

WAGNER DA CUNHA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE CUSTOS DA UTILIZAÇÃO DO ÓLEO
DE PINHÃO-MANSO EM TRATOR AGRÍCOLA

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S618a
2012

Siqueira, Wagner da Cunha, 1982-

Avaliação técnica e de custos da utilização do óleo de
pinhão-mansão em trator agrícola / Wagner da Cunha Siqueira.

– Viçosa, MG, 2012.

xiii, 65f. : il. ; (algumas color.) ; 29cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 59-65.

1. Tratores agrícolas. 2. Óleos vegetais como combustível.
3. Pinhão-mansão. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.


CDD 22. ed. 631.372

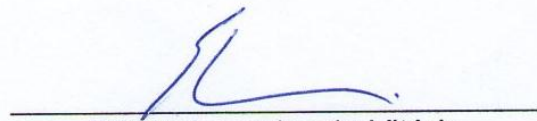
WAGNER DA CUNHA SIQUEIRA

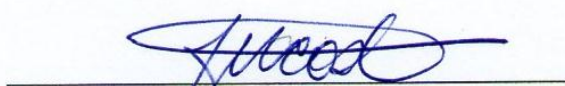
AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE CUSTOS DA UTILIZAÇÃO DO ÓLEO
DE PINHÃO-MANSO EM TRATOR AGRÍCOLA

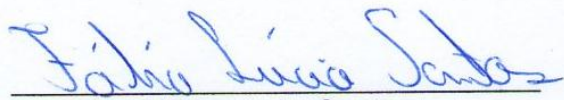
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

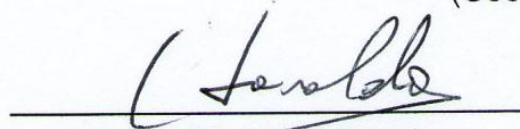
APROVADA: 20 de dezembro de 2012.


Denílson Eduardo Rodrigues


Edney Leandro da Vitória


José Márcio Costa


Fábio Lúcio Santos
(Coorientador)


Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

DEDICO

À Deus, fonte da vida;

aos meus pais, Luiz Carlos Siqueira e Leila da Cunha Siqueira;

à minha irmã Cínara e ao meu cunhado Abner José;

**à minha esposa, Selma Alves Abrahão, pela ajuda no
desenvolvimento do trabalho realizado;**

aos amigos, pelas alegrias e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

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

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

À minha esposa, Selma, pela ajuda, atenção e carinho.

Aos coorientadores, pelas sugestões e apoio, e aos demais professores da Universidade Federal de Viçosa, que acreditaram neste 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 deste trabalho.

Aos amigos do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em especial aos colegas de curso, Paula Rinaldi, Edney Leandro, Flávio Longui, Marconi Furtado, Cleyton Alvarenga, Marcos (Barba), Robson (Japa), André Quirino, Rafael, Denis, Gracyelly Alcantara, Frederico Martins e Geice.

Aos amigos Rafael Rigolon e Thaís Rigolon.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - *Campus Cáceres*, pelo apoio na conclusão deste trabalho.

À 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, nasceu em três de março de 1982, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Em maio de 2007, concluiu o curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (Ufla).

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

Em agosto de 2010, ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de Doutorado, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese em Dezembro de 2012.

Em 2010, foi professor substituto no IFMG - *Campus* São João Evangelista.

Em 2011, assumiu o cargo de professor efetivo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - *Campus* Cáceres, aonde atua como dirigente de pesquisa e ministra disciplinas para os cursos de Engenharia Florestal e Tecnologia em Biocombustíveis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Combustíveis	4
3.2. O pinhão-manso	5
3.3. Utilização de combustíveis alternativos ao óleo Diesel.....	7
3.4. Determinação das propriedades físico-química das misturas.....	9
3.5. Avaliação de motores	16
3.6. Tomada de Potência (TDP).....	17
3.7. Custos operacionais	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Combustíveis Utilizados.....	19
4.2. Determinação das propriedades físico-químicas	20
4.3. Avaliação do trator	22
4.3.1.1. Potência.....	24
4.3.1.2. Torque.....	24
4.3.1.3. Consumo horário de combustível	25
4.3.1.4. Consumo específico de combustível	25
4.3.1.5. Reserva de torque	25
4.3.1.6. Aplicação do fator de correção	26
4.4. Análise estatística	26
4.5. Análise dos custos operacionais.....	27
4.5.1.1. Depreciação (D).....	28
4.5.1.2. Juros (J).....	28
4.5.1.3. Alojamento e seguros (AS).....	29

