

WAGNER DA CUNHA SIQUEIRA

**UTILIZAÇÃO DE MISTURAS DE ÓLEO DIESEL E ÓLEO DE SOJA
REUTILIZADO EM UM TRATOR AGRÍCOLA DE PNEUS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

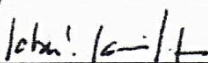
WAGNER DA CUNHA SIQUEIRA

**UTILIZAÇÃO DE MISTURAS DE ÓLEO DIESEL E ÓLEO DE SOJA
REUTILIZADO EM UM TRATOR AGRÍCOLA DE PNEUS**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

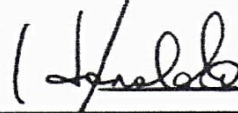
Aprovada: 19 de Julho de 2010


Prof. Denílson Eduardo Rodrigues


Prof. Roberto Precz Lopes


Prof. Luciano Baião Vieira
(co-orientador)


Prof. Luciano José Minette


Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(orientador)

**A Deus, fonte de vida,
Aos meus pais Luiz Carlos Siqueira e Leila da Cunha Siqueira,
À minha irmã Cínara e meu cunhado Abner José,
A Selma Alves Abrahão pela ajuda no desenvolvimento do trabalho realizado,
Aos amigos pelas as alegrias e companheirismo.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Luiz Carlos Siqueira e Leila da Cunha Siqueira, minha irmã Cínara e meu cunhado Abner, responsáveis pelo meu sucesso e orientação.

Ao meu orientador, Haroldo Carlos Fernandes, pela forma segura de apresentar as discussões e propostas pelo trabalho concretizado, além de sua amizade, compreensão e apoio.

Aos conselheiros, pelas sugestões e apoio, e aos demais professores da UFV que acreditaram no trabalho.

Aos técnicos administrativos do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial aos do Laboratório de Mecanização Agrícola (Marcelo, Danilo, Wantuil e Geraldo), que sempre estiveram apoiando a execução do trabalho.

Aos amigos do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em especial aos colegas de curso, Paula Rinaldi, Edney Leandro, Wevergton Hermsdorff, Wagner Santos, Flavio Longui, Cleiton Alvarenga, Marcos (Barba), Andre Quirino, Amanda Meirelles, Rafael, Eduardo Bottega, Marcelo Marques, Samuel, Denis, Frederico Martins, Ronaldo, Geice, Lorena, Walter e Daniela Alencar.

Aos amigos de república Rafael e Thaís Rigolon, Mário Cupertino, Evan Visser, Frederico Martins, Ygor Assis e Ygor.

Aos estagiários Alisson Frantz e Raul Resende que tanto contribuíram para o sucesso do trabalho.

À Selma Alves pela ajuda, atenção e carinho.

A todos os que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para a realização deste trabalho,

BIOGRAFIA

Wagner da Cunha Siqueira, filho de Luiz Carlos Siqueira e Leila da Cunha Siqueira, nascido em 3 de março de 1982, em Campo Grande-MS, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (Ufla), em maio de 2007.

Em agosto de 2008, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da dissertação em Julho de 2010.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Combustível.....	4
2.2. Utilização de combustíveis alternativos ao óleo diesel	8
2.3. Viscosidade.....	10
2.4. Massa específica	12
2.5. Poder calorífico	13
2.6. Avaliação do desempenho de tratores	14
2.6.1. Motor diesel	14
2.7. Normas de ensaio de motores	15
2.7.1. Tomada de Potência (TDP).....	16
2.7.1.1. Avaliações na TDP	16
2.7.2. Barra de tração.....	16
2.7.2.1. Avaliação na Barra de Tração	17
3. Material e métodos.....	18
3.1. Combustíveis Utilizados	18
3.2. Determinação da massa específica do combustível	19

3.3.	Temperaturas do óleo diesel no sistema de alimentação	20
3.4.	Determinações do índice de viscosidade do combustível	20
3.5.	Determinação do poder calorífico do combustível.	21
3.6.	Avaliações do trator.	22
3.6.1.	Avaliação na Tomada de Potência (TDP)	22
3.6.1.1.	Potência	24
3.6.1.2.	Torque do motor.....	25
3.6.1.3.	Consumo Horário de combustível	25
3.6.1.4.	Consumo Específico de combustível	26
3.6.1.5.	Aplicação do fator de correção.....	26
3.6.2.	Ensaio na Barra de Tração (BT)	27
3.7.	Análise estatística.....	30
3.7.1.	Delineamento experimental	30
3.7.2.	Análise estatística dos dados obtidos no experimento	31
4.	Resultados e discussão.....	32
4.1.	Massa específica do combustível.....	32
4.2.	Temperaturas do óleo diesel no sistema de alimentação	33
4.3.	Índice de viscosidade do combustível.....	34
4.4.	Poder calorífico do combustível.....	36
4.5.	Avaliações realizadas com o trator agrícola	37
4.5.1.	Avaliação na Tomada de Potência (TDP)	37
4.5.1.1.	Potência do motor	37
4.5.1.2.	Consumo específico de combustível	39
4.5.1.3.	Torque do motor.....	40
4.5.2.	Avaliação na Barra de Tração (BT)	42
5.	CONCLUSÃO	50
6.	Referências.....	51

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Determinação do volume e massa do óleo.	20
Figura 2. Viscosímetro de orifício do tipo Saybolt.	21
Figura 3. Acoplamento da TDP do trator ao dinamometro por meio de um eixo cardã	22
Figura 4. Planilha eletrônica para ensaio na TDP (FERNANDES, 2003).	24
Figura 5. Esquema representativo do ensaio na BT.	27
Figura 6a. Fluxômetro Figura 6b. Barra de tração.....	28
Figura 7a. Célula de carga Figura 7b. Display.....	28
Figura 8. Planilha de dados do ensaio na barra de tração (FERNANDES e SANTOS, 2006).	29
Figura 9. Comportamento da massa específica das misturas em função da temperatura.	33
Figura 10. Temperaturas do óleo diesel no sistema de alimentação de combustível em função das cargas aplicadas.	34
Figura 11. Índice de viscosidade cinemática das diferentes misturas em função da temperatura.	35
Figura 12. Curvas de potência para diferentes misturas em função da rotação do motor.....	37
Figura 13. Curva do consumo específico para as diferentes misturas em função da rotação do motor.	39

Figura 14. Curvas de torque para as diferentes misturas em função da rotação do motor.....	40
Figura 15. Velocidade (m s^{-1}), consumo horário (L h^{-1}), em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou sem carga.	42
Figura 16. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou em ponto morto (neutro).	43
Figura 17. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a quarta marcha.	44
Figura 18. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a terceira.	45
Figura 19. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a segunda marcha.	47
Figura 20. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a primeira.	48

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Modelos geradas para a estimativa da massa específica (g mL^{-1}) das misturas	32
Tabela 2. Modelo para a estimativa da viscosidade (cSt) das misturas	36
Tabela 3. Análise do Poder Calorífico das misturas.....	36
Tabela 4. Médias de potência (kW) em cada uma das misturas	38
Tabela 5. Médias do consumo específico para diferentes misturas	39
Tabela 6. Médias do torque para diferentes misturas	41
Tabela 7. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas para o trator sem carga	42
Tabela 8. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou em ponto morto (neutro).....	43
Tabela 9. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a quarta marcha	45
Tabela 10. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a terceira marcha	46
Tabela 11. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a segunda marcha	47
Tabela 12. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a primeira marcha	48

RESUMO

SIQUEIRA, Wagner da Cunha, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010. **Utilização de misturas de óleo diesel e óleo de soja reutilizado em um trator agrícola de pneus.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Nerilson Terra Santos, Mauri Martins Teixeira e Luciano Baião Vieira.

A procura de fontes de energia capazes de substituir o petróleo vem sendo estudada em vários países, tanto que tem sido destaque nos estudos para o desenvolvimento de novas formas de obtenção, assim como no desenvolvimento de tecnologias para a utilização de forma mais eficiente das energias alternativas. No Brasil, a energia alternativa mais atraente tem sido a biomassa, destacando-se os resíduos da agroindústria, o álcool da cana-de-açúcar e mais recentemente os óleos vegetais residuais e *in natura*. Os derivados de petróleo, gasolina e óleo diesel são os principais combustíveis fósseis para a alimentação de motores de combustão interna. A dependência dos derivados do petróleo conduz à necessidade de alternativas mediante o cultivo de matérias-primas renováveis. Os problemas atuais são os custos dos combustíveis os que deverá haver maior investigação para as técnicas de produção e refino dos biocombustíveis e, ainda, adequação de motores ao uso de óleos vegetais para que estes possam ser uma alternativa viável. Os impactos ambientais causados pela emissão de CO₂ em decorrência da utilização dos combustíveis fósseis, vem aumentando a demanda por fontes de energia mais limpa como o etanol e o biodiesel. A fim de atender à produção de óleos vegetais, para a obtenção de bioenergia, muitas

culturas podem ser utilizadas, como amendoim, soja, milho, dendê, girassol e canola, além das culturas de caráter regional como mamona, andiroba, pequi, buriti, inajá, carnaúba, pinhão-manso, entre outros . Uma alternativa, ao óleo extraído de grãos, é a utilização de óleos residuais de uso doméstico, restaurantes e indústrias. O óleo depois de usado torna-se um resíduo indesejado e sua reciclagem como biocombustível retiraria do meio ambiente um poluente e permitiria a obtenção de um combustível alternativo ao óleo diesel. O emprego direto de óleos vegetais em motores de combustão interna, apesar de experimentado desde o advento do motor diesel, ainda é sujeito a muitas discussões e controvérsias. Este trabalho, portanto, visa contribuir com novas informações sobre a utilização de óleos vegetais em particular, óleo residuais, como combustível de um trator agrícola de pneus utilizando misturas de óleo diesel com óleo de soja reutilizável. Primeiramente, foi realizado um estudo de densidade das misturas e o comportamento da temperatura do óleo diesel no sistema de alimentação de combustível no motor, e análises de viscosidades das misturas em estudo. Após as análises, verificou-se por meio de ensaios dinamométricos, o desempenho do motor alimentado com misturas de OD com OSR em diferentes proporções. Por último, verificou-se por meio de ensaios na barra de tração o desempenho das proporções de misturas de OD e OSR. As principais conclusões deste trabalho foram: a densidade e viscosidade das misturas sofrem variações com o aumento da quantidade de óleo de soja reutilizável (OSR) e com a variação da temperatura. Para as avaliações na tomada de potência, a mistura de 25% OD com 75% OSR apresentou a maior potência entre as demais misturas, para consumo específico e os torques demonstraram tendência a maiores valores com o acréscimo da porcentagem de OSR às misturas. Para as avaliações na barra de tração, os melhores resultados observados no rendimento do trator foram verificados com o aumento das porcentagens de mistura (25% OSR para carga neutra, 25%, 75% e 100% OSR para a quarta marcha como carga e 75% e 100% OSR para a terceira, segunda e primeira marcha como carga).

ABSTRACT

SIQUEIRA, Wagner da Cunha, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2010. **Use of oil mixtures diesel and oil of soy reused in an agricultural tractor of tires.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisors: Nerilson Terra Santos, Mauri Martins Teixeira and Luciano Vieira Baião.

The use of alternative energies to the oil has been of great world-wide importance, as much that has been prominence in the studies for the development of new forms of energy generation, as well as in the development of technologies for the use of more efficient form of the alternative energies. In Brazil, the form of more attractive alternative energy has been the biomass, being distinguished the residues of the agribusiness, the alcohol of the sugar cane-of-sugar and more recently the residual vegetal oils and in natura. The oil is the main available power plant for the feeding of engines of internal combustion, making possible its transformation in energy mechanics. The dependence of the oil leads to the necessity of alternatives by means of the raw material culture renewed. Problems current are costs of fuels biological, big that of derivatives of oil and that many adequate engines of combustion to the vegetal oil use do not exist what must have greater inquiry for the production techniques and refining of the biofuel and, still, adequacy of engines to the vegetal oil use so that these can be a viable alternative. The idea to use to advantage vegetal oils to set in motion vehicles is not recent, therefore Rudolf Diesel, in 1897, already it had considered the use of the oil of peanut as combustible in engines. In order to take care of to the vegetable oil production, many cultures can be used, as peanut, soy, maize,

dendê, sunflower and canola, beyond the cultures of regional character as mamona, andiroba, pequi, buriti, inajá, carnaúba, nut-bellwether, among others. An alternative, beyond the extracted oil of grains, is the residual oil use of domestic use, restaurants and industries. The oil after used becomes unwanted residue and its recycling as biofuel alternative it would remove of the environment a pollutant and would allow the generation of an alternative source of energy. The direct vegetal oil job in engines of internal combustion, although tried since the advent of the engine diesel, still he is subject to many quarrels and controversies. The first allusions regarding its efficiency as combustible come of the beginning of the century since the Universal Exposition of Paris. Therefore, this work had general objective to evaluate the performance of an agricultural tractor of tires being used oil mixtures diesel with oil of reusable soy. First, a study of density of the mixtures and the behavior of the temperature of the oil was carried through diesel in the system of fuel feeding in the engine, and analyses of viscosities of the mixtures in study. After the analyses, were verified by means of dynamometric assays, the performance of the engine fed with mixtures of OD with OSR in different ratios. Finally, the performance of the ratios of mixtures of OD and OSR was verified by means of assays in the tractive bar. The main conclusions of this work had been: the density and viscosity of the mixtures suffer variations with the increase from the amount of oil of reusable soy (OSR) and with the variation of the temperature. For the evaluations in the power taking, the mixture of 25% OD with 75% OSR presented the biggest power enters excessively the mixture, for consumption I specify and the torques had demonstrated to trend the biggest values with the addition of the percentage of OSR to the mixtures. For the evaluations in the tractive bar, the best ones resulted observed in the income of the tractor had been verified with the increase of the mixture percentages (25% OSR for load N, 25%, 75% and 100% OSR for the fourth march as load and 75% and 100% OSR for third, second and first march as load).

1. INTRODUÇÃO

A utilização de energias alternativas ao petróleo e seus derivados, tem sido de grande importância mundial, tanto que se tem destacado nos estudos para o desenvolvimento de novas formas de obtenção de energia, assim como no desenvolvimento de tecnologias para a utilização de forma mais eficiente destas energias.

Para o Brasil, a forma de energia alternativa mais atraente vem sendo a biomassa, destacando-se os resíduos da agroindústria, o álcool proveniente da cana-de-açúcar e mais recentemente os óleos vegetais residuais e *in natura*.

Os resíduos da agroindústria são utilizados geralmente na queima direta, podendo ser utilizados para o aproveitamento do calor ou para a produção de energia elétrica por meio de grupos geradores acionados por turbinas a vapor, como ocorre na agroindústria da cana-de-açúcar, cujo bagaço se tornou importante fonte de energia nas usinas de álcool, gerando até um excedente comercializado com as concessionárias de energia elétrica.

O álcool teve no Brasil o seu auge em meados da década de 80, quando 90% dos carros produzidos foram equipados com motores a álcool. Porém, a falta de organização da cadeia produtiva levou à falta do produto e consequente desestímulo à sua utilização. O desestímulo tem sido derrubado com o baixo preço do petróleo, a produção da cana de açúcar e a tecnologia dos motores bicomcombustíveis, em que o

motor, por meios eletrônicos, detecta e utiliza qualquer proporção da mistura álcool/gasolina.

A tecnologia de utilização de motores bicom bustíveis é totalmente dominada pelo Brasil e exportada para outros países, que serão no futuro, importadores de álcool do Brasil.

Uma alternativa para a possível substituição ao óleo diesel seria a utilização comercial do óleo vegetal em motores diesel. Rudolf Diesel, inventor do motor diesel, já sugeria a utilização do óleo de amendoim "*in natura*" para seu acionamento.

A utilização de óleos vegetais em substituição ao óleo diesel tem apresentado resultados satisfatórios, sendo as formas mais usuais o Biodiesel na forma de óleo vegetal *in natura* (bruta, refinada e degomado) e mais recentemente na forma de Hbio.

Os óleos são extraídos de diferentes tipos de sementes e alguns podem ser utilizados como fonte de alimento; são produtos de grande interesse econômico e objeto de intensa atividade comercial. São misturas de substâncias gordurosas (ácidos graxos) de origem vegetal ou animal e têm aplicações restritas (animal) e amplas (vegetal) na alimentação humana.

Uma alternativa, ao óleo extraído de grãos para o acionamento de motores diesel, é a utilização de óleos residuais de uso doméstico, restaurantes e indústrias. O óleo depois de usado torna-se um resíduo indesejado e sua reciclagem como biocombustível alternativo retiraria do meio ambiente um poluente e permitiria a geração de uma fonte alternativa de energia.

A utilização de óleos vegetais *in natura* pode ser viável, tomando-se alguns cuidados e fazendo algumas adaptações no motor com o intuito de melhorar a injeção do combustível ou em mistura com óleo diesel em proporções que deverão ser estudadas.

Assim, o objetivou-se com esse trabalho avaliar o desempenho de um trator agrícola de pneus utilizando misturas de óleo diesel (OD) com óleo de soja reutilizável (OSR).

E como objetivo geral:

- Determinar a densidade, viscosidade e poder calorífico das diferentes misturas a serem utilizadas.
- Avaliar o desempenho do motor, trabalhando com as diferentes misturas de combustível através de um ensaio na tomada de potência (TDP) determinando as curvas de potência, torque, consumo horário e consumo específico de combustível, em função da rotação do motor.
- Avaliar o desempenho do trator em uma pista de blocos de concreto, trabalhando com as diferentes misturas de combustível, através de ensaio na barra de tração (BT), determinando as curvas de potência, velocidade, consumo horário e patinagem das rodas motrizes em função da força na barra de tração.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Combustível

O petróleo é uma das principais fontes de energia disponível para a alimentação de motores de combustão interna, possibilitando sua transformação em energia química, térmica e mecânica.

O desenvolvimento de fontes energéticas 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, 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 uma escala suficientemente capaz de atender à demanda prevista para os próximos anos (LIMA, 2002).

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

Para Villamuellas (1994) a dependência do petróleo conduz à necessidade de alternativas mediante o cultivo de matérias-primas renováveis. O autor ressalta que os problemas atuais são os custos dos combustíveis, e que não existem muitos motores de combustão adequados ao uso de óleos vegetais. Sugere que deverá haver maior investigação para as técnicas de produção e refino dos biocombustíveis e, ainda, adequação de motores ao uso de óleos vegetais para que estes possam ser uma alternativa viável.

Villamuellas (1994) faz uma importante observação sobre a relação energética global (energia consumida *versus* energia produzida) que, claramente perceptível, deve ser positiva e significativa para os biocarburantes, ou seja, devem ser produzidos elevados rendimentos em biomassa colhida com um mínimo de aporte energético.

A produção de óleos vegetais é de fácil técnica e de amplo conhecimento, podendo ser oriunda de uma prensagem mecânica seguida de um processo de filtração para retirada de resíduos e impurezas.

Os óleos são extraídos de diferentes tipos de sementes e são utilizados como fonte de alimento; são produtos de grande interesse econômico e objeto de intensa atividade comercial. São misturas de substâncias gordurosas (ácidos graxos) de origem vegetal ou animal e têm aplicações restritas (animal) e amplas (vegetal) na alimentação humana (WUST, 2004).

Cavalli (1993) afirma que para uma substituição válida do óleo diesel em um motor, em termos gerais, um biocombustível deve:

- requerer poucas modificações no motor;
- requerer limitados investimentos no processo de substituição;
- não apresentar redução de potência ou restrição de aplicação;
- estar prontamente disponível;
- garantir um balanço energético global positivo;
- apresentar um preço competitivo com o óleo diesel convencional.

Para Villamuellas (1994) a opção pelos óleos vegetais era apenas uma busca de alternativas para substituição do óleo diesel, porém começaram a ser observados sob outro enfoque, haja vista não causarem cargas adicionais de CO₂ na atmosfera, pois não há a combustão de materiais fósseis e a emissão de gases que contribuam para o

aumento do efeito estufa. Com os biocombustíveis há, na realidade, um ciclo onde o CO₂ produzido é depois de fixado pelos vegetais que servirão de matéria prima para combustível.

A idéia de aproveitar os óleos vegetais para acionar veículos não é recente, pois Rudolf Diesel em 1897 propôs a utilização do óleo de amendoim como combustível em motores.

O emprego direto de óleos vegetais em motores de combustão interna, apesar de experimentado desde o advento do motor diesel, ainda é sujeito a muitas discussões e controvérsias. As primeiras alusões a respeito de sua eficiência como combustível vêm do início do século desde a Exposição Universal de Paris (MACHADO, 2003).

Foram resgatadas, em estudos realizados pela STI (1985) as experiências realizadas em diversos países, sobretudo no período que vai de 1920 a 1940. Na década de 20, no então Congo Belga (atual Congo) empregou-se óleo de dendê em motores de ignição por compressão, verificando-se funcionamento normal apenas com consumo específico cerca de 30% superior ao diesel de petróleo. No Brasil, vários estudos de um grupo temático foram coordenados pela STI para escolha das oleaginosas a serem utilizadas na produção de combustíveis para motores de ignição por compressão. Destacaram estes que, a cultura da soja, dentre as várias espécies potenciais constituía-se como expressão única capaz de gerar excedentes consideráveis no Brasil. Várias oleaginosas, de culturas perenes, também foram avaliadas devendo ser destacado o potencial da mamona, do babaçu, do dendê e do pequi.

Luna (1990) lembra que já em 1928, Gautier ensaiava motores alimentados com óleos vegetais e que diversos trabalhos continuam, ainda, na atualidade em maior ou menor grau.

Experiências particularmente interessantes foram realizadas no Norte da África, quando motores de 50 a 1.000 kW de potência foram operados satisfatoriamente com óleo de dendê por longos períodos. Na Índia, em 1940, foi experimentada uma dezena de óleos vegetais em motores diesel, que produziram maior formação de resíduos,

principalmente nos bicos injetores. Com exceção do óleo de algodão, os demais óleos apresentaram maior consumo específico em relação ao óleo diesel.

Em 1949, na França, estudos concluíram que o óleo de *Jatropha curcas* L., o pinhão-mansão, se prestava bem como combustível para motores diesel e que as potências desenvolvidas eram semelhantes, usando-se o óleo diesel ou o óleo de pinhão-mansão.

Rabelo (2001) aponta uma alternativa interessante quando demonstra ser possível a obtenção de biodiesel de óleos vegetais utilizados em frituras de alimentos. A reciclagem de resíduos, de um modo geral vem se mostrando cada vez mais necessária e vantajosa. Relatam que, baseando-se na *ZERI (Zero Emissions Research Initiative)*, que apoia projetos que visem o aproveitamento de resíduos para utilização como matéria-prima em outros processos, desenvolveu-se na região metropolitana de Curitiba, Paraná, uma experiência piloto de reutilização de óleos de fritura para produção de biodiesel.

O processo de fritura constitui uma das formas mais rápidas de preparo para determinados alimentos, e por este motivo vem sendo amplamente utilizado. Como consequência, tem-se um aumento na quantidade de óleos e gorduras residuais, oriundos deste processo ou da limpeza de utensílios empregados. Tanto os óleos e gorduras residuais das frituras, como o material obtido da limpeza das caixas de gordura são, na sua maioria, dispostos em aterros sanitários, aumentando o volume de resíduos nestes locais (WUST, 2004).

A reciclagem de resíduos de frituras vem ganhando espaço investigativo no Brasil, com proposição de metodologias de reciclo apropriadas, destacando-se, entre outros, a produção de ésteres de ácidos graxos, um biocombustível denominado biodiesel (WUST, 2004).

Para Moraes (1980) o óleo vegetal misturado ao óleo diesel na forma *in natura* na substituição do óleo diesel são alternativas viáveis, considerando especialmente os aspectos sociais, ambientais e econômicos. Em contrapartida o óleo vegetal pode ser utilizado *in natura*, sendo extraído do grão ou amêndoa através de processos físicos.

De acordo com Fender (2009) a utilização do óleo vegetal na forma *in natura* poderá ter vantagens em relação ao biodiesel apresentando possibilidade de total

independência dos derivados de petróleo; não requer investimentos em longo prazo, em especial, com equipamentos e apresenta imediato retorno do capital empregado e incentivo à produção de sementes oleaginosas.

Segundo Inoue (2008) a produção do combustível de origem vegetal apresenta vantagens de não necessitar de reagentes, permitindo o aproveitamento das espécies oleaginosas encontradas na propriedade, além de aproveitar os resíduos para a alimentação de animais ou na forma de adubo orgânico.

2.2. Utilização de combustíveis alternativos ao óleo diesel

Estudos estão sendo realizados utilizando o conjunto trator/equipamento para avaliar 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.

Avaliando o desempenho de tratores agrícolas, Jori (1993) utilizou biodiesel como alternativo ao diesel combustível derivado do petróleo. 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 em estudo comparativo do desempenho de um trator agrícola. Os testes foram realizados em pista de concreto e em condições de campo, tracionando implementos. 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.

Prateepchaikul e Apichato (2003) avaliaram o desempenho e durabilidade de motores Kubota, monocilíndrico, com injeção indireta, alimentado com óleo diesel e óleo de dendê refinado por um período de 2.000 horas em condições idênticas.

Durante o experimento, os motores foram desmontados para análise de desgaste logo após 50 horas de operação e posteriormente a cada 500 horas, para análise dos componentes. Com isso, verificou-se que o consumo de óleo de dendê foi de 15 a 20% maior. Ocorreu apenas diferença significativa no desgaste dos anéis de segmento, sendo que o maior desgaste foi encontrado no motor abastecido pelo óleo de dendê.

Ao avaliar o desempenho de um conjunto motor-gerador composto por um motor Agrale modelo M90, de ciclo diesel, com potência nominal de 9,6 CV a 2500 RPM, injeção direta e arrefecido a ar, que aciona um gerador elétrico alimentado com misturas de óleo vegetal e diesel, Inoue (2008) verificou que não houve diferenças de desempenho nos ensaios dinâmométricos entre as condições antes e depois da operação com o gerador e não houve formação de resíduos na câmara de combustão que necessitasse de descarbonização antes de 300 horas de operação do motor.

Mazieiro e Corrêa (2004) ao avaliarem um motor MWM D229 -3 injeção direta, que acionava um trator Valmet, modelo 68, alimentado com óleo diesel durante as 50 primeiras horas e depois exclusivamente com óleo bruto de girassol, verificaram redução de 7,1 a 10,1% da potência na tomada de potência e aumento de 13,9 a 16% no consumo específico. O teste de 200 horas foi interrompido com menos de 60 horas; devido à elevação da temperatura do lubrificante. Os autores relataram ainda que, a alta viscosidade do óleo bruto de girassol dificultava a pulverização dos bicos injetores, propiciando queima incompleta do combustível e consequentemente, formação de depósitos nos bicos e cabeçotes, que levavam à redução do desempenho e da durabilidade do motor.

Em trabalho conduzido com um motor diesel estacionário trabalhando com diferentes misturas de óleo diesel (OD) e óleo de soja reutilizado (OSR) (MARONHAS, 2008) verificou que a potência e o torque do motor, foram maiores para a mistura de 75% OD e 25% OSR, acompanhado de um menor consumo específico. Para potência e torque este aumento foi 24% maior, em ambos, quando comparado com a mistura de menor potência e torque (25% OD e 75% OSR).

Santos (2007) avaliou um motor Yanmar, modelo NSB 75, que foi alimentado com óleo diesel e uma mistura de 50% de óleo diesel e 50% de óleo refinado de soja e

constatou aumento nos valores de potência, torque e consumo específico nos valores de 19, 16 e 15% respectivamente, quando o motor foi alimentado com a mistura.

O óleo vegetal misturado ao óleo diesel, ou na forma *in natura*, na substituição do óleo diesel são alternativas viáveis. No entanto, verifica-se que muitos estudos devem ainda ser realizados no intuito de propor melhorias na injeção do combustível, a partir de diferentes proporções da mistura do óleo diesel com óleo de soja reutilizado.

2.3. Viscosidade

Conforme Fox et al. (2006) a viscosidade é a propriedade do fluido que indica a resistência a deformação mediante a ação de forças de cisalhamento. A viscosidade afeta a atomização do combustível no momento da incidência do combustível dentro da câmara de combustão e a formação de depósitos carbonosos no motor. Quanto maior a viscosidade, maior será a tendência do combustível em causar tais problemas.

O uso do óleo vegetal como combustível é conhecido há muitas décadas e principalmente nos dias atuais tem merecida atenção de pesquisadores e empresas do ramo. No Brasil os testes em motores do ciclo diesel ganharam força na década de 80, entretanto os resultados foram insatisfatórios, exceto em alguns motores relativamente volumosos com injeção indireta (MORET, 2005).

Em 1995, os testes do uso de óleos vegetais em motores diesel tiveram resultados satisfatórios com modificações no motor por meio de mudanças nos bicos de injeção e em procedimentos de operação, tais como: aquecimento do óleo vegetal e início e término da operação usando óleo diesel (CEPEL, 2000).

Leontsinis (1988) destaca que a viscosidade dos combustíveis destinados ao uso em motores diesel é um requisito muito importante, principalmente pelo seu efeito direto sobre o desempenho do sistema de alimentação. Se a viscosidade for excessivamente baixa, pode tornar necessária a manutenção do sistema injetor mais frequente e, pelo contrário, se excessivamente alta, pode provocar pressões excessivas no sistema.

A viscosidade afeta o grau de atomização do combustível e influencia a forma do jato produzido. Viscosidade elevada produz atomização deficiente, que resulta num jato de alta penetração de gotículas grandes que prejudicam a nebulização. Se o combustível não se mistura adequadamente com o ar no cilindro, a combustão que se segue não é boa e ocasiona quedas de potência e aumento de consumo. Especialmente em motores pequenos, a grande penetração do jato de combustível faz com que haja a colisão das gotículas atomizadas com as paredes dos cilindros, lavando a película de óleo lubrificante e provocando a sua diluição no cárter, o que pode acarretar um desgaste excessivo dos componentes do motor (SALA, 2008).

Se a viscosidade é excessivamente baixa, produz-se uma pulverização com pouca penetração de jato que prejudica a combustão, reduz a potência do motor e aumenta o consumo de combustível. Uma viscosidade baixa também acarreta vazamentos internos na bomba injetora, aumentando o desgaste de certos componentes do próprio sistema injetor, pois as propriedades lubrificantes do combustível tendem a diminuir com a redução de sua viscosidade.

Bosch (2005) observa que o óleo diesel com viscosidade muito baixa pode provocar perdas internas na bomba injetora, por vazamentos, que reduzem a potência produzida pelo motor. Uma viscosidade elevada provoca aumento da pressão de pico de injeção em sistemas sem regulagem de pressão e também muda o padrão de pulverização, devido à formação de gotículas maiores, como no caso do biodiesel.

Varde (1984) afirma que o rendimento de um motor diesel de injeção indireta é determinado pelas propriedades do combustível utilizado e pela maneira na qual o mesmo é introduzido na câmara de combustão. Isto, por sua vez, depende das características do jato de combustível emergindo através do bico injetor, em combinação com as características aerotermodinâmicas da câmara.

Segundo o mesmo autor, durante testes foram observadas maiores pressões, de pico e média, durante o período de injeção. O incremento na pressão de injeção pode levar ao aumento de penetração do jato de combustível na câmara de combustão. Com a adição de óleos vegetais em misturas com o diesel convencional a duração da injeção cresce em volume, em torno de 10% em relação à do diesel, o que

pôde ser atribuído à viscosidade que diminui o percentual de vazamentos (*blow-by* na bomba).

Conforme Varde (1984) o ângulo de cone do jato formado é inversamente proporcional à fração de óleo vegetal na mistura e uma redução do rendimento térmico a cargas maiores de teste, devido à pior atomização dos óleos vegetais que resulta em menores taxas de liberação de calor. Ângulos de cone do jato de combustível menores indicaram menor dispersão do combustível, resultando pior atomização e sugerindo pior rendimento da combustão. Uma atomização pobre aliada a uma baixa penetração do jato de combustível conduz ao incremento na emissão de fuligem.

Fuentes *et al.* (1994) relatam que as experiências de Walton, conduzidas em 1938, onde foram obtidas potências com óleo vegetal pouco diferentes daquelas com diesel convencional, resultado também confirmado nos trabalhos de Chowhury (1942) e de Martinez (1944) sendo que este último afirmou obter potências maiores com consumos específicos também maiores.

Define Domínguez (1995) que óleos vegetais utilizados diretamente em motores de injeção direta não são adequados devido ao aparecimento de resíduos carbonosos e por problemas causados no sistema de injeção devido à elevada viscosidade.

Para Villamuellas (1994) a utilização de óleo de soja cru produz carvão e formação de gomas. A maior viscosidade dos óleos vegetais origina problemas de alimentação a baixas temperaturas e proporciona pouco poder lubrificante. A pulverização não é apropriada e observa-se, ainda, entupimento dos filtros.

2.4. Massa específica

É a relação entre a massa e o volume de um corpo, em geral, quando se aumenta a temperatura de um determinado fragmento de matéria, tem-se um aumento do volume fixo desta, pois haverá a dilatação ocasionada pela separação dos átomos e moléculas

Os motores são projetados para operar com combustíveis em uma determinada faixa de densidade, tendo em vista que a bomba injetora dosa o volume injetado. Variações na densidade levam a uma significativa variação na massa de combustível injetada, impossibilitando a obtenção de uma mistura de ar\combustível adequada o que aumenta a emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado. Valores baixos para a densidade reduzem o desempenho dos motores pela formação de uma mistura pobre, o que leva a uma perda de potência do motor e a um aumento do consumo de combustível (HMCOUTINHO, 2005).

2.5. Poder calorífico

Para Giacosa (1964) o poder calorífico de um combustível pode ser entendido como o seu conteúdo de energia, que é variável em função das quantidades de hidrogênio e de carbono presentes no mesmo. Quanto maior é a quantidade de hidrogênio, mais elevado é o seu poder calorífico. Entre os produtos da combustão se encontra a água que, segundo sua fase, líquida ou vapor, determina o valor calorífico do combustível obtido em laboratório.

Define-se como poder calorífico superior a quantidade de calor produzido por unidade de massa de combustível queimado em excesso de ar, quando os produtos da combustão são resfriados até o ponto em que se condense o vapor de água presente nos mesmos. Da mesma forma, o poder calorífico inferior é definido quando os gases de combustão são resfriados até o ponto de vaporização da água sem que, no entanto, o conteúdo de vapor de água nos mesmos seja condensado. Os valores de poder calorífico são obtidos experimentalmente por meio de ensaios em calorímetros ou bombas calorimétricas.

Para efeitos de utilização prática nos motores de combustão interna, principalmente o poder calorífico inferior deve ser considerado, haja vista que o vapor de água presente nos exaustos não se condensa devido às altas temperaturas nas quais se encontram os gases de exaustão.

Van Gerpen(2006) explica que a energia contida num combustível não pode ser controlada durante sua obtenção. O poder calorífico do óleo diesel é variável e depende da refinaria na qual é produzido, das características do petróleo utilizado como matéria-prima. Um óleo diesel com altos teores de aromáticos tende a apresentar elevados conteúdos de energia por unidade de volume (MJ m^{-3}), ainda que os aromáticos tenham baixo poder calorífico por unidade de massa (MJ kg^{-1}).

Apenas o poder calorífico inferior é significativo para os combustíveis que geram água como um dos produtos da combustão. Os combustíveis oxigenados, como alcoóis, éteres ou ésteres de ácidos graxos apresentam um valor calorífico mais baixo do que os hidrocarbonetos puros, pois o oxigênio ligado aos mesmos não contribui para o processo de combustão. Uma potência comparável àquela que pode ser obtida pelos combustíveis sem oxigênio só pode ser atingida pelas taxas mais elevadas de consumo de combustível.

Knothe (2006) diz que, o calor de combustão é uma propriedade que demonstra a adequação dos vários tipos de compostos graxos para uso como combustível em motores diesel. O calor de combustão contido nos óleos vegetais e nos seus respectivos ésteres alquílicos corresponde a cerca de 90% do valor observado no óleo diesel derivado de petróleo.

2.6. Avaliação do desempenho de tratores

2.6.1. Motor diesel

O primeiro motor diesel foi criado em 1893 pelo alemão Rudolf Diesel, com a função de transformar a energia química contida no combustível em energia mecânica, por meio da alta taxa de compressão aplicada pelo pistão (MIALHE, 1996). Desta forma, o pistão se desloca em movimento descendente onde o mecanismo biela-manivela é responsável pela transformação do movimento retilíneo no pistão em movimento circular na manivela. A energia térmica é transformada em energia mecânica nos motores de rotação. Nesta transformação ocorrem perdas de energia na

forma de calor para o ambiente, entretanto o motor diesel quando comparado ao motor dociclo Otto é mais eficiente.

Neste tipo de motor de combustão interna, somente o ar é comprimido, sendo o combustível injetado no interior do cilindro, quando a compressão do ar está próxima do seu ponto máximo, ocorrendo elevação de temperatura e pressão e, conseqüentemente, a inflamação do óleo diesel na câmara de combustão (MANUAL TÉCNICO, 2000).

Este motor distingue-se das demais maquinas motriz a pistão, não somente pela presença de um complexo material de injeção, mas também por uma relação de compressão elevada a fim de se obter a temperatura relativamente elevada necessária à ignição espontânea de um combustível pouco inflamável por natureza (MAGOT-CUVRU, 1978).

2.7. Normas de ensaio de motores

Segundo Mialhe (1996) a avaliação de desempenho de motores, exige a realização de ensaios em bancada dinamométrica, utilizando-se um método normatizado. Trata-se de documento que define as condições e procedimentos sob os quais o espécime é ensaiado, de maneira que os resultados obtidos não sejam influenciados por quem os executa (local do ensaio, tipo de laboratório de motores, pessoal técnico envolvido, *etc.*). O método de ensaio normatizado é uma “norma técnica” do tipo método de ensaio.

Em cada caso, as medidas devem possibilitar avaliações comparativas consistentes, que formam a base de todo processo de escolha envolvido na tomada de uma decisão. Isso implica dizer que tais medidas devem, necessariamente, ser obtidas de forma padronizada por procedimentos normatizados. Caso contrário, todo processo de obtenção e comunicação das informações ficará comprometido, principalmente em termos de confiabilidade (MIALHE, 1996).

2.7.1. Tomada de Potencia (TDP)

A Tomada de Potência (TDP) está localizada na parte traseira do trator, sendo responsável por transmitir e transformar o movimento do motor para movimentar órgãos ativos de máquinas e implementos.

A tomada de potência possui rotações na faixa de 540 a 1.000 RPM e são normalizadas pela ABNT-PB-83 (FILHO, 2001).

2.7.1.1. Avaliações na TDP

Neste ensaio avalia-se a TDP como um dos elementos pelo qual o trator fornece potência para acionamento de máquinas. É também uma maneira indireta de se avaliar o desempenho do motor, embora a metodologia adotada seja diferente daquela específica para ensaio de motores, como indicado pela NBR 5484(1985).

O ensaio é realizado em quatro modalidades de determinação de potência:

- Sob velocidade angular variável do motor;
- Sob velocidade angular nominal do motor;
- Sob velocidade angular nominal da TDP;
- Sob momento de força parcial.

Para estas determinações, o trator é posicionado à frente do dinamômetro, estando a TDP a ele acoplada através de uma árvore articulada (tipo cardã), conforme ilustra a Figura 5.

2.7.2. Barra de tração

A barra de tração (Figura 6b) é um dos meios de aproveitamento da potência do trator e destina-se a desenvolver força, a qual é comumente direcionada para

tração de máquinas e implementos, que necessitam ser deslocados ao longo da área de trabalho (FERNANDES, 2006)

2.7.2.1. Avaliação na Barra de Tração

Segundo Mialhe (1996), o ensaio na barra de tração é constituído por duas modalidades de determinação.

- Potência máxima na barra de tração;
- Força de tração constante na barra.

Para essas determinações, o trator é acoplado a um carro dinamométrico capaz de, controladamente, impor cargas frenadoras à barra de tração.

Neste ensaio, obedecendo ao previsto no texto normativo NBR 10400/88, se realizam duas series de determinação. Com os dados obtidos são traçados os seguintes gráficos em função de tração na barra (MIALHE, 1996):

- Velocidade de deslocamento;
- Potência na barra;
- Consumo horário de combustível;
- Consumo específico de combustível;
- Patinagem das rodas motrizes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) na Universidade Federal de Viçosa (UFV) no período de janeiro a fevereiro de 2010. Foi avaliado o desempenho de um trator agrícola de pneus, marca Valmet, modelo 65ID com as seguintes características técnicas:

Motor MWM, modelo D225-3TV, 4 tempos, injeção direta, refrigerado a água, camisas úmidas removíveis com 3 cilindros verticais em linha, cilindrada total de 2.829 cm³, relação de compressão 18:1, ordem de ignição 1-3-2, rotação máxima de 2.300 rpm e potência nominal igual a 42,65 kW, com 8.358 horas trabalhadas, tendo como principais dimensões, rodagem traseira de 14,9/13-28", 6 lonas, rodagem dianteira de 7,5-16", 6 lonas, comprimento do trator de 3,02 m, distância entre eixos de 1,94 m, altura da barra de tração de 0,4 m, peso traseiro estático de 166,3 N, peso dianteiro estático de 87,7 N, sendo alimentado por diferentes teores de misturas de óleo diesel (OD) e óleo de soja reutilizado (ORS) proveniente do restaurante universitário da UFV.

3.1. Combustíveis Utilizados

Para que o óleo de soja reutilizado (OSR) pudesse ser utilizado nas misturas com o óleo diesel, ele passou por processos, como decantação, filtração, lavagem e fervura, com a finalidade de retirar impurezas e partículas indesejáveis, como sal, açúcar, água e gordura animal.

Inicialmente, o OSR foi filtrado em filtros de pano e recolhidos em tambores, permanecendo em descanso para decantação por um período de duas semanas. Após este período o óleo foi filtrado em filtros de papel para a retirada de impurezas. O próximo passo consistiu na lavagem do óleo, onde se acrescentou água, para a dissolução do sal e açúcar que potencialmente pudessem estar presentes, o OSR permaneceu por mais uma semana em tambores com acréscimo de 10% de água sobre o volume total. O OSR foi novamente filtrado e fervido para que a água presente evaporasse totalmente. Finalmente o óleo passou por um novo processo de filtragem e ficando pronto para ser misturado ao óleo diesel.

Para a realização das avaliações foram usadas misturas de OD (óleo diesel) com OSR (óleo de soja reutilizado) nas proporções de:

0% OD e 100% OSR;

25% OD e 75 % OSR;

50% OD e 50% OSR;

75% OD e 25% OSR;

100% OD e 0% OSR.

As misturas foram separadas com base em peso e não em volume devido a densidades diferentes entre o OSR e o OD. Após pesadas às misturas foram armazenadas em recipientes de cinco litros cada, devidamente identificados.

3.2. Determinação da massa especificado combustível

Para a determinação do consumo específico de combustível foi necessário o conhecimento da massa específica das diferentes misturas utilizadas.

Foi utilizado uma proveta com capacidade de 100 mL e precisão de 1mL, um termômetro com variação de 0°C a 210°C e uma balança com capacidade para 300 g e precisão de 0,001 g (Figura 1).

A determinação da massa específica iniciou com a pesagem do óleo e medição da temperatura da amostra, (55 mL de volume em temperatura ambiente). Esta amostra foi aquecida posteriormente até 120°C e o início do registro das leituras

ocorreu quando a temperatura da mistura atingiu 90°C. A cada 5°C de decréscimo na temperatura foi coletado o valor de sua massa e volume, até que a mistura retornasse à temperatura ambiente. Repetiu-se este procedimento para todas as amostras.



Figura 1. Determinação do volume e massa do óleo.

3.3. Temperaturas do óleo diesel no sistema de alimentação

Para a utilização do óleo vegetal *in natura* em motor diesel, são necessárias algumas técnicas e adaptações para melhorar o desempenho destes motores, entre elas o aquecimento do óleo para a redução da viscosidade, uma vez que esta tem um valor superior ao óleo diesel. Para a obtenção das temperaturas, foram utilizados quatro termopares instalados no tanque de combustível, na entrada e saída da bomba injetora e na entrada do bico injetor.

3.4. Determinações do índice de viscosidade do combustível.

Analisou-se a viscosidade de diferentes misturas de óleo diesel (OD) e óleo de soja reutilizado (OSR) utilizando-se um viscosímetro de orifício do tipo *Saybolt* (Figura 2).



Figura 2. Viscosímetro de orifício do tipo Saybolt.

Para a determinação da viscosidade foram utilizadas amostras, nas proporções descritas anteriormente. A conversão da unidade da viscosidade de Segundos Universais Saybolt (SUS) para a Viscosidade Cinemática (Centistokes) foi realizada através do Nomograma (BARGER et al, 1966), posteriormente, as viscosidades foram confrontadas com a Portaria ANP 310 (2001).

A faixa de temperatura analisada para se avaliar a viscosidade das misturas, foram de 30, 60 e 90°C de acordo com a variação da temperatura encontrada no sistema de alimentação em avaliações anteriores.

3.5. Determinação do poder calorífico do combustível.

Os testes de calorimetria foram realizados utilizando-se uma bomba calorimétrica marca *The Parr, Automatic Adiabatic Calorimeter* pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

Para a determinação do poder calorífico superior (PCS), os testes seguiram a norma ANSI/ASTM D 240 - 76. A determinação do PCS foi de acordo com a equação (1)

$$P_c = \frac{[C \cdot \Delta T - (C_1 + C_2)]}{M} \quad \text{Equação (1)}$$

em que

P_c = poder calorífico (kcal/kg)

C = Constante do aparelho 2577,98

ΔT = variação da temperatura (°C)

C_1 = energia liberada pelo fio Níquel Cromo (cal)

C_2 = energia liberada pelo ácido carbonico produzido após a queima (cal)

M = massa do produto (g)

3.6. Avaliações do trator.

3.6.1. Avaliação na Tomada de Potência (TDP)

A TDP do trator avaliado foi acoplada, por meio de um eixo cardã ao dinamômetro de rotação do tipo transmissão montado em berço (Figura 3).



Figura 3. Acoplamento da TDP do trator ao dinamômetro por meio de um eixo cardã.

Para a avaliação na TDP foram aplicadas dez cargas pelo dinamômetro, cinco misturas de combustível e três repetições.

Para a realização das avaliações, além do dinamômetro foi utilizado um fluxômetro de combustível com capacidade para 1.000 mL, um tacômetro digital de contato e um cronômetro digital. As avaliações seguiram a norma NBR 5484 (1985) e

para isto foram utilizadas temperaturas de bulbo úmido, bulbo seco e dados da pressão atmosférica obtidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O ensaio iniciou-se após dez minutos de funcionamento do motor com óleo diesel puro para aquecimento. Para as misturas com algum percentual de OSR seguiu-se por mais dez minutos de funcionamento do motor com a mistura a ser testada sob uma determinada carga. Para o encerramento deixou-se também o motor funcionando novamente dez minutos com óleo diesel puro, a fim de evitar formação de gomas e entupimentos.

Na avaliação foram coletados dados da rotação do motor, carga aplicada pelo dinamômetro e consumo de combustível. Foram realizadas três repetições para cada mistura de combustível.

Para cada carga aplicada pelo dinamômetro, deu-se um tempo de dois minutos para a estabilização da rotação, após esta estabilização verificou-se o nível de combustível no fluxômetro e a partir desta verificação a avaliação se processou por um período de três minutos de funcionamento do trator. Durante esse intervalo de tempo foram coletados o consumo de combustível, a rotação na TDP do trator e a carga aplicada pelo dinamômetro.

Os dados foram coletados visando obter os valores da potência, torque, consumo horário e consumo específico de combustível em função da rotação do motor.

Os dados foram tabulados com o auxílio de uma planilha eletrônica, convertidos e corrigidos de acordo com a norma NBR 5484 (1985), utilizando a planilha para ensaio na tomada de potência que plota automaticamente as curvas características da potência, torque e consumo específico de combustível (FERNANDES, 2003) descrita pela Figura 4.

Trator Ensaiado										Nome:				
Entrada de dados														
Pressão barométrica =										KPa				
Temperatura ambiente =										°C				
Temp. bulbo molhado =										°C				
Cilindrada =										L				
Umidade Relativa =														
Pressão do ar seco =										kPa				
Fator atmosférico =														
Densidade do óleo =										g/L				
Resultados Corrigidos														
Leitura	F	Rot.	Cons.	Pot	Cons. hor.	Torque	Cons. Esp.	Q	Vaz comb. (q)	fm	Fator correção	Potência	Cons. Esp.	Torque
	lbf	rpm	mL / 2 min	kW	L / h	Nm	g / kWh	g/s	q			kW	g / kWh	Nm
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														

Figura 4.Planilha eletrônica para ensaio na TDP (FERNANDES, 2003).

3.6.1.1. Potência

Para a determinação da potência do motor utilizou-se a Equação 2.

$$P = k F n^{0,746} \quad \text{Equação (2)}$$

em que

P = potência do motor, (kW);

F = carga aplicada pelo dinamômetro, (lbf);

n = número de rotações por minuto, (rpm) e

k = constante do dinamômetro, 0,00025.

3.6.1.2. Torque do motor

Para determinação do torque do motor utilizou-sea Equação 3.

$$T = \frac{60 P 1000}{2 \pi n} \quad \text{Equação (3)}$$

em que

T = torque do motor, (mN);

P = potência do motor, (KW) e

n = número de rotações por minuto, (rpm)

3.6.1.3. Consumo Horário de combustível

Para a determinação do consumo horário de combustível do motor e elaboração do gráfico em relação à rotação do motor utilizou sea Equação 4.

$$Ch = \frac{60 C}{2000} \quad \text{Equação (4)}$$

em que

Ch = consumo horário de combustível, (Lh^{-1}) e

C = consumo de combustível, ($mL \min^{-1}$).

3.6.1.4. Consumo Específico de combustível

Para a determinação do consumo específico de combustível do motor e elaboração do gráfico em relação à rotação do motor utilizou-se a Equação 5.

$$C_e = \frac{Ch D}{P} \quad \text{Equação (5)}$$

em que

C_e = consumo específico de combustível, ($\text{gkW}^{-1}\text{h}^{-1}$);

Ch = consumo horário de combustível, (Lh^{-1});

D = densidade do combustível, (gL^{-1}) e

P = potência do motor, (kW).

3.6.1.5. Aplicação do fator de correção

A potência gerada pelo motor é uma grandeza influenciada pelas condições atmosféricas. Para a padronização de resultados obtidos em condições diferentes daquelas previstas pela norma ABNT 5484, utiliza-se um fator de correção que permite a comparação entre valores obtidos em diferentes condições de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica. Assim, todos os valores obtidos no ensaio foram multiplicados pelo fator de correção “ K_d ”. Este procedimento também está contido na planilha eletrônica para ensaio na TDP (FERNANDES, 2003) representada na Figura 4.

3.6.2. Ensaio na Barra de Tração (BT)

A avaliação do desempenho do trator foi efetuada em uma pista de concreto, utilizando um trator como lastro (Figura 5). O trator submetido ao ensaio foi dotado de um fluxômetro de combustível com capacidade para 1.000 mL (Figura 6a) e célula de carga acoplada a barra de tração (Figura 6b) de capacidade máxima de 50 kN (Figura 7a). As cargas aplicadas pelo segundo trator (trator lastro) foram visualizadas em um visor da marca Kratos, (Figura 7b).



Figura 5. Esquema representativo do ensaio na BT.



Figura 6a.Fluxômetro**Figura 6b.**Barra de tração



Figura 7a.Célula de carga**Figura 7b.**Display.

A determinação das curvas de potência, velocidade, patinagem e consumo de combustível em função da força de tração, foram realizadas variando as marchas no trator utilizado como lastro.

O ensaio foi realizado com o trator utilizando a terceira marcha reduzida, e as cargas aplicadas pelo trator usado como trator lastro foi ponto morto (neutro), 4°, 3°, 2° e 1° marcha simples. Para cada marcha a vant do trator avaliado, foram utilizadas três repetições para cada carga empregada pelo trator lastro. A coleta de dados foi em uma pista de blocos de concreto de trinta metros de comprimento, sendo utilizado antes do início da pista cinco metros para estabilização do trator.

A coleta teve início no momento em que a roda motriz do trator passou pelo início da pista; nesse momento se iniciou a contagem do número de voltas da roda motriz, tempo de percurso, consumo do combustível e leituras da célula de carga. A coleta se encerrou com a passagem da roda motriz após a linha de trinta metros do percurso.

Após coletados os dados, estes foram tabulados com o auxílio da planilha eletrônica para ensaio na BT (FERNANDES e SANTOS, 2006) descrita pela Figura 8.

Dados de Entrada		Dados de Entrada -- Ensaio na Barra de Tração					
Potência Nominal, (cv) = Número de Garras do Pneu = Distância Percorrida no Ensaio, (m) = Constante -- Célula de Carga = Número de Cargas Ensaaiadas =		48,7086911					
Carga	Volts Completas	Número de Garras Complementares	T, (s)	Consumo, (ml)	Leitura Célula de carga		
sem carga							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Cálculo dos Parâmetros -- Ensaio na Barra de Tração (B. T.)	
☒ Cálculo do Coeficiente de Tração ☐ Tração -- 4x2 ☒ Tração -- 4x2 TDA ☐ Tração -- 4x4	
Altura da Barra de Tração, (m) = Distância entre Eixos, (m) = Peso Traseiro Estático (PTE), (kgf) = Peso Dianteiro Estático (PDE), (kgf) =	
Calcula	
Cálculo da Potência na Barra de Tração	
☒ Cálculo da Potência Disponível na Barra de Tração Métodos: ☒ Norma ASAE D497 - 4 (2004) ☒ Fator "0.86" (W. Bowers) ☒ Equação do Rendimento de Tração	
Calcula	
Limpa -- Planilhas	

Figura 8. Planilha de dados do ensaio na barra de tração (FERNANDES e SANTOS, 2006).

Esta planilha eletrônica foi desenvolvida em *Visual Basic*, considerando-se a entrada de dados referentes às características do trator, bem como informações obtidas durante o ensaio na barra de tração, tais como o tempo de duração do “tiro” (teste em determinada carga), consumo de combustível (mL), número de voltas da roda motriz e leitura da célula de carga. A partir desses dados, pode-se calcular a força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência disponível na barra de tração (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$), patinagem (%) e coeficiente de tração (%), durante o ensaio de tração.

Para cada carga empregada no ensaio da barra de tração, automaticamente a planilha fornece as curvas de desempenho do trator, relacionando velocidade, potência, patinagem, consumo horário e consumo específico com a força na barra de tração do trator ensaiado, além do valor do coeficiente de tração deste mesmo trator.

3.7. Análise estatística

3.7.1. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no esquema em parcelas subdivididas segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para o ensaio na TDP, com 10 cargas (C1, C2, C3, C..., C10) variando de 44,5 a 1.289,9 N (10 a 290 lbf) e cinco misturas (M1, M2, M..., M5) de óleo combustível, 0% OD e 100% OSR, 25% OD e 75% OSR, 50% OD e 50% OSR, 75% OD e 25% OSR, 100% OD e 0% OSR com três repetições. Para a instalação do experimento, foi feito um sorteio da ordem da avaliação dos tratamentos.

De acordo com a norma NBR 5484 (1985), as cargas (C1, C2, C..., C10) não foram sorteadas, e sim aplicadas de forma crescente. Desta forma, soube-se qual a ordem de execução das primeiras dez avaliações do experimento, variando as cargas segundo a seqüência de 44,5 a 1.289,9 N (10 a 290 lbf) em uma ordem crescente. Sendo assim, o fator mistura foi designado às parcelas e o fator cargas foi designado às subparcelas do experimento. A unidade experimental deste experimento foi composta por um intervalo de dez minutos de funcionamento do motor submetido a uma das combinações (M_iC_j) dos fatores, conforme mencionado anteriormente. Durante este intervalo, foram avaliadas as variáveis: rotação do motor, carga do dinamômetro e consumo de combustível.

Para o ensaio na BT, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cincomarchas (sem carga, ponto morto (neutro), 4°, 3°, 2° e 1° simples), aplicadas à terceira marcha reduzida de deslocamento com as cinco misturas de combustível e três repetições para cada carga aplicada pelo trator lastro. Neste experimento, as misturas foram designadas as parcelas e as cargas designadas as subparcelas. A unidade experimental foi composta pelo intervalo de tempo gasto para o comboio percorrer um trajeto de trinta metros. Neste intervalo, foram avaliados os valores das variáveis: força de tração, número de voltas do pneu, consumo horário de combustível e tempo de percurso.

3.7.2. Análise estatística dos dados obtidos no experimento

Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicação de teste de Tukey para identificar a mistura que proporciona os melhores resultados nas variáveis de interesse. O programa SAS 9.1 foi utilizado para realizar as análises ao nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Massa específica do combustível

Para cada mistura foi ajustado um modelo de regressão para estimar a massa específica nas diferentes temperaturas (25 a 90°C), Tabela 1. Os modelos ajustados foram lineares de 1º grau e as estimativas das equações podem ser visualizadas na Figura 9.

Tabela 1. Modelos gerados para a estimativa da massa específica (g mL^{-1}) das misturas

Misturas	Fórmulas	R ²
0% ORS e 100%OD	$M=0,87813753-0,000741962 \cdot T(^{\circ}\text{C})$	0,97
25% ORS e 75%OD	$M=0,889684613-0,000660064 \cdot T(^{\circ}\text{C})$	0,98
50% ORS e 50%OD	$M=0,90431829-0,000719204 \cdot T(^{\circ}\text{C})$	0,97
75% ORS e 25%OD	$M=0,917667353-0,000720577 \cdot T(^{\circ}\text{C})$	0,97
100% ORS e 0%OD	$M=0,926384364-0,000616545 \cdot T(^{\circ}\text{C})$	0,98

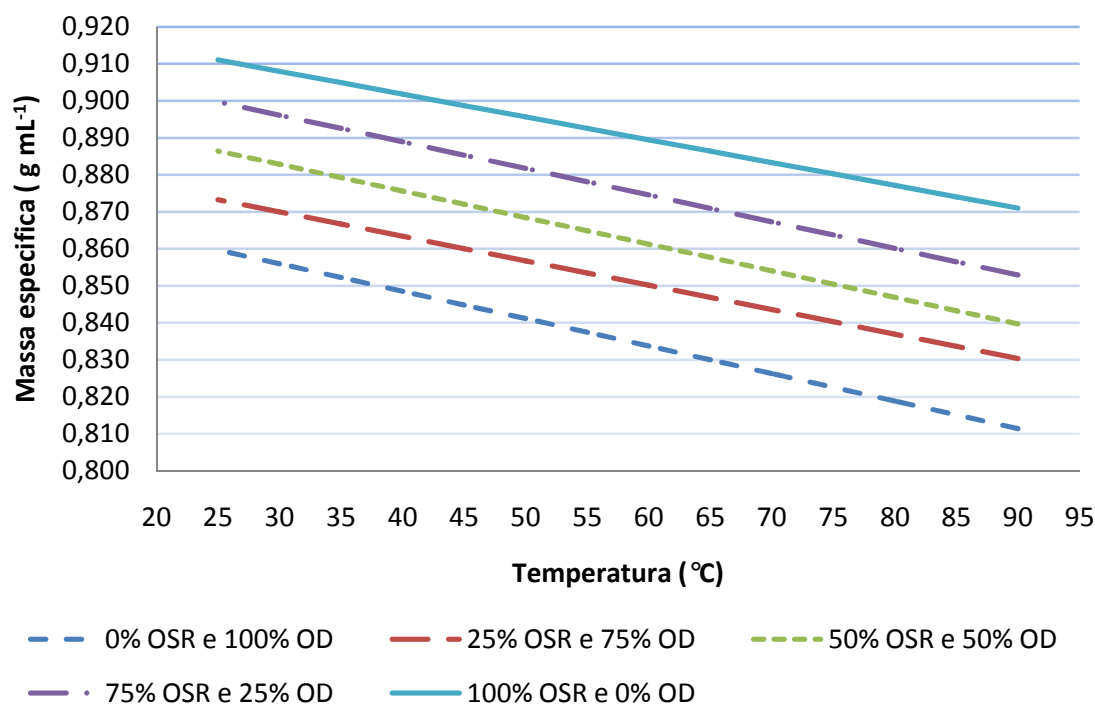


Figura 9. Comportamento da massa específica das misturas em função da temperatura.

Os valores encontrados das massas das misturas ficaram na faixa de 0,811 a 0,910 g mL^{-3} para temperaturas variando de 25 a 90°C. Observando as retas ajustadas, percebe-se que a massa específica tende a diminuir linearmente com o aumento da temperatura sendo que a mistura com percentagem de 25% de OSR apresentou massa específica mais próxima ao do óleo diesel. O comportamento decrescente obtido com o aumento da temperatura é típico dos fluidos newtonianos. Comportamento semelhante também foi obtido por Castro (1999) quando se estudou a massa específica do azeite de babaçu.

Pode-se verificar também que a taxa de variação da massa específica das misturas tende a ser maior em misturas com maior percentagem de óleo de soja reutilizável (OSR).

4.2. Temperaturas do óleo diesel no sistema de alimentação

Por meio de análise das médias dos valores obtidos, foram ajustadas curvas para estimar as temperaturas do óleo diesel presente no sistema de alimentação de

combustível do trator avaliado. As estimativas das curvas podem ser visualizadas na Figura 10.

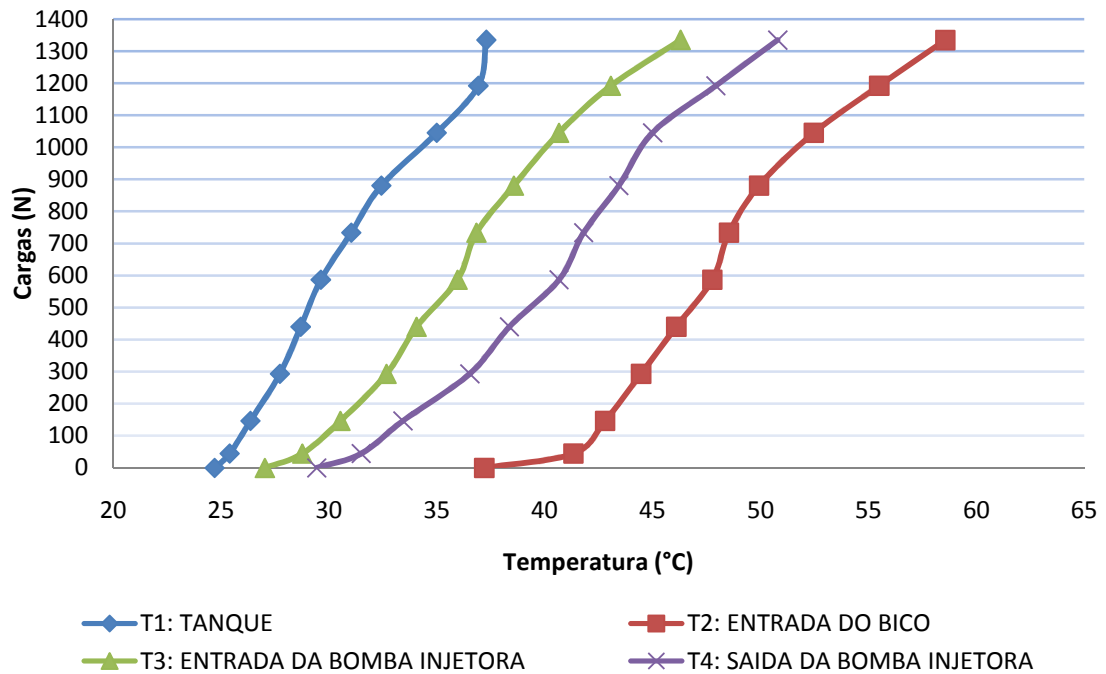


Figura 10. Temperaturas do óleo diesel no sistema de alimentação de combustível em função das cargas aplicadas.

Verifica-se que à medida que se aumentou as cargas aplicadas na TDP do trator, ocorreu aumento de temperatura no sistema de alimentação o que possibilitou a redução da viscosidade do combustível.

Maziero *et al.* (2007) analisando o desempenho de um motor diesel com óleo bruto de girassol, constatou variações na temperatura do sistema de alimentação, sendo que o óleo combustível na entrada da bomba injetora, apresentou temperaturas entre 29 a 34 °C.

4.3. Índice de viscosidade do combustível.

Por meio da análise de regressão foram ajustadas equações para estimar a viscosidades das misturas em uma faixa de temperatura de 30 a 90 °C (Tabela 2). Os

modelos foram lineares e as estimativas das equações podem ser visualizadas na Figura 11.

Para comparação da viscosidade das misturas, utilizou-se como referência a Portaria ANP 310 (2001) referente a viscosidades do óleo diesel. A faixa de viscosidade recomendada pela ANP 310 fica entre 2,5 a 5,5 cSt à 40 °C. Para uma condição de temperatura a 40 °C nenhuma das misturas utilizadas atendeu a Portaria ANP 310, fato que pode ser explicado devido o óleo diesel ter a viscosidade cinemática perto do limite superior estabelecido pela portaria. No caso das misturas aquecidas até 60 °C, a mistura de 25% OSR e 75% OD se enquadrou na Portaria da ANP. Quando a temperatura foi elevada para 90 °C ocorreu redução na viscosidade de todas as misturas testadas, atendendo assim a faixa de viscosidade exigida pela ANP 310.

O aquecimento do 100% OSR de 40 para 90 °C reduziu em até 90,4% a sua viscosidade. Observou-se também que nas curvas apresentadas na Figura 11, quanto maior a proporção de OSR, maior tende a ser a influência da temperatura na redução da viscosidade.

Castro (1999) estudando a viscosidade do óleo de babaçu verificou que, a viscosidade decresceu consideravelmente em presença a altas temperaturas.

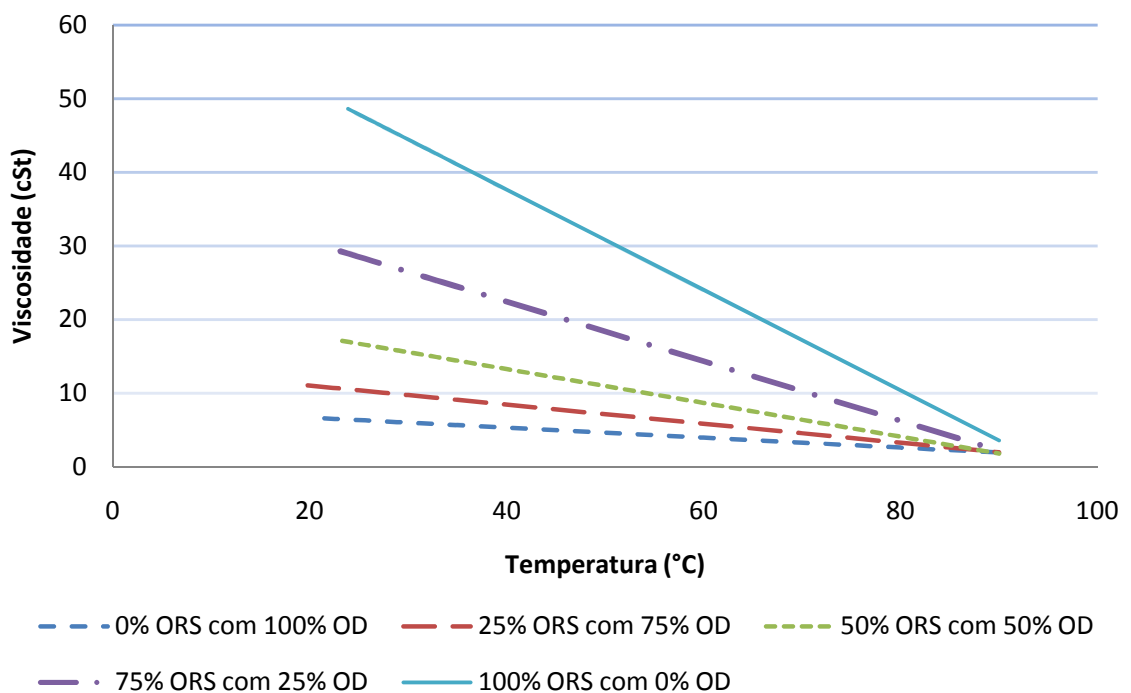


Figura 11. Índice de viscosidade cinemática das diferentes misturas em função da temperatura.

Tabela 2.Modelo para a estimativa da viscosidade(cSt) das misturas

Misturas	Formulas	R ²
0% ORS e 100%OD	$V=(8,030067401-0,068338806)*T(^{\circ}C)$	99,99
25% ORS e 75%OD	$V=(13,59380883-0,129505682)*T(^{\circ}C)$	94,85
50% ORS e 50%OD	$V=(22,40514178-0,22931907)*T(^{\circ}C)$	95,28
75% ORS e 25%OD	$V=(38,6366593-0,40544873)*T(^{\circ}C)$	95,10
100% ORS e 0%OD	$V=(64,89279895-0,681565452)*T(^{\circ}C)$	95,05

4.4. Poder calorífico do combustível.

A Tabela 3 apresenta os valores do poder calorífico superior (PCS) das cinco misturas testadas.

Tabela 3.Análise do Poder Calorífico das misturas

Amostra	PCS Real (Kcal Kg ⁻¹)	Ordem de maior PCS
0%OSR/100%OD	7648,41	2°
25%OSR/75%OD	7696,41	1°
50%OSR/50%OD	7158,24	3°
75%OSR/25%OD	6734,51	4°
100%OSR/0%OD	6366,98	5°

Entre as amostras estudadas, a mistura que apresentou poder calorífico mais próximo ao do óleo diesel, foi à mistura de 25% OSR e 75% OD sendo uma variação de apenas 48 kcal. A variação do poder calorífico seguiu uma ordem decrescente com relação ao óleo diesel com o aumento do teor de OSR.

A mistura de 100% OSR apresentou o menor poder calorífico, corresponde a 83 % do valor observado no óleo diesel, valor esse próximo ao encontrado por Knothe (2006) no qual diz que, além do número de cetano, o calor de combustão é uma propriedade que demonstra a adequação dos vários tipos de compostos graxos para uso como combustível em motores diesel. O calor de combustão contido nos óleos vegetais e nos seus respectivos ésteres alquílicos corresponde a cerca de 90% do valor observado no óleo diesel derivado de petróleo.

4.5. Avaliações realizadas com o trator agrícola

4.5.1. Avaliação na Tomada de Potência (TDP)

O desempenho na tomada de potência do trator foi avaliado pelos resultados dos ensaios no dinamômetro. Os dados foram tabulados com o auxílio de uma planilha eletrônica, convertidos e corrigidos de acordo com a norma NBR 5484 (1985) utilizando uma planilha desenvolvida para ensaio na tomada de potência que plota automaticamente as curvas características da potência, torque e consumo específico de combustível (FERNANDES, 2003) descrita pela Figura 4.

4.5.1.1. Potência do motor

Na Figura 12 e Tabela 4 estão representadas as potências corrigidas para cada uma das misturas de combustíveis.

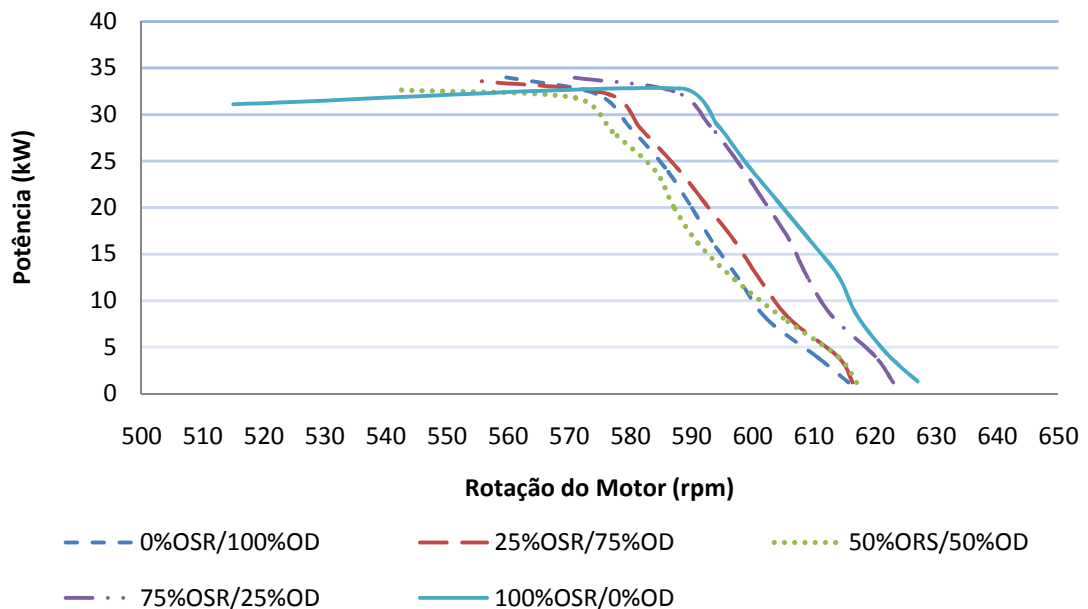


Figura 12. Curvas de potência para diferentes misturas em função da rotação do motor.

Tabela 4. Médias de potência(kW) em cada uma das misturas

MISTURAS	CARGAS (N)											
	44	147	294	440	587	734	881	1045	1192	1290		
0%OSR	1,18 a	3,89 a	8,00 a	12,39 a	16,40 a	20,37 a	24,28 a	28,54 a	32,23 a	33,99 a		
25%OSR	1,18 a	3,91 a	8,06 a	12,39 a	16,42 a	20,36 a	24,24 a	28,48 a	32,18 a	33,57 a		
50%OSR	1,18 a	3,93 a	8,10 a	12,27 a	16,21 a	19,96 a	24,00 a	28,14 a	31,80 a	32,63 ab		
75%OSR	1,18 a	4,00 a	8,32 a	12,48 a	16,55 a	20,54 a	24,50 a	28,88 a	32,55 a	34,10 a		
100%OSR	1,28 a	4,27 a	8,47 a	12,64 a	16,72 a	20,75 a	24,70 a	29,07 a	32,78 a	31,10 b		

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas avaliações, a potência máxima encontrada, 34,10 kW, foi verificada na mistura de 25% OD com 75% OSR porém este valor não foi significativo em relação as misturas de 50, 25 e 0% de OSR.

Pode-se perceber que a mudança de combustível provocou variação na potência do motor, sendo que a mistura de 50% OD com 50% OSR obteve em maior parte, menor potência comparada com as demais embora não significativas. Já a mistura de 100% OSR apresentou ao longo da curva, valores de potências superiores às demais, vindo a decair com o aumento das duas últimas cargas aplicadas, ocasionando também redução na rotação da TDP.

Pode ser observado na Tabela 4 que somente para as cargas 734 e 1290 N foram detectadas diferenças entre as misturas em relação ao efeito que proporcionam na potência do motor. Para ambas as cargas, a mistura 50% OSR apresentou menor potência. Este resultado indica que mesmo trabalhando a cargas maiores é possível utilizar uma mistura de 25% OSR e ainda assim obter potências similares ao utilizar 100%OD. Para cargas pequenas até mesmo 100%OSR poderia ser utilizado para obter potência similar a obtida ao usar 100%OD. Resultado semelhante foi encontrado por Maronhas (2008) na utilização de misturas de óleo de soja reutilizado com óleo diesel em um motor estacionário onde se verificou que a potência e o torque do motor se apresentaram maiores para a mistura de 75% OD e 25% OS.

Santos (2007) constatou que o aumento da potência e do torque no motor avaliado foi proporcional à adição de óleo de soja refinado na mistura com óleo diesel, trabalhando em rotações superiores a 2350 RPM.

4.5.1.2. Consumo específico de combustível

Na Figura 13 e Tabela 5 estão representadas as curvas e os dados de consumo específico corrigido para as diferentes misturas de combustíveis.

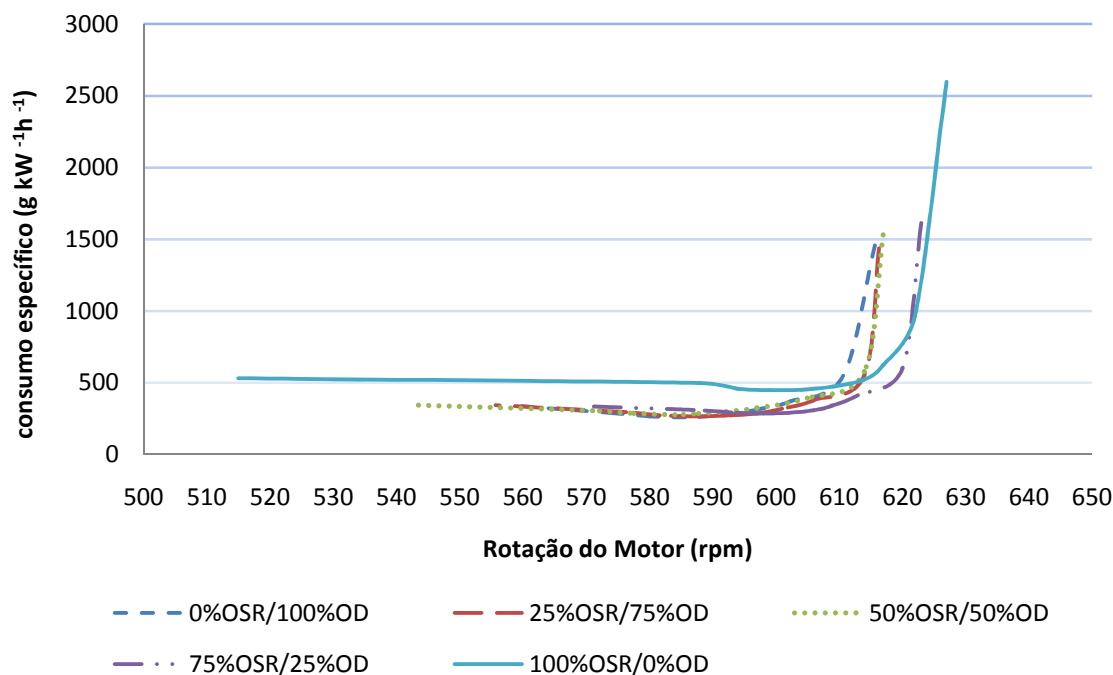


Figura 13. Curva do consumo específico para as diferentes misturas em função da rotação do motor.

Tabela 5. Médias do consumo específico para diferentes misturas

	CARGAS (N)																			
MISTURAS	44		147		294		440		587		734		881		1045		1192		1290	
0%OSR	1459	d	553	b	371	b	320	b	284	b	269	c	261	b	266	b	289	b	338	b
25%OSR	1437	d	552	b	379	b	321	b	288	b	272	c	266	b	274	b	296	b	344	b
50%OSR	1531	c	578	b	393	b	325	b	296	b	383	b	279	b	288	b	307	b	348	b
75%OSR	1628	b	614	b	418	b	346	b	313	b	295	c	288	b	293	b	312	b	337	b
100%OSR	2600	a	963	a	624	a	523	a	474	a	451	a	449	a	458	a	499	a	531	a

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se perceber através da tabela5 que o menor consumo específico encontrado foi verificado para mistura de 0% OSR.

Pode-se perceber que a mudança de combustível provocou variação no consumo específico do motor, sendo que a mistura de 0% OD com 100% OSR obteve, maior consumo específico comparada com as demais.

Para o consumo específico observou-se que, ocorreram variações com a adição do OSR, sendo que as cargas 44 e 734 N obtiveram maiores variações em comparação com as demais. Maziero *et al.* (2005) observaram que a substituição completa do óleo diesel por biodiesel de óleo de girassol produziu uma redução média de 7,6% na potência do motor com um aumento de consumo específico da ordem de 9,8%, em média.

Resultado semelhante foi observado por Santos (2007) trabalhando com óleo de soja refinado em motores diesel de baixa potência. O autor verificou um maior consumo específico para as misturas, óleo de soja refinado com óleo diesel, em comparação ao óleo diesel.

4.5.1.3. Torque do motor

A variação do torque do motor de acordo com as misturas pode ser verificada na Figura 14 e na Tabela 6.

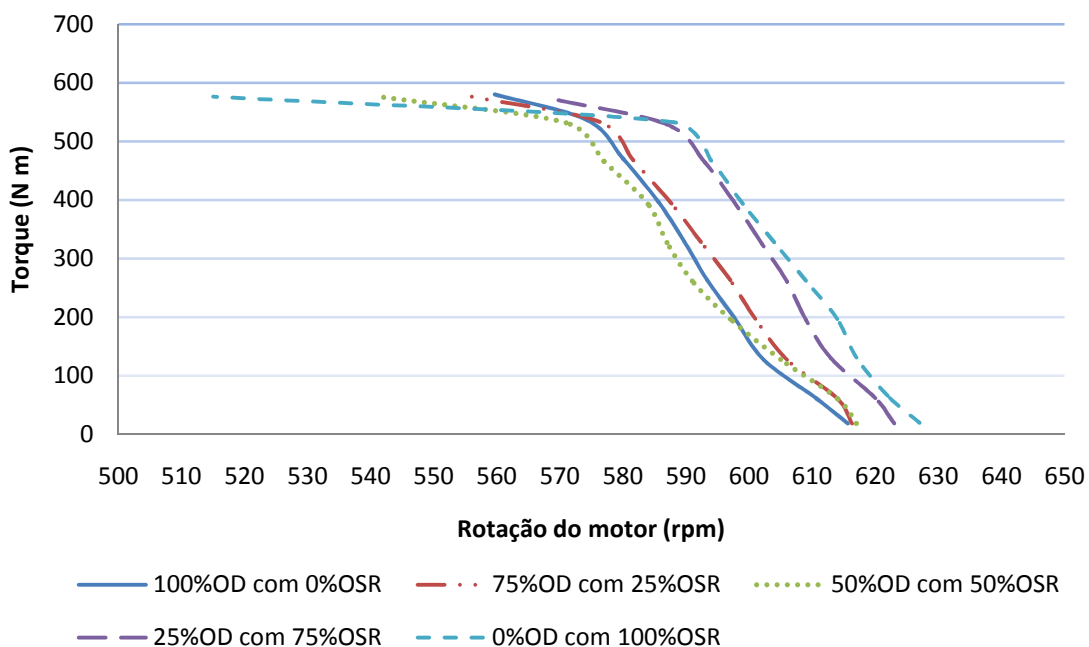


Figura 14. Curvas de torque para as diferentes misturas em função da rotação do motor.

Tabela 6.Médias do torque para diferentes misturas

	CARGAS (N)																			
MISTURAS	44		147		294		440		587		734		881		1045		1192		1290	
0%OSR	18,33	a	60,81	a	126,75	a	197,96	a	263,95	a	329,94	a	395,93	a	469,91	a	535,90	a	579,89	a
25%OSR	18,31	a	60,80	a	127,03	a	196,94	a	262,58	a	328,23	a	393,88	a	467,48	ab	533,13	ab	576,89	ab
50%OSR	18,29	a	61,19	a	127,79	a	196,31	a	261,75	a	327,18	a	392,62	a	465,99	ab	531,42	ab	575,05	ab
75%OSR	18,28	a	61,94	a	129,62	a	195,27	a	260,36	a	325,45	a	390,54	a	463,52	b	528,62	b	572,01	b
100%OSR	19,50	a	65,58	a	131,16	a	196,74	a	262,32	a	327,90	a	393,48	a	467,01	ab	532,60	ab	576,32	ab

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em relação ao torque, verificou-se que houve diferença significativa entre as misturas quando se utilizou as três últimas cargas: 1.045 N, 1.192 N e 1.290 N. Para estas cargas, a mudança de combustível provocou variação no torque do motor, sendo que a mistura de 25% OD com 75% OSR sempre está no grupo de misturas que apresentaram menor torque.

Em comparação ao maior torque observado, a mistura de 100% OSR apresentou um torque de 576 Nm a uma rotação de 515 rpm e os demais torques obtiveram seu maior valor à rotações superiores a 540 rpm.

A pesquisa de Maronhas (2008) conduzido com um motor diesel estacionário, trabalhando com diferentes misturas de óleo diesel (OD) e óleo de soja reutilizado (OSR), mostrou valores bem próximos aos valores obtidos nos ensaios aqui apresentados. Valores da potência e o torque do motor foram maiores para a mistura de 75% OD e 25% OSR, acompanhado de um menor consumo específico. Para a potência e o torque, este aumento foi 24% maior, em ambos, quando comparado com a mistura de menor potência e torque, 25% OD e 75% OS.

Machado (2003) avaliando o desempenho do óleo de soja como combustível para motores diesel constatou que a mistura de 10 a 30% de óleo de soja com óleo diesel proporcionou melhores resultados com relação às demais misturas com o maior índice de óleo vegetal.

4.5.2. Avaliação na Barra de Tração (BT)

Na Figura de 15 a 20 os eixos das ordenadas estão em uma escala logarítmica, sendo que os valores correspondentes às médias das variáveis estão localizados acima de cada barra que corresponde à legenda.

Na Figura 15 e Tabela 7 estão representadas as médias obtidas para as variáveis força de tração (N), velocidade (ms^{-1}), consumo horário (Lh^{-1}) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou sem carga. Verificou-se que, para todas as variáveis em estudo, as misturas não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

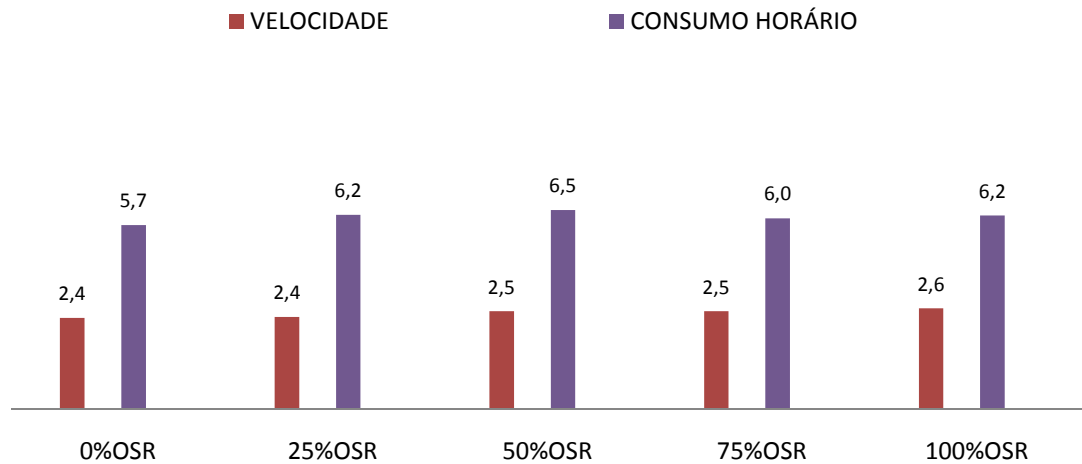


Figura 15. Velocidade (m s^{-1}), consumo horário (L h^{-1}), em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou sem carga.

Tabela 7. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas para o trator sem carga

MISTURA	FORÇA DE TRAÇÃO	VELOCIDADE	POTÊNCIA	CONSUMO HORÁRIO	CONSUMO ESPECÍFICO	PATINAGEM
0%OSR	0	2,36	a	0	5,65	a
25%OSR	0	2,38	a	0	6,21	a
50%OSR	0	2,51	a	0	6,52	a
75%OSR	0	2,51	a	0	6,02	a
100%OSR	0	2,58	a	0	6,18	a

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Figura 16 e Tabela 8, os valores das variáveis força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (Lh^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou em ponto morto (neutro) como carga.

Verificou-se que, para as variáveis velocidade e consumo horário, as misturas não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Este fato deve-se ao ponto morto (neutro) como carga, pois ela não ofereceu resistência que pudesse variar os valores da velocidade e consumo horário. Para as variáveis força de tração, potência, consumo específico e patinagem, as misturas diferiram entre si ao nível de 5%.

A mistura 25% OSR apresentou um melhor desempenho do trator avaliado, ou seja, maior potência (11,05 kW), menor consumo específico (455,96 g kW⁻¹h⁻¹) e menor patinagem (1,15%).

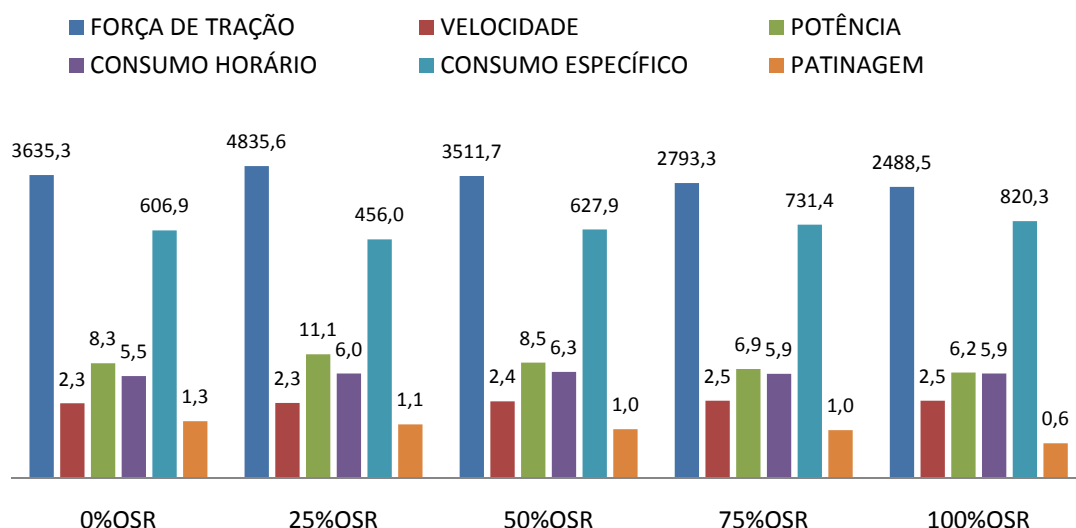


Figura 16. Força de tração (N), velocidade (m s⁻¹), potência (kW), consumo horário (L h⁻¹), consumo específico (g kW⁻¹ h⁻¹) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou em ponto morto (neutro).

Tabela 8. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou em ponto morto (neutro).

MISTURA	FORÇA DE TRAÇÃO		VELOCIDADE		POTÊNCIA		CONSUMO HORÁRIO		CONSUMO ESPECÍFICO		PATINAGEM	
0%OSR	3635,28	b	2,26	a	8,27	bc	5,46	a	606,91	b	1,28	a
25%OSR	4835,56	a	2,29	a	11,05	a	5,95	a	455,96	c	1,15	ab
50%OSR	3511,74	b	2,42	a	8,50	b	6,30	a	627,90	b	0,98	ab
75%OSR	2793,29	c	2,46	a	6,88	bc	5,92	a	731,38	a	0,95	ab
100%OSR	2488,46	c	2,47	a	6,15	c	5,93	a	820,35	a	0,62	b

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Figura 17 e Tabela 9, os valores das variáveis força de tração (N), velocidade (ms^{-1}), potência (kW), consumo horário (Lh^{-1}), consumo específico ($\text{gkW}^{-1}\text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou tendo a quarta marcha como carga.

Constatou-se que, as misturas, em relação as variáveis velocidade, consumo específico e deslizamento, tem efeitos iguais ao nível de probabilidade que foi realizado o teste F (5%). Este resultado não era esperado, pois a variável consumo específico é função da potência e as variáveis velocidade e patinagem são em função da força de tração, e para estas variáveis, potência e força de tração, o teste F realizado foi significativo. Este fato pode ser explicado pelo que foi observado em campo, ou seja, quando utilizou a quarta marcha como carga, o trator avaliado não se apresentou estável, ou seja, trepidava.

As misturas 25%, 75% e 100% OSR não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e apresentaram melhor desempenho para o trator avaliado, ou seja, maior potência e menor consumo horário.

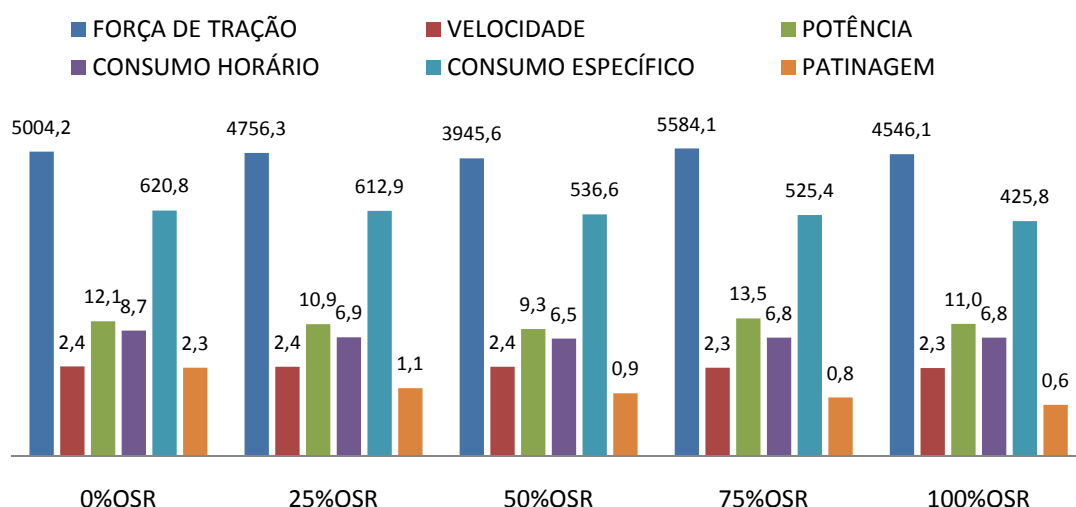


Figura 17. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a quarta marcha.

Tabela 9. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a quarta marcha

MISTURA	FORÇA DE TRAÇÃO	VELOCIDADE	POTÊNCIA	CONSUMO HORÁRIO	CONSUMO ESPECÍFICO	PATINAGEM						
0%OSR	5004,16	ab	2,43	a	12,14	ab	8,72	a	620,76	a	2,34	a
25%OSR	4756,28	ab	2,42	a	10,91	ab	6,89	b	612,91	a	1,13	a
50%OSR	3945,64	b	2,41	a	9,25	b	6,55	b	536,59	a	0,94	a
75%OSR	5584,13	a	2,34	a	13,48	a	6,76	b	525,41	a	0,81	a
100%OSR	4546,09	ab	2,30	a	11,04	ab	6,79	b	425,82	a	0,62	a

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Figura 18 e Tabela 10, os valores das variáveis força de tração (N), velocidade (ms^{-1}), potência (kW), consumo horário (Lh^{-1}), consumo específico ($\text{gkW}^{-1}\text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a terceira marcha como carga. Verificou-se que, as médias dos tratamentos, para as variáveis potência, consumo horário, consumo específico e patinagem, apresentaram efeitos iguais ao nível de probabilidade em que foi realizado o teste F (5%).

As misturas 75% e 100% OSR não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, e apresentaram melhores desempenho para o trator avaliado, ou seja, maiores velocidades.

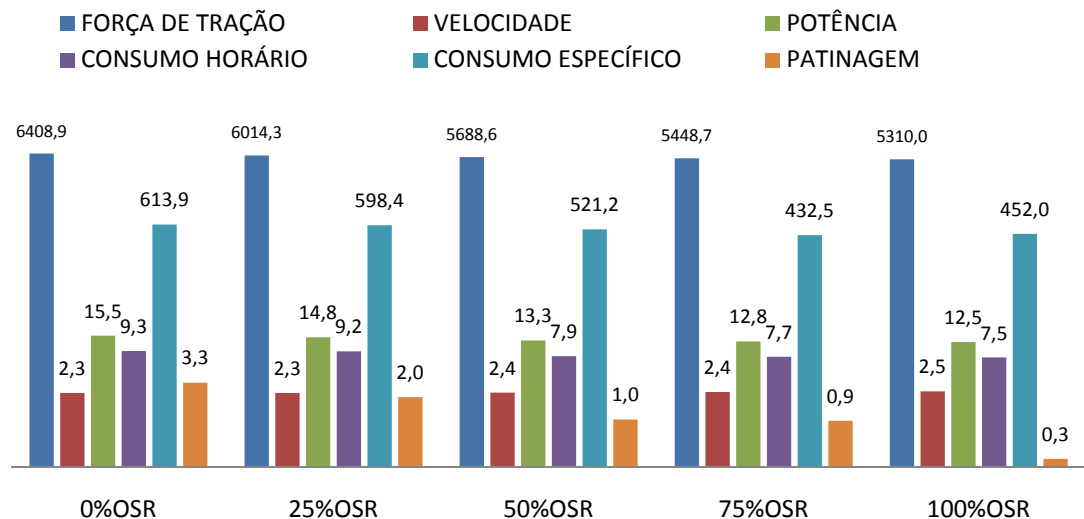


Figura 18. Força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a terceira.

Tabela 10. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a terceira marcha

MISTURA	FORÇA DE TRAÇÃO		VELOCIDADE		POTÊNCIA		CONSUMO HORÁRIO		CONSUMO ESPECÍFICO		PATINAGEM	
0%OSR	6408,90	a	2,34	c	15,47	a	9,34	a	613,90	a	3,29	a
25%OSR	6014,33	a	2,34	c	14,77	a	9,23	a	598,40	a	2,02	a
50%OSR	5688,60	a	2,36	bc	13,28	a	7,86	a	521,22	a	0,97	a
75%OSR	5448,71	a	2,41	ab	12,77	a	7,72	a	432,47	a	0,93	a
100%OSR	5310,02	a	2,46	a	12,51	a	7,54	a	451,96	a	0,26	a

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Figura 19 e Tabela 11, os valores das variáveis força de tração (N), velocidade (m s^{-1}), potência (kW), consumo horário (L h^{-1}), consumo específico ($\text{g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a segunda marcha como carga. Observou-se que, as misturas em relação a variável velocidade, tiveram efeitos iguais ao nível de probabilidade que foi realizado o teste F (5%). Este fato pode ser explicado pelo fato de que as condições do solo ter sido a mesma para todos os ensaios.

As misturas 75% e 100% OSR não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e apresentaram melhores desempenhos para o trator avaliado, ou seja, maiores potência, menores consumos específicos e patinagem. Este resultado contraria ao resultado observado por Soranso (2006) que trabalhando com o desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado etílico e metílico constatou que 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).

Torres (2003) entretanto, analisando a avaliação de um motor do ciclo diesel operando com óleo de dendê para suprimento energético em comunidades rurais verificou uma diferença de potência de 5 a 15% quando operado com óleo de dendê, com relação ao óleo diesel. Entretanto, apesar da diminuição da potência ainda é vantajoso operar esta máquina numa propriedade rural onde não dispõe de energia elétrica.

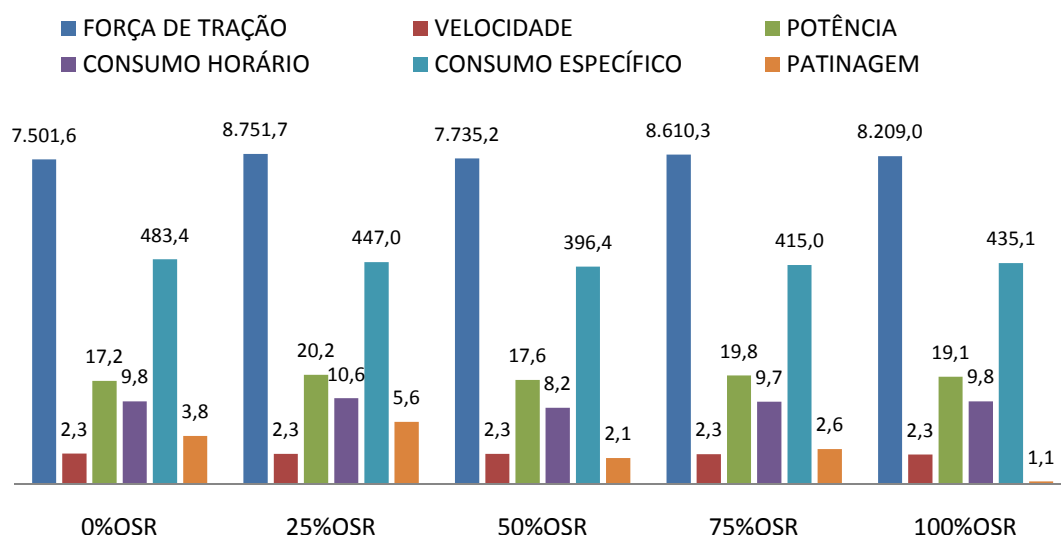


Figura 19. Força de tração (N), velocidade (m s⁻¹), potência (kW), consumo horário (L h⁻¹), consumo específico (g kW⁻¹ h⁻¹) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a segunda marcha.

Tabela 11. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a segunda marcha

MISTURA	FORÇA DE TRAÇÃO		VELOCIDADE		POTÊNCIA		CONSUMO HORÁRIO		CONSUMO ESPECÍFICO		PATINAGEM	
0%OSR	7501,63	b	2,33	a	17,20	b	9,78	a	483,43	a	3,79	ab
25%OSR	8751,70	a	2,31	a	20,21	a	10,62	a	447,01	ab	5,55	a
50%OSR	7735,17	b	2,30	a	17,56	ab	8,17	b	396,45	b	2,06	bc
75%OSR	8610,35	a	2,29	a	19,81	ab	9,67	a	415,03	b	2,63	bc
100%OSR	8209,02	ab	2,27	a	19,14	ab	9,79	a	435,14	ab	1,08	c

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Figura 20 e Tabela 12, os valores das variáveis força de tração (N), velocidade (m s⁻¹), potência (kW), consumo horário (L h⁻¹), consumo específico (g kW⁻¹ h⁻¹) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a primeira marcha como carga. As misturas 75% e 100% OSR não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e apresentaram melhores desempenhos do trator avaliado, ou seja, maiores velocidades e potência, menores consumos horários, consumos específicos e patinagem. Este resultado, em comparação ao consumo específico, foi contrário ao verificado por 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, utilizando óleo diesel e biodiesel de óleo residual de soja (nas proporções

de 0% , 25%, 75% e 100 %) foi observado um maior consumo específico à medida que as proporções de biodiesel aumentaram. Segundo o autor, isso ocorreu devido ao menor poder calorífico do biodiesel, cerca de 3% a 4% menor que o poder calorífico do diesel.

Com relação à potência e torque, Schlosser *etal.*(2007) analisando o desempenho de misturas pré-aquecidas de óleo de soja cru e diesel como combustível para motores agrícolas, verificaram que a mistura composta por 70% de óleo vegetal e 30% de óleo diesel com pré-aquecimento na faixa de 68 °C apresentou uma potência média, superior em 8,7% em relação à média da testemunha e, em elevados regimes de rotação, foi superior em 14,0%

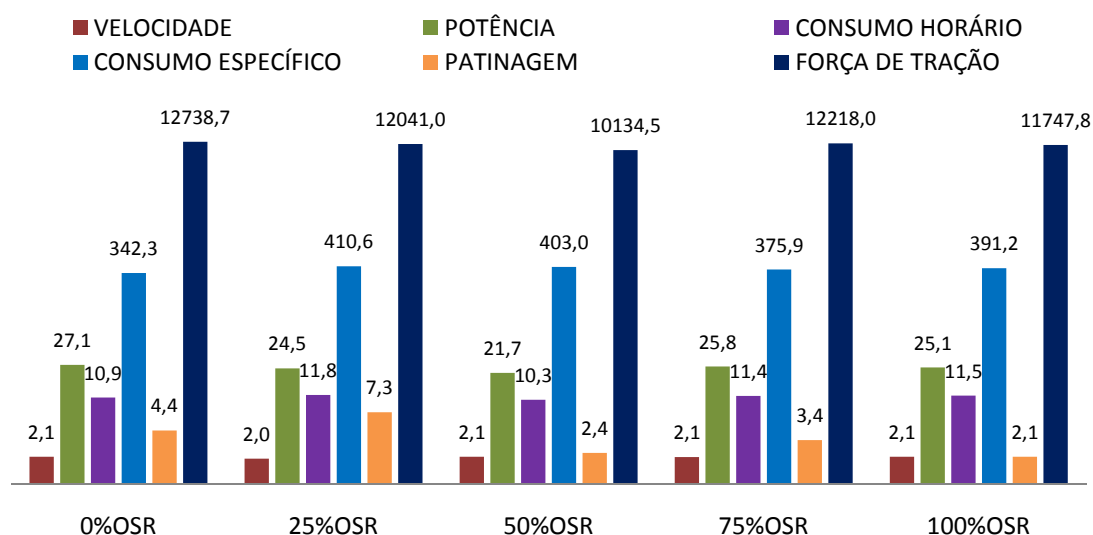


Figura 20. Força de tração (N), velocidade (m s⁻¹), potência (kW), consumo horário (L h⁻¹), consumo específico (g kW⁻¹ h⁻¹) e patinagem (%) em função das misturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% OSR (óleo de soja reutilizável), quando o trator trabalhou com a primeira.

Tabela 12. Médias das variáveis ao utilizar diferentes misturas quando o trator trabalhou com a primeira marcha

MISTURA	FORÇA DE TRAÇÃO	VELOCIDADE	POTÊNCIA	CONSUMO HORÁRIO	CONSUMO ESPECÍFICO	PATINAGEM
0%OSR	12738,72	a 2,13	a 27,13	a 10,94	ab 342,34	b 4,43
25%OSR	12040,96	a 2,03	b 24,47	ab 11,79	a 410,60	a 7,31
50%OSR	10134,52	b 2,14	a 21,71	b 10,28	b 403,02	a 2,39
75%OSR	12217,96	a 2,12	a 25,83	a 11,42	ab 375,90	ab 3,38
100%OSR	11747,81	a 2,13	a 25,07	ab 11,52	ab 391,23	ab 2,14

As médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 12 a 14, com o aumento das cargas aplicadas ao trator avaliado, os melhores resultados observados no rendimento do trator foram verificados com o aumento das percentagens de mistura (25% OSR para ponto morto (neutro), 25%, 75% e 100% OSR para a quarta marcha carga e 75% e 100% OSR para a terceira, segunda e primeira marcha carga). Este resultado é interessante, pois, em situação real de campo, trabalha-se com cargas maiores, e trabalhando-se com maior percentagem mistura tem-se um maior rendimento do trator e um melhor reaproveitamento do óleo de soja.

Verificou-se também que a mistura 50% OSR foi a que apresentou os piores resultados para as cargas estudadas. Estes resultados podem estar relacionados ao fato desta apresentar menor potência e torque no ensaio da TDP (Figuras 16 a 20)

5. CONCLUSÃO

- A massa específica das misturas aumentam com o aumento da percentagem de OSR e diminuem com o aumento da temperatura.
- Com o aumento das cargas aplicadas à TDP, ocorreu um aumento na temperatura em todos os pontos do sistema de alimentação.
- O aquecimento do 100% OSR de 40 para 90 °C reduziu em até 90,4% a sua viscosidade.
- O poder calorífico mais próximo ao do óleo diesel foi à mistura de 25% OSR e 75% OD sendo uma variação de apenas 48 kcal.
- A potência máxima encontrada, 34,10 kW, foi verificada na mistura de 25% OD com 75% OSR porém este valor não foi significativo em relação as misturas de 50, 25 e 0% de OSR
- Quando se utilizou OSR misturado ao OD, o menor consumo específico para todas as misturas ocorreu em uma faixa de rotação entre 580 a 600 RPM para uma carga aplicada a TDP de 881 N.
- As misturas com teores de OSR apresentam maior consumo em relação ao OD.
- A mudança da percentagem da mistura de combustível provocou variação no torque do motor, sendo que a mistura de 100% OD com 0% OSR apresentou o maior valor.
- O OSR se mostrou uma alternativa viável para ser utilizado em misturas com OD para acionamento de motores.

- Novas avaliações devem ser efetuadas após um maior numero de horas de funcionamento do motor.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO-ANP (2001). **Portaria ANP N° 310**, de 27 de Dezembro de 2001. Diário Oficial da União de 28/12/2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5484: motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão (Diesel) ou ignição por centelha (Otto) de velocidade angular variável - ensaio - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1985. 8 p.

BARGUER, E.L., LILJEDAHN, J.B., CARLETON, W.M., MCKIBBEN, E.G. **Tratores e seus motores**. São Paulo: Edgar Blucher, 1966. 398p.

BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25. ed. São Paulo: E Blücher, 2005.1232 p.

CASTRO, A. A. **Extração, caracterização físico-química, nutricional e reológica do azeite do coco babaçu (Orbignyaspp)**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CAVALLI, R. L'usodegliesteridolivegtali come combustibile. **M&ma**, n.2. p. 17-30. 1993.

CEPEL. **Implantação de sistemas de geração alternativa na Região Norte-1258**. Disponível em <<http://www.cepel.br/~per/1258.htm>. 2000> Acessado em 2000

DOMÍNGUEZ, L.A.A. Biocombustibles: Utilización de los aceites vegetales como energíarenovable. Madrid, España : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1995. 203p.

FENDER, T. R. Por que usar puro óleo vegetal como combustível?. Via Jus, Porto Alegre, RS. Disponível em: <<http://www.viajus.com.br/viajus.php?pagina=artigos&id=16>> Acesso em: 22 jul. 2009.

FERNANDES, H. C. **Notas de Aula Eng 637 – Ensaios de Maquinas Agrícolas e Florestais**. Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. Viçosa. 2003.

FERNANDES, H. C; SANTOS, L. F. **Notas de Aula Eng 637 – Ensaios de Maquinas Agrícolas e Florestais**. Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. Viçosa. 2006.

FILHO, A. G. dos S., SANTOS, J. E. G. G., **Apostila de máquinas agrícolas**, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2001.

FUENTES, J.; LÓPEZ, F.J.; CAMPS, M. Aceite de oliva, soja y algodón como combustible diesel. **John Deere Publications. (Rev. del Universidad Madrid)**, España, p. 161-170, 1994.

FOX, R.W.; McDonald, A. T.; Pritchard, P. F. **Introdução a mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ : Editora LTC, 2006. 798 p.

GIACOSA, D. Motores Endotérmicos. 3. ed. Barcelona: **Editorial Científico-Médica**, 1964. 722 p.

HMCOUTINHO. Disponível em <<http://www.hmcoutinho.com.br/dicas.php?chave=00014>> Acessado em 15-02-2010

INOUE, G.H. **Utilização de óleo vegetal em motor estacionário de ciclo diesel**. Viçosa: UFV, 2008. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

KNOTHE, G. et al. **Manual de biodiesel**. EDGARD BLÜCHER. São Paulo, BR, 340 p. 2006.

KNOTHE, G. **A história dos combustíveis derivados de óleos vegetais**. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E Blücher, 2006. p. 5-18

LEONTSINIS, E. Óleo Diesel. In: **Curso de informação sobre combustíveis e combustão**. 11ª Ed., Rio de Janeiro: IBP, 1988. p. 65-77.

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

LUNA, J.F. Aceites vegetales y motores diesel. **Maquinas y Tractores**. n. 02, p. 40-46, 1990.

MACHADO, P. R. M; **Avaliação de desempenho do óleo de soja como combustível para motores diesel**. Santa Maria, RS: UFSM, 2003. 212f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais, Santa Maria.

MAGOT-CUVRU, P., Motores diesel. **Hemus**, São Paulo, 1978.

MANUAL técnico: curso Metal Leve: motores de combustão interna. 10. Ed. [São Paulo, SP: Metal Leve], 2000. 114p.

MARONHAS, M.E.S. **Utilização de Misturas de Óleo de Soja Reutilizado com Óleo Diesel em um Motor Estacionário**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 18 f. Relatório Final PIBIC/CNPq (Bolsista PIBIC/CNPq) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

MAZIEIRO, J. V. G.; CORRÊA, I.M. Biocombustível em xeque. **Revista Cultivar Máquinas**. n. 32, p. 6-9, 2004.

MAZIERO, J. V. G.; CORRÊA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D AGOSTINI, M. **Avaliação do desempenho de um motor de ignição por compressão utilizando óleo diesel e éster etílico de óleo de girassol como combustível**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Varginha, MG. Anais... Lavras: UFLA, 2005. CD-ROM.

MAZIEIRO, J. V. G.; CORRÊA, I.M.; ÚNGARO, M.R., BERNARDI, J. A.; STORINO, M. Desempenho de um motor Diesel com Óleo Bruto de Girassol. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 249-255, abr-jun, 2007

MIALHE, L. G., **Máquinas agrícolas: Ensaios & Certificações**. Piracicaba, SP: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996

MORAES, J. R. **Manual dos óleos vegetais e suas possibilidades energéticas**. CNI. 1980. 78p.

MORET, A. S.; **Óleo Vegetal como combustível para energia elétrica em pequenos aglomerados de Rondônia, como forma de geração de renda**. GPERS. Porto Velho 2005. Relatório de projeto de pesquisa do programa de P&D. ANEEL/El paso do Brasil/Termonorte: 2004-2005

PRATEEPCHAIKUL, G; APICHATO, T.; Palm oil as a fuel for agricultural diesel engines: Comparative testing against diesel oil. **Songklanakarin J. Sci. Technol** . v.25, n.3, p. 317-326, 2003.

RABELO, I.D. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura**. Curitiba, PR: CEFET, 2001. 98f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.

SALA, A. J; **Desempenho de um diesel de injeção indireta em função da variação do teor de biodiesel**. Santa Maria, RS; UFSM, 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria

SALAZAR, E. **Óleos vegetais: combustíveis alternativos**. Cidade Virtual: Bionline. Pelotas, dez. 2002. Disponível em <<http://www.terra-cidadevirtual.html>>. Acesso em: 19-12-2002.

SANTOS, G. L.; **Avaliação do desempenho de um motor diesel de baixa potência alimentado com mistura de óleo de soja refinado e óleo diesel**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 20 f. Relatório Final PIBIC/CNPq (Bolsista PIBIC/CNPq) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHLOSSER, J. F.; MACHADO, P. R. M.; CAMARGO, M. N. Desempenho de misturas pré-aquecidas de óleo de soja cru e diesel como combustível para motores agrícolas. **Ciência rural**, SANTA MARIA, v.37, n.5, p.1329-1335, 2007.

STI/MIC. **Produção de Combustíveis Líquidos a Partir de Óleos Vegetais**. Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comercio, STI/MIC, Brasília, 1985. p.195-222.

VARDE, K.S. Soy oil sprays and effects on engine performance. **Transactions of the ASAE**, v. 27, n. 02, p. 326-330, 1984.

VAN GERPEN, J. **Conceitos básicos sobre motores diesel e seus combustíveis**. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E Blücher, p. 19-28, 2006.

VAN GERPEN, J. *et all*. **Produção de biodiesel**. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E Blücher, p. 29-45, 2006.

VILLAMUELAS, M.C. Combustibles de origen biológico para motores agrícolas. Madrid, España : **John Deere Publications**, p. 183-185, 1994

WUST, E.; **Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos**. Blumenau, SC; FURB, 2004. 113f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Ambiental)-Universidade Regional de Blumenau. Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau.

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