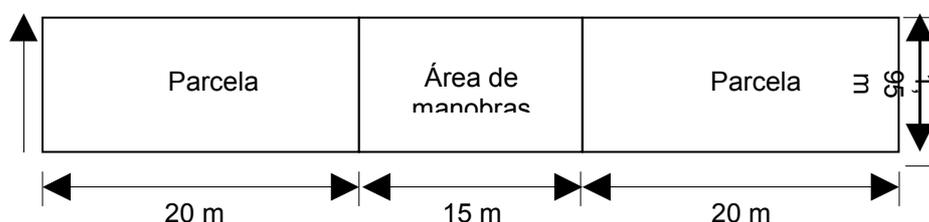


Figura 3 - Esquema das parcelas experimentais.

Estabeleceu-se um referencial do trator e quando este coincidia com a baliza de início da parcela acionava-se o cronômetro do sistema de aquisição de dados. O procedimento era interrompido ao percorrer os 20 m, no qual o ponto de referência adotado no trator coincidia com a baliza de término da parcela.

Simultaneamente, em cada parcela, o sistema de instrumentação fornecia diretamente:

- velocidade real de deslocamento;
- força na barra de tração;
- fluxo de entrada do combustível na bomba injetora;
- fluxo de retorno do combustível;
- temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- temperatura do combustível na saída;
- patinação das rodas motrizes.

3.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 7 proporções de mistura de combustível (tratamentos) e 5 repetições, totalizando 35 observações.

Todos os tratamentos e designações estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação e designação dos tratamentos

TRATAMENTOS	FATORES COMPARATIVOS		Designação
	PROPORÇÃO (%) Diesel x Biodiesel		
T1	100	0	B0
T2	95	5	B5
T3	85	15	B15
T4	75	25	B25
T5	50	50	B50
T6	25	75	B75
T7	0	100	B100

3.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO

Para a determinação do teor de água no solo, utilizaram-se um trado do tipo holandês, cápsulas de alumínio com volume de 60 cm³ e balança eletrônica com precisão de 0,01 g e estufa elétrica.

O teor de água no solo foi avaliado nos perfis de 0–10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, pelo método gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 °C até massa constante, de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

3.9 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE REAL DE DESLOCAMENTO

Para obtenção da velocidade instantânea real de deslocamento foi utilizada uma unidade móvel de radar do tipo RVS II, instalada na lateral esquerda do trator, formando um ângulo de 45° com o solo (Figura 4).

Considerou-se como velocidade real de deslocamento aquela obtida pelo radar, no momento em que o trator de teste tracionava o trator de lastro.

Selecionou-se uma marcha, cuja velocidade média foi em torno de $6,2 \text{ km h}^{-1}$.



Figura 4 - Radar.

3.10 SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS

Todos os sensores enviaram sinais para o sistema de aquisição e armazenamento de dados do tipo *micrologger* CR23X, marca CAMPBELL SCIENTIFIC, equipado com placa multiplexadora, modelo SDM-INT8 SN:2094, de 8 canais, para aumentar a quantidade de canais de entrada de sensores, conforme Figura 5.



Figura 5 - Sistema de aquisição de dados ligado aos sensores.

3.11 DETERMINAÇÃO DA FORÇA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO

Para a obtenção da força de tração na barra, foi utilizada uma célula de carga M. SHIMIZU, modelo TF400 com temperatura de utilização de -20 a

80 °C e alimentação recomendada de 10 a 12 Vcc, com capacidade para 10 t, acoplada à barra de tração do trator de teste, conforme Figura 6.

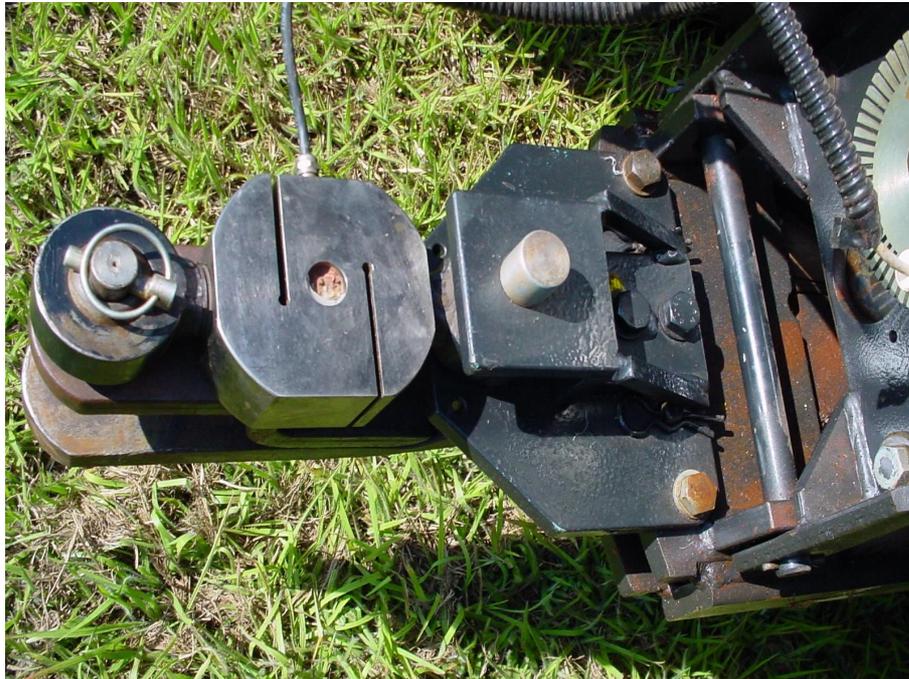


Figura 6 - Célula de carga acoplada à barra de tração.

A célula de carga foi conectada ao sistema de aquisição de dados, de modo que a força de tração média fosse obtida de forma direta. A unidade de medida utilizada foi kgf.

A força de tração média em kgf foi transformada para valores em kN, utilizando-se a seguinte equação:

(1)

Em que:

FT = força de tração média (kN);

Ft = força de tração média (kgf);

9,81 = coeficiente de transformação de kgf para N;

1000 = coeficiente de transformação de N para kN.

3.12 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO

A potência média na barra de tração foi calculada pela seguinte equação:

$$PB = FT * v \quad (2)$$

Em que:

PB = potência na barra de tração (kW);

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

v = velocidade real de deslocamento (m s⁻¹).

3.13 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAMPO OPERACIONAL

A capacidade de campo operacional foi determinada com base na largura de trabalho real do escarificador, da velocidade real de deslocamento do conjunto e da eficiência de campo do escarificador que, segundo BALASTREIRE (1987), é de 75%.

A largura de trabalho real de 1,95 m foi obtida a partir da média de três passadas do escarificador dentro das parcelas experimentais.

Para o cálculo da capacidade de campo operacional foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{CCO} = \frac{v * \text{Largura de trabalho real} * \text{Eficiência de campo}}{100} \quad (3)$$

Em que:

CCO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹);

v = velocidade real de deslocamento (km h⁻¹);

Lmr = largura real de trabalho do implemento (m);
10 = fator de conversão para ha h⁻¹;
0,75 = eficiência de campo da escarificador.

3.14 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Para medir o consumo de combustível foi utilizado um protótipo desenvolvido por LOPES et al. (2003b), constituído por 2 medidores de fluxo, instalados em série com 2 medidores de temperatura, para monitorar o débito e o retorno da bomba injetora. O protótipo mencionado acima conta com um sistema de filtragem independente e três depósitos auxiliares de biodiesel, conforme Figura 7.



Figura 7 - Reservatórios de combustível à esquerda e filtros auxiliares à direita.

O consumo de combustível foi determinado em todas as parcelas experimentais em unidade de volume (mL), pela diferença entre os volumes de combustível medidos antes e depois da bomba injetora, obtendo-se assim o volume realmente utilizado pelo trator durante o percurso. Juntamente com o

volume de combustível foi monitorada a temperatura antes e depois da bomba injetora.

Para o cálculo do consumo de combustível em função do tempo ou em função da potência na barra de tração, foi necessário determinar a densidade de cada uma das sete proporções de mistura (diesel x biodiesel), em função da temperatura, num intervalo de 10 a 70 °C, avaliando-se a densidade em intervalos de 5°C.

3.14.1 Consumo Horário Volumétrico

Com base no volume consumido, determinou-se o consumo horário volumétrico e ponderal. Para a determinação do consumo horário ponderal, considerou-se a influência da temperatura do combustível no momento do teste.

Para o cálculo do consumo horário volumétrico foi utilizada a seguinte equação:

$$Chv = \frac{C * 3,6}{t} \quad (4)$$

Em que:

Chv = consumo horário volumétrico (L h⁻¹);

C = volume consumido na parcela (mL);

t = tempo de percurso na parcela (s);

3,6 = fator de conversão de mL s⁻¹ para L h⁻¹.

Para o cálculo consumo horário ponderal foi utilizada a seguinte equação:

$$Chm = \frac{(Veb * Dceb - Vr * Dcr)}{t} * 0,0036 \quad (5)$$

Em que:

Chm = consumo horário ponderal (kg h⁻¹);

Veb = volume que entrou na bomba injetora (mL);

Dceb = densidade do combustível na entrada da bomba injetora
(g L⁻¹);

Vr = volume de retorno (mL);

Dcr = densidade do combustível de retorno (g L⁻¹);

t = tempo de percurso na parcela (s);

0,0036 = fator de conversão de mL s⁻¹ para L h⁻¹.

3.14.2 Consumo Específico

O consumo específico expressa o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração.

Para o cálculo do consumo específico foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{---} \quad (6)$$

Em que:

CE = consumo específico (g kW h⁻¹);

Chm = consumo horário ponderal (kg h⁻¹);

PB = potência na barra de tração (kW);

1000 = fator de conversão de kg para grama.

3.14.3 Consumo de Combustível por Área Trabalhada

O consumo por área trabalhada foi determinado com base na capacidade de campo operacional e no consumo horário volumétrico (L h⁻¹), utilizando-se a seguinte equação:

$$CA = \frac{Chv}{CCO} \quad (7)$$

Em que:

CA = consumo por área ($L\ ha^{-1}$);

CCO = capacidade de campo operacional ($ha\ h^{-1}$);

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

3.15 PATINAGEM DO RODADO MOTRIZ

A patinagem do rodado motriz foi determinada com base nos dados oferecidos pelo contador de pulsos instalado em cada roda do trator, pela relação do número de giros da roda, quando o trator estava operando com e sem carga.

Para o cálculo da patinagem foi utilizada seguinte equação:

$$\text{Patinagem (\%)} = \frac{100 \times (\text{Número de pulsos com carga} - \text{Número de pulsos sem carga})}{\text{Número de pulsos com carga}}$$

(8)

Em que:

S = patinagem (%);

NPS = número de pulsos sem carga;

NPC = número de pulsos com carga;

100 = fator de conversão para porcentagem.

3.16 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos ao teste de normalidade. Em seguida, foi realizada a análise de variância e o teste de

Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação entre médias, conforme recomendação de GOMES (1987).

Foi utilizada a análise de regressão linear das variáveis analisadas, em função das proporções de mistura (diesel x biodiesel), e, também, o teste "t" de Student, para verificação da significância do coeficiente angular da reta ajustada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE DOS COMBUSTÍVEIS

Com os valores de densidade dos combustíveis, em função da temperatura e da proporção de misturas, obteve-se, por regressão linear, a seguinte equação:

$$D = 847,6363 - 0,6659T + 0,1769P \quad (8)$$

Em que:

D = densidade do combustível (g L^{-1});

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

P = proporção de biodiesel (%) e;

R^2 = coeficiente de determinação da regressão (0,9922).

4.2 CONSUMO HORÁRIO VOLUMÉTRICO

Pelos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que o consumo horário volumétrico, foi semelhante para as proporções de misturas de B0 a B50, com B0 estatisticamente diferente de B75 e B100. B75 foi semelhante a B5, B15, B25, B50 e B100. O aumento das porcentagens de biodiesel fez com que o consumo aumentasse 15,5%, passando de 12,9 (B0)

para 14,9 (B100) L h⁻¹. Esse comportamento está de acordo com os resultados obtidos por LOPES et al. (2004), RABELO (2001) e REIS (2004).

Tabela 4 - Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis: consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico

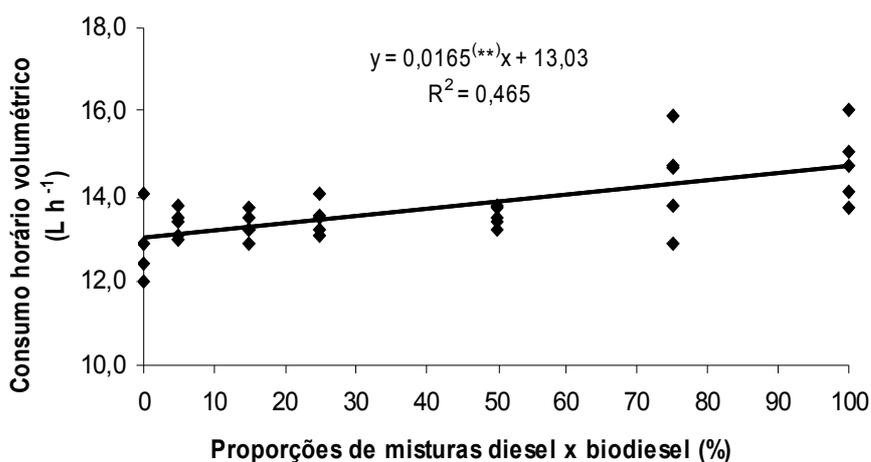
TRATAMENTOS	CONSUMO HORÁRIO VOLUMÉTRICO (L h ⁻¹)	CONSUMO HORÁRIO PONDERAL (kg h ⁻¹)	CONSUMO ESPECÍFICO (g kWh ⁻¹)
B0	12,9 A	10,5 A	294 A
B5	13,4 A B	11,0 A B	304 A B
B15	13,3 A B	11,0 A B	304 A B
B25	13,5 A B	11,1 A B	319 A B C
B50	13,5 A B	11,2 A B	317 A B C
B75	14,4 B C	12,0 B C	338 B C
B100	14,9 C	12,4 C	347 C
TESTE F	5,66**	6,81**	6,25**
C.V. %	4,76	4,89	5,41

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

** : Significativo (P<0,01);

C.V.: Coeficiente de variação.

O comportamento do consumo horário volumétrico, em função das proporções de mistura (diesel x biodiesel), é apresentado na Figura 8.



(**) significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade

Figura 8 - Consumo horário volumétrico (L h⁻¹), em função das proporções de mistura (diesel x biodiesel).

Na Figura 8, pode-se observar um aumento crescente do consumo horário volumétrico com o acréscimo da porcentagem de biodiesel no diesel, fato comprovado pelo coeficiente angular da reta, com valor de 0,0165, o qual se mostrou positivo e significativo para o teste t, a 5% de probabilidade.

4.3 CONSUMO HORÁRIO PONDERAL

Conforme a Tabela 4, verifica-se que o consumo horário ponderal foi semelhante de B0 a B50, com B0 diferindo estatisticamente de B75 e B100. B75 foi semelhante a B5, B15, B25, B50 e B100.

A Figura 9 mostra o ajuste do modelo de regressão linear, com base nos valores médios do consumo horário ponderal, em função das proporções de mistura (diesel x biodiesel), cujo coeficiente angular da reta, com valor de 0,0165, foi positivo e significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade, comprovando o aumento do consumo horário ponderal nas maiores proporções de mistura.

O aumento da porcentagem de biodiesel aplicado ao diesel fez com que o consumo ponderal aumentasse 18,1%, passando de 10,5 (B0) para 12,4 (B100)kg h⁻¹, resultados semelhantes foram obtidos por LOPES et al. (2004); RABELO (2001) e CAMARA (2004).

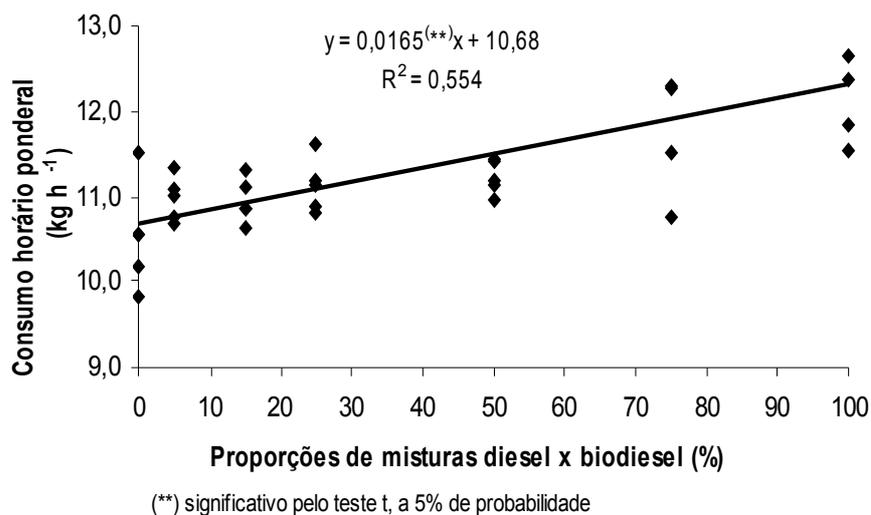


Figura 9 - Consumo horário ponderal (kg h^{-1}), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.4 CONSUMO ESPECÍFICO

De acordo com a Tabela 4, verifica-se que o consumo específico foi semelhante de B0 a B50, com B75 diferindo de B0 e semelhante a B5, B15, B25, B50 e B100. B100 foi semelhante a B25, B50 e B75 e diferente de B0, B5 e B15.

A Figura 10 mostra o comportamento do consumo específico, em função das proporções de biodiesel na mistura. O coeficiente angular da reta, com valor de 0,484, foi positivo e significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade, comprovando o aumento do consumo específico com as maiores porcentagens de biodiesel na mistura.

O consumo específico apresentou diferenças significativas com o aumento da porcentagem de biodiesel na mistura, passando de 294(B0) para 347(B100) g kWh^{-1} , representando um aumento médio de 18%. Esse comportamento está de acordo com os resultados obtidos por LOPES et al.

(2004) e REIS (2004), em que os autores avaliaram o consumo específico de combustível de um trator, utilizando biodiesel filtrado em operação de gradagem e biodiesel destilado em operação de semeadura direta. Esse aumento de consumo nas maiores porcentagens de biodiesel na mistura pode ser explicado pelo menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel de petróleo. Essa característica também foi observada por PETERSON et al. (1996), HILBERT et al. (2005), GROTTA (2003) e CAMARA (2004).

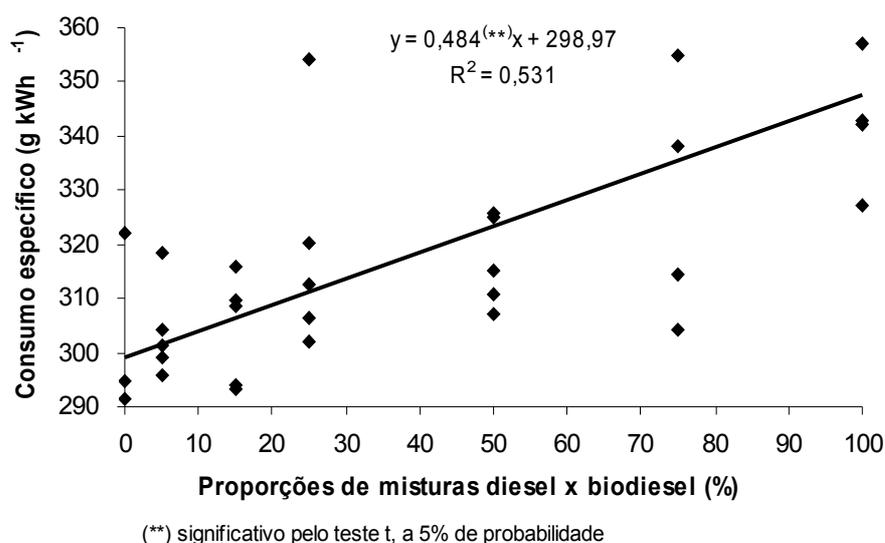


Figura 10 - Consumo específico (g kWh⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.5 CAPACIDADE DE CAMPO OPERACIONAL

De acordo com a Tabela 5 e a Figura 11, observa-se que a capacidade de campo operacional, não foi influenciada pela proporção de mistura, pois o coeficiente angular da reta, com valor de -0,00002, não foi significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade. Comportamento semelhante foi observado por CAMARA (2004).

Tabela 5 - Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis: capacidade de campo operacional e consumo de combustível por área trabalhada

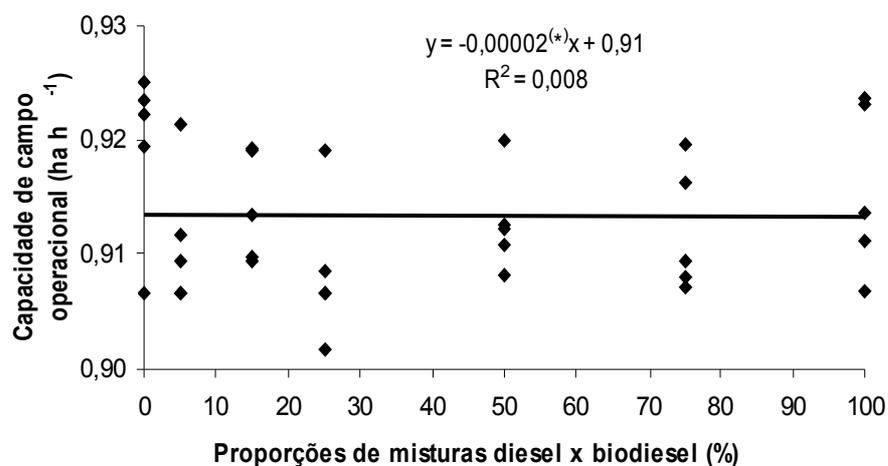
TRATAMENTOS	CAPACIDADE DE CAMPO OPERACIONAL (ha h ⁻¹)	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR ÁREA TRABALHADA (L ha ⁻¹)
B0	0,92 A	13,9 A
B5	0,91 A	14,7 A B
B15	0,91 A	14,6 A B
B25	0,91 A	14,8 A B C
B50	0,91 A	14,8 A B C
B75	0,91 A	15,8 B C
B100	0,91 A	16,1 C
TESTE F	1,51 ^{NS}	5,56 ^{**}
C.V. %	0,63	4,72

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

NS: não significativo;

** : Significativo (P<0,01);

C.V.: Coeficiente de variação.



(*) não significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade

Figura 11 - Capacidade de campo operacional (ha h⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.6 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR ÁREA TRABALHADA

Na Tabela 5, observa-se que o consumo foi semelhante de B0 a B50, com B75 diferindo de B0 e semelhante a B5, B15, B25, B50 e B100. B100 foi semelhante a B25, B50 e B75 e diferente de B0, B5 e B15.

Na Figura 12, nota-se que o incremento de biodiesel na mistura (diesel x biodiesel) aumentou o consumo de combustível por área trabalhada. Fato comprovado pelo coeficiente angular da reta, com valor de 0,018, ter se mostrado positivo e significativo para o teste t, a 5% de probabilidade.

O consumo de combustível por área trabalhada passou de 13,9 (B0) para 16,1 (B100) L ha⁻¹, representando um aumento de 16%. Resultados semelhantes foram encontrados por CAMARA (2004), trabalhando com biodiesel etílico destilado em operação de semeadura direta.

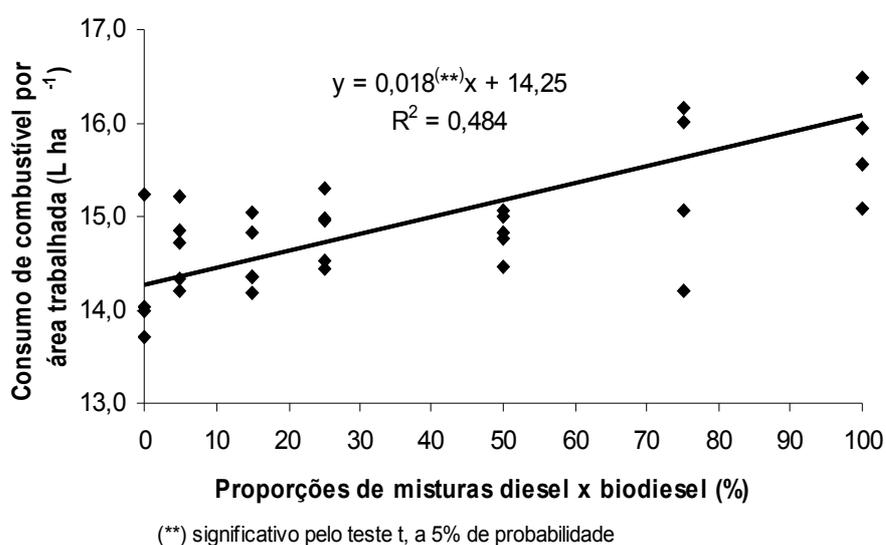


Figura 12 - Consumo por área trabalhada (L ha⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.7 FORÇA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO

Pelos resultados mostrados na Tabela 6, observa-se que o requerimento de força de tração na barra não apresentou diferenças significativas, com média geral de 20,6 kN.

Tabela 6 - Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para as variáveis: força média na barra de tração, velocidade de deslocamento e potência na barra de tração

TRATAMENTOS	FORÇA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO (kN)	VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO (km h ⁻¹)	POTÊNCIA NA BARRA DE TRAÇÃO (kW)
B0	20,4 A	6,3 A	35,8 A
B5	20,9 A	6,2 A	36,1 A
B15	20,8 A	6,2 A	36,0 A
B25	20,3 A	6,2 A	35,0 A
B50	20,5 A	6,2 A	35,4 A
B75	20,5 A	6,2 A	35,6 A
B100	20,5 A	6,2 A	35,6 A
TESTE F	0,83 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,89 ^{NS}
C.V. %	2,50	0,79	2,53

NOTAS: Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade;
NS: Não significativo;
C.V.: Coeficiente de variação.

A Figura 13 mostra que o coeficiente angular da reta, com valor de -0,0015, não foi significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade, comprovando que a força de tração não foi influenciada pela proporção de biodiesel na mistura.

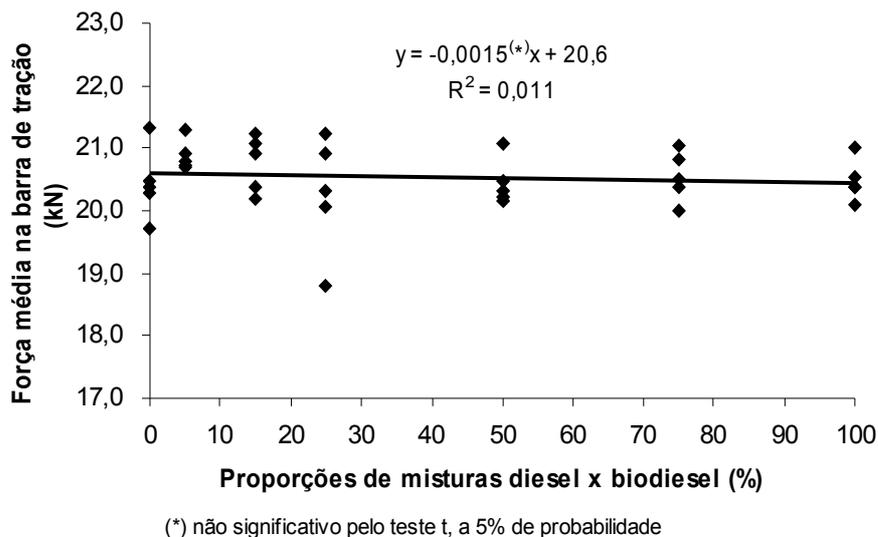


Figura 13 - Força média na barra de tração (kN), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.8 VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO

De acordo com a Tabela 6 e a Figura 14, observa-se que a velocidade de deslocamento não apresentou diferenças entre os tratamentos. O coeficiente angular da reta, com valor de $-0,000097$, não foi significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade, evidenciando que as diferentes misturas de biodiesel destilado e diesel de petróleo não influenciaram esta variável.

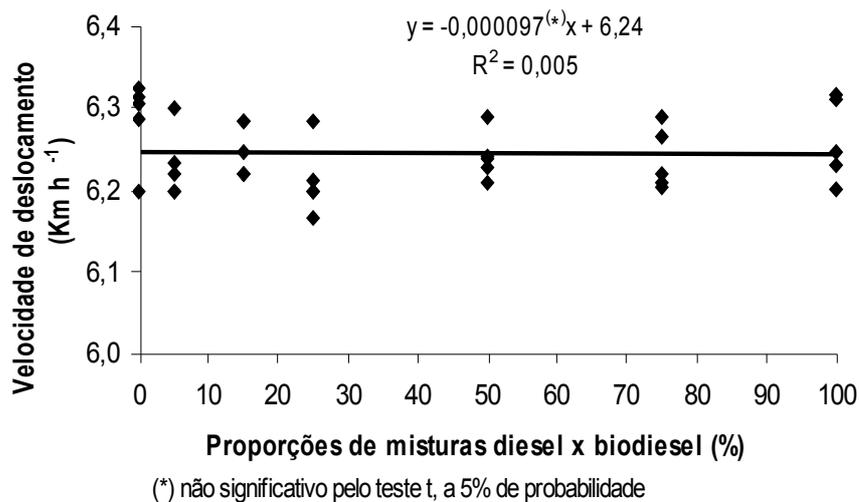


Figura 14 - Velocidade de deslocamento (km h⁻¹), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.9 POTÊNCIA MÉDIA NA BARRA DE TRAÇÃO

Pelos resultados apresentados na Tabela 6, verifica-se que a potência média na barra de tração não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, demonstrando que o uso de biodiesel não prejudica o desempenho do trator, embora aumente o consumo.

A Figura 15 mostra o comportamento dos valores médios, em que o coeficiente angular da reta, com valor de -0,0027, calculado para o conjunto de dados, não foi significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade, reiterando a condição de que a potência na barra não foi influenciada pelas proporções de mistura.

RABELO (2001) observou que o uso de biodiesel proveniente de óleo usado em frituras de alimentos em misturas com o diesel (D50% e D80%) desempenhou praticamente a mesma potência e torque que o diesel nas rotações superiores a 2200 rpm, sem aumento do consumo específico.

HILBERT et al. (2005) verificaram que a potência não apresentou diferenças significativas trabalhando com diesel puro e biodiesel (B20% e B100%), porém, o consumo específico de combustível foi 19% maior para os combustíveis alternativos.

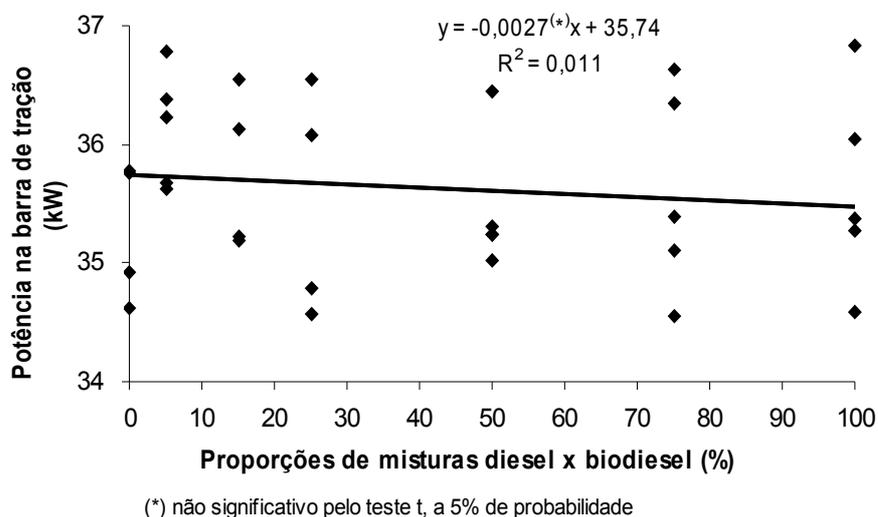


Figura 15 - Potência na barra de tração (kW), em função das proporções de misturas (diesel x biodiesel).

4.10 PATINAGEM DO RODADO MOTRIZ

Considerando os dados de força na barra de tração, a patinação média foi 10%, mantendo-se dentro do intervalo estipulado pela ASAE (1989) para solos não mobilizados que é de 8 a 10%.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pela pesquisa, é possível concluir que:

- A proporção de mistura diesel x biodiesel influenciou as variáveis: consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal, consumo específico e consumo de combustível por área trabalhada.
- A mistura de biodiesel metílico com biodiesel etílico, em proporção igual, não limitou o funcionamento do trator.
- A utilização do motor somente com biodiesel (B100) representou um aumento de 15,5% no consumo horário volumétrico, 18,1% no consumo horário ponderal, 16% no consumo por área trabalhada e 18% no consumo específico de combustível em relação ao diesel (B0).
- As variáveis: capacidade de campo operacional, força média na barra de tração, velocidade de deslocamento e potência na barra de tração, não foram influenciadas com o incremento de biodiesel na mistura.

REFERÊNCIAS

ANDRIOLI, I., CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília, **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD-ROM.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, S209.5 **Agricultural tractor test code**. St. Joseph, 1989. p. 44-48.

BALASTREIRE, L. A., **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BRANCO, S. M.; **Energia e meio ambiente**. São Paulo, Moderna, 1990. p. 1-96.

CAMARA, F. T. **Desempenho de um trator agrícola com biodiesel etílico destilado**. Jaboticabal - SP, 2004. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - SP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

CARDOSO JUNIOR, M. M. **Análise de desempenho de tratores agrícolas com tração 4X2 e 4X2 auxiliar em condição de campo**. Piracicaba, 1991.104 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n. 001**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA" - Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 18 ago. 2004.

CONTE, P. Biodiesel: uma aposta no futuro. **Revista Senac e educação ambiental**. Rio de Janeiro, ano 13, n. 3, p. 34-37 set/dez 2004.

COOK, P.; WALKER, K. C.; BOOTH, E. J.; ENTWISTLE, G. The potencial for biodiesel production in the UK. **Farm Management**, London, v. 8, n. 8, p. 361-368, 1993.

CORDEIRO, S. C. **Síntese e caracterização de biodiesel etílico para utilização em motores do ciclo-diesel**. Curitiba, 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

COSTA NETO, P. R. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DABDOUB, M. J. **Programa paulista de biodiesel**. LADETEL/USP, Ribeirão Preto: Disponível em: <http://dabdoub-labs.com.br/Sintese_projeto.htm>. Acesso em: 18 nov. 2003a.

DABDOUB, M. J. **Uso de novos combustíveis permitirá a redução das importações de diesel em no mínimo 33%**. Disponível em: <<http://www.dabdoub-labs.com.br>>. Acesso em: 28 mar. 2003b.

DI LASCIO, M. A.; ROSA, L. P.; MOLION, L. C. B. **Projeto de atendimento energético para comunidades isoladas da Amazônia**. Rio de Janeiro - RJ: COPPE/UFRJ, UNB, UFAL, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRÍCOLA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRÍCOLA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA/CNPS, 1999. 412 p.

FONTANA, J. D. Biodiesel: processos de produção e auto-suficiência energética para pequenas comunidades. In: HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos deputados, coordenação de publicações, p. 89-102, 2004.

GABRIEL FILHO, A., SILVA, S. L., MODOLO, A. J., DYKSTRA, M. **Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 31, 2002. Salvador – BA. **Anais...** Salvador BA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. p. 1-4.

GILBERT, H. A. Tecnologia dos Óleos Vegetais Combustíveis. **Revista Energia – Fontes alternativas de energia**. São Paulo: v. 2, n. 11, p. 7-8, nov/dez 1980.

GOMES, F. P. **A estatística moderna na agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 167 p.

GROTTA, D. C. C., **Desempenho de um trator agrícola em operação de gradagem utilizando biodiesel etílico filtrado de óleo residual como combustível**. Jaboticabal, 2003. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

HILBERT, J. A., TESOURO, M.O., AUCANÁ, M.O., PINCU, M. S. **Rendimento comparativo de biodiesel y gasoil en tractores agrícolas**. Disponível em: <http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/energia/Biodiesel.pdf>. Acesso em 15 de março de 2005.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos deputados; Coordenação de publicações, 2004. 200 p.

JENANE, C., BASHFORD, L. L., MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**. USA, v. 64, p. 131-138. 1996.

JORI, I. J.; SZENTE, M.; RADVANYI, G. Comparative test with different biodiesel fuels in tractor engine. **Hungariam Agricultural Engineering**. Hungria, n. 6, p. 27-28, 1993.

KUBOTA, M. Paraná quer usar biodiesel. **Revista CREA-PR**. Curitiba, ano 6, n. 23, p. 12-14, jul./ago. 2003.

LAFORGIA, L.; ARDITO, V. Biodiesel fueled IDI engines: performances, emissions and heat release investigation. **Bioresource Technology**, Bari, n. 51, p. 53-59, 1995.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, E. G.; MILANEZ, L. F. Avaliação do rendimento global de um trator em um tipo de solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 22, 1993. Ilhéus – BA. **Anais...** Ilhéus – BA v.3, p. 1741-1756.

LIMA, L. R.; MARCONDES, A. A. **Álcool carburante**: uma estratégia brasileira. Curitiba: Ed. UFPR, 2002. 246 p.

LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; MELLO, J. G. S. Protótipo de sistema instrumental para medição de consumo de combustível em tratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS SOCIEDADES BRASILEIRAS DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E À AGROINDÚSTRIA, 4, 2003. Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro – BA: Sociedades Brasileiras de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 2003a. 1 CD-ROM.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K., CASTRO NETO, P. GROTTA, D.C.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 375-79, 2003b.

LOPES, A.; GROTTA, D.C.C.; FURLANI, C.E.A.; CAMARA, F.T.; HURTADO, G.R. Biodiesel etílico de óleo residual: consumo de combustível de um trator agrícola em função do percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3, 2004, Belém. **Anais...** Belém: Associação Brasileira de Engenharia Mecânica, 2004. 1 CD - ROM.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-46, jul. 1999.

MATTOS, P. C. et al. Estudo comparativo de desempenho de trator agrícola empregando óleo diesel e mistura etanol/óleo de mamona, como combustíveis. **Revista Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 5, n. 2, p. 33-41, 1981.

MEIRELLES, F. S. **Biodiesel**. Brasília. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/estartigos/biodiesel.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2003.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO - MIC; Secretaria de Tecnologia Industrial; Coordenadoria de Informações Tecnológicas **Óleos vegetais ¾ experiência de uso automotivo desenvolvida pelo programa OVEG I**. Brasília – DF: MIC/STI, 1985.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. H. the effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. **Biomass and bioenergy**, New York, v. 20, n. 4, p. 317-325, abr. 2001.

NASCIMENTO, G. F. **Avaliação do desempenho de um motor diesel funcionando com combustíveis alternativos**. Natal, 1999. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

NOGUEIRA, R., VIDAL, J. W. B., **Nação do sol**: preliminares. Para brasileiros de dois a cento e dois anos. Brasília, ed. Stilo, 1999. 32 p,

PACHECO, F. Biodiesel: Será o combustível do futuro? **Conjuntura e planejamento**. Salvador: SEI, n. 122, p. 26-31, Jul. 2004.

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

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**, Moscou, v. 10, n. 5/6, p. 331, 1996.

RABELO, G. F., SALVADOR, N. **Equipamento para determinação de deslizamento de rodas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 22, Ilhéus – BA, 1993. **Anais...** Ilhéus – BA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 3, p. 1733-1740.

RABELO, I. D. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura**. Curitiba, 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

RAMOS, L. P. Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo as diesel convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1999. v. 1, p. 233.

REIS, G. N., **Biodiesel filtrado x biodiesel destilado x diesel: Desempenho de um trator em operação de semeadura direta**. Jaboticabal - SP, 2004. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - SP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

SALAZAR, E. **Óleos vegetais: combustíveis alternativos**. Cidade Virtual: Bionline. Pelotas, dez. 2002. Disponível em <<http://www.terra-cidadevirtual.html>>. Acesso em: 19 dez. 2002.

SILVA, S. L., BENEZ, S. H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, p. 10-18, 1997.

SILVA, S. L., BENEZ, S. H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 28, 1999. Pelotas – RS. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. 1CD - ROM.

SCHUMACHER, L. G.; BORGELT, S. C.; HIRES, W. G.; HUMPHREY, J. K. Biodiesel on the reach airport from missouri. In: ASAE INTERNATIONAL MEETING, 1993. **Anais...** ASAE Paper, 93-5017.

SUAREZ, P. A. Z. Pesquisadores tentam viabilizar produção de biocombustível. **Gazeta Mercantil do Distrito Federal**, Brasília, p. 5, 28 maio 2002.

SUMMERS, H. R.; HELLWING, R. E.; MONROE, G. E. Measuring implement power requeriments from tractor fuel consumption. **Transaction of the ASAE**, St Joseph, v. 29, n. 1, p. 85-89. 1986.

TWIDELL, J. W.; WEIR, A. D. **Renewable energy sources**. London: E&F Spon, 1986.

VIEIRA, J. N. S. O biodiesel e o desafio da inclusão social. In: **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos deputados; Coordenação de publicações, 2004. p. 143-152.

WANG, W. G. et al. Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and biodiesel blend without engine modification. **Environmental Science and Technology**, Morgantown. v. 34, n. 6, p. 933-939, 2000.

YOKOMIZO, E. O combustível do girassol. **Revista CREA-PR**, Curitiba, ano 6, n. 21, p.18-23, fev./mar., 2003.

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: Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1999; p. 342.

ZAGONEL, G. F. **Obtenção e caracterização de biocombustíveis a partir de transesterificação etílica do óleo de soja**. Curitiba, 2000. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná.

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

ZEGNA, G. **Fontes de energia**. São Paulo: Ática, 1991. 64 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS TRATORES

ITEM	TRATOR TESTADO	TRATOR DE LASTRO
Marca	VALTRA	VALTRA
Modelo	BM 100	BH140
Motor		
Tipo	Turbo	Turbo
Potência máxima no motor	73,6 kW (100 cv)	103 k W (140 cv)
Número de cilindros	4	6
Arrefecimento	Líquido	Líquido
Eixo da tomada de potência		
Potência	64,55 kW (87,7 cv)	88 kW (120 cv)
rpm	540	540
Número de marchas	16 F + 4 R	16 F + 4 R
Capacidade (Litros)		
Tanque de combustível	160	210
Tração	4x2 TDA	4x2 TDA
Rodagem dianteira – Pneus	14.9-24 R1	18.4-26 R1
Rodagem traseira – Pneus	23.1-26 R1	24.5-32 R1
Massa total em ordem de marcha com lastro (kg)	5.400	9.500