4.5.2.1. Combustível.....	29
4.5.2.2. Lubrificantes	30
4.5.2.3. Reparos e manutenção	31
4.5.2.4. Salário do operador	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1. Massa específica do combustível	32
5.2. Temperaturas do óleo combustível no sistema de alimentação de combustível do trator.....	33
5.3. Índice de viscosidade do combustível	37
5.4. Poder calorífico do combustível	39
5.5. Teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas, e estabilidade oxidativa das misturas de combustíveis	39
6. CONCLUSÃO.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reação da determinação do índice de acidez.	14
Figura 2. Planilha para ensaio na tomada de potência (FERNANDES, 2003)..	24
Figura 3. Comportamento da massa específica das misturas em função da temperatura do combustível.....	32
Figura 4. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 100% OD.	34
Figura 5. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM.	34
Figura 6. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 50% OD e 50% OPM.	35
Figura 7. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM.	35
Figura 8. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 100% OPM.	36
Figura 9. Índice de viscosidade cinemática das diferentes misturas em função da temperatura do combustível.....	37
Figura 10. Curvas de potência para diferentes misturas de combustível em função da rotação do motor.	43
Figura 11. Comportamento da mistura com a proporção que apresenta maior potência em função da rotação da TDP.	44
Figura 12. Curvas de torque para as diferentes misturas de combustível em função da rotação do motor.	46
Figura 13. Comportamento da mistura com a proporção que apresenta maior Torque em função da rotação da TDP.....	46

Figura 14. Curva do consumo específico para as diferentes misturas de combustível em função da rotação da TDP.....	48
Figura 15. Comportamento da mistura com a proporção que apresenta menor consumo específico de combustível em função da rotação da TDP.	49
Figura 16. Porcentagem dos componentes do Custo fixo.	52
Figura 17. Variação do custo com relação ao primeiro ano.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos utilizados para análises do teor de água, Cinzas sulfatadas, Índice de acidez e estabilidade oxidativa	22
Tabela 2. Estimativa do custo do combustível cada mistura avaliada.....	30
Tabela 3. Modelos gerados para a estimativa da massa específica (g ml^{-1}) das misturas	32
Tabela 4. Modelo para a estimativa da viscosidade (cSt) das misturas	37
Tabela 5. Influência da temperatura na viscosidade do combustível	38
Tabela 6. Análise do Poder Calorífico das misturas	39
Tabela 7. Análise do Teor de água, Índice de acidez, Cinzas sulfatadas, e estabilidade oxidativa.....	40
Tabela 8. Médias de potência (kW) em cada uma das misturas de combustível	43
Tabela 9. Médias do torque para diferentes misturas de combustível	45
Tabela 10. Médias do consumo específico para diferentes misturas de combustível.....	47
Tabela 11. Valores utilizados nos cálculos do custo operacional	51
Tabela 12. Custo fixo operacional do trator Agrícola.....	51
Tabela 13. Estimativa dos custos variáveis para mistura com 100% OD e 0% OPM em função das cargas aplicadas	53
Tabela 14. Custo total em 5 anos para cada mistura e para cada carga aplicada	55
Tabela 15. Porcentagem da variação dos valores em relação ao custo quando se utiliza 100% OD e 0% OPM como combustível	56

RESUMO

SIQUEIRA, Wagner da Cunha, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2012. **Avaliação técnica e de custos da utilização do óleo de pinhão-mansão em trator agrícola.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Fábio Lúcio Santos e Mauri Martins Teixeira.

A utilização de óleos vegetais *in natura* pode ser viável, tomando-se alguns cuidados, 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. Diante disso, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de realizar uma avaliação técnica e de custos da utilização do óleo de pinhão-mansão em trator agrícola. Para a realização das avaliações foram utilizadas misturas de OD com OPM nas proporções de: 100% OPM; 25% OD e 75% OPM; 50% OD e 50% OPM; 75% OD e 25% OPM; 100% OD. O trabalho constituiu em determinar a massa específica e a temperatura das misturas de OD e OPM no sistema de alimentação de combustível, o índice de viscosidade e o poder calorífico das diferentes misturas utilizadas. Foram analisados o teor de água, o índice de acidez, as cinzas sulfatadas e a estabilidade oxidativa das diferentes misturas utilizadas. Por meio de ensaios dinamométricos, foi avaliado o desempenho do trator trabalhando com as diferentes misturas de combustível por 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. Após análise de desempenho, foi realizada a análise do custo horário do trator agrícola na substituição do óleo Diesel pela mistura de combustível. Concluiu-se neste trabalho que ocorre uma tendência na redução da temperatura do sistema de alimentação de combustível à medida que se aumenta a concentração de OPM. Quando a temperatura foi elevada para 90 °C, a viscosidade de todas as misturas testadas tendeu a se aproximar da faixa de viscosidade exigida pela ANP n° 7 de 2008. O poder calorífico mais próximo ao do óleo Diesel foi encontrado para mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM. Para o teor de água, somente as misturas com proporção de 75% OD e

25% OPM e com 100% OD atenderam ao valor limite estabelecido pela ANP nº 7 de 2008. O óleo de pinhão-manso utilizado apresentou valores do índice de acidez acima do limite estabelecido pela ANP nº 7 de 2008. As misturas analisadas apresentaram valores de cinzas sulfatadas dentro do limite permitido, conforme a resolução ANP nº 7 de 2008. A estabilidade oxidativa não seguiu uma ordem crescente de valores quando se aumenta a misturas de OD com OPM. A potência máxima encontrada, 31,93 kW, foi verificada na mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM. A mudança de combustível provocou variação no consumo específico e no torque do motor para todas as misturas em estudo, à reserva de torque foi de 1,75%, mantendo na classificação ruim. À medida que se aumenta a carga aplicada e o aumento da concentração de OPM nas misturas, ocorre diminuição dos valores (custos), demonstrando uma economia no custo em cinco anos da vida útil do trator.

ABSTRACT

SIQUEIRA, Wagner da Cunha, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2012. **Technical evaluation and cost of using jatropha oil in agricultural tractor**. Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisers: Fábio Lúcio Santos and Mauri Martins Teixeira.

The use of vegetable oils in nature may be feasible, taking a few precautions and making some adjustments to the engine in order to improve the fuel injection or mixed with diesel oil in proportions that should be studied. Therefore, this study was conducted in order to Technical evaluation and cost of using jatropha oil in agricultural tractor. To carry out the evaluations were used mixtures of OD with OPM in the proportions: 100% OPM; 25% OD e 75% OPM; 50% OD e 50% OPM; 75% OD e 25% OPM; 100% OD. The study is to determine the density and temperature of the mixed OD and OPM on the fuel supply system, the Viscosity Index and calorific value of the different mixtures used. We analyzed the water content, acid value, sulphated ash and oxidative stability of different mixtures used. Through dynamometer tests evaluated the performance of the tractor, working with the different fuel mixtures through a test in making power (TDP) determining curves of horsepower, torque, fuel consumption and specific fuel consumption, depending on the engine speed. After performance analysis was conducted the analysis of the hourly cost of tractor replacement of diesel oil in the fuel mixture. The main conclusions of this work were: Occurs a tendency to reduce system temperature fuel supply as it increases the concentration of OPM. When the temperature was raised to 90 °C the viscosity of all mixtures tested, tended to approach the viscosity range required by ANP n° 7 and 2008. The power calorific value closer to that of diesel oil was found to mix with porportions with of 75% OD and 25% OPM. To the water content, only the mixtures containing proportions of 75% OD and 25% OPM and 100% OD met the threshold value established by ANP No. 7, 2008. The jatropha oil used had index values of acidity above the limit established by ANP n° 7 of 2008. The mixtures analyzed showed sulphated ash values within the allowable limit, according to ANP Resolution n°. 7 of 2008 . The oxidative

stability did not follow an order of increasing values when increasing the OD mixed with OPM. The maximum found, 31.93 kW, was found in the mixture with a proportions of 25% OD and 75% OPM. The change of fuel caused variation in the specific consumption and engine torque. For all mixtures studied, the torque reserve was 1,75%, keeping the bad rating As it increases the load applied and the increasing concentration of the mixtures OPM, a decrease values (cost) showing a savings in cost over five years of useful life of the tractor.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de energias alternativas ao petróleo e seus derivados, tem ganhado 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.

Desde o surgimento do movimento ambientalista e, principalmente, após a crise do petróleo da década de 1970, vem-se discutindo alternativas energéticas em substituição às fontes de origem fóssil. Nesse sentido, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Pro-álcool), com o objetivo de incentivar a produção e o consumo de álcool como combustível no Brasil. Da mesma forma, a produção e o consumo de biodiesel no Brasil foram determinados por meio da Medida Provisória nº. 214/2004, convertida na Lei nº. 11.097/2005. Essa lei, contida no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), pode ser considerada como um marco na história do biodiesel no Brasil, uma vez que, a partir da sua elaboração, o biodiesel encontrou sustentação jurídica na legislação brasileira.

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*.

A utilização de óleos vegetais em substituição ao óleo Diesel tem apresentado resultados satisfatórios, sendo as formas mais usuais são o Biodiesel e o óleo vegetal *in natura* (bruto, refinado e degomado).

Os óleos são extraídos de diferentes tipos de sementes, 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.

Neste contexto, a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que contemplem estudos sobre a viabilidade da utilização de fontes de oleaginosas não comestíveis, a exemplo de *Jatropha curcas L.* (pinhão-mansão), *Crambe Hochst abyssinica* (crambe), *Licania rigida Benth* (oiticica), *Ricinus communis* (mamona), *Carapa guianensis Aubl.* (andiroba), dentre outras, pode ser uma

alternativa a substituição ao óleo Diesel, aliado ao desenvolvimento na área de biotecnologia, pleiteando o melhoramento do perfil genético de algumas espécies, em especial a produtividade por hectare plantado.

Deve-se considerar ainda a grande diversidade de opções de oleaginosas para produção de biocombustíveis, tais como *Elaeis guineensis* N. (dendê) e *Orbignya phalerata* (babaçu) na região norte, *Glycine max* (soja), *Helianthus annuus* (girassol) e *Arachis hipogaea* (amendoim) nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, e no semiárido nordestino, *Ricinus communis* (mamona) e *Jatropha curcas* L. (pinhão-manso), destacam-se também como alternativa às demais regiões do país. Além destas, as oleaginosas *Mauritia flexuosa* L. (buriti), *Caryocar brasiliense* Camb (pequi), *Crambe Hochst Abyssinica* (crambe), *Licania rigida* Benth (oiticica), *Sesamum indicum* (gergelim), *Carapa guianensis* Aubl (andiroba), dentre outras, vêm sendo investigadas em suas propriedades físico-químicas, reológicas e de resistência à degradação térmica e oxidativa, direcionadas a produção de biocombustível.

A utilização de óleos vegetais *in natura* pode ser viável, tomando-se alguns cuidados, 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.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Objetivou-se com este trabalho realizar uma avaliação técnica e de custos da utilização do óleo de pinhão-manso em trator agrícola.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinação das propriedades físico-químicas (massa específica, índice de viscosidade, poder calorífico, teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas e estabilidade oxidativa e temperatura no sistema de alimentação de combustível) das diferentes misturas de combustível.
- ✓ Avaliar o desempenho do motor empregado em um trator agrícola, trabalhando-se com as diferentes misturas de combustível, por meio de um ensaio dinamométrico na tomada de potência (TDP);
- ✓ Analisar o custo horário do trator agrícola na substituição do óleo Diesel pelas misturas de combustível (OD com OPM).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Combustíveis

O petróleo é uma das principais fontes de energia disponíveis 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 e 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, mas 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).

O óleo vegetal utilizado em estado puro nos motores acionados a óleo Diesel tem como base a mesma matéria-prima utilizada na composição do biodiesel. Fuchs (2006) enfatiza que é reconhecido que o progresso mundial acelerou-se a partir da invenção dos motores a combustão. O que poucos lembram é que o tipo de motor “a Diesel”, inventado pelo alemão Rudolf Diesel, foi originalmente concebido para funcionar com óleo de origem vegetal.

Algumas culturas oleaginosas, que resultam em óleo vegetal, causam impactos mínimos e a conciliação de culturas diferentes sob o âmbito da sazonalidade beneficia o processo de troca de nutrientes. Castro Neto (2006) relata que “culturas como girassol e nabo forrageiro, por exemplo, proporcionam ótimo melhoramento químico e físico dos solos elevando significativamente a produtividade”.

Fuchs (2006) defende o cultivo de oleaginosas para a produção de combustível vegetal puro para melhor preservação dos solos, além da

utilização do óleo combustível como alimento e da mitigação dos impactos ambientais.

Após o processo de extração do óleo vegetal, o resíduo restante na prensa também é aproveitado. No processo de prensagem de diversas oleaginosas para a extração do óleo subproduto resultante, geralmente, são tortas altamente calóricas e com teores de proteínas acima de 20%, portanto, de grande valor na alimentação animal principalmente de bovinos (CASTRO NETO, 2006).

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.

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).

Recentemente, foi constatado que as sementes do pinhão-manso produzem um óleo de excelente qualidade, superior ao óleo de mamona e semelhante ao Diesel, podendo ser usado como combustível (BANAPURMATH et al., 2008; SIRISOMBOONA et al., 2007) em motores movidos a óleo Diesel, em proporções que variam de 20 até 30%, ou usado puro após transesterificação. Ensaio feitos com o óleo extraído do pinhão-manso, comparando-o com o Diesel, indicaram bons resultados. Num motor Diesel, para gerar a mesma potência, o consumo de óleo de pinhão-manso foi 16,1% maior, o ruído mais suave e a emissão de fumaça semelhante (PINHÃO-MANSO, 2012).

3.2. O pinhão-manso

O pinhão-manso (*Jatropha curcas Linnaeus*) é um arbusto originário da América Latina, pertencente à família *Euphorbiaceae*, que é cultivada no México, Bolívia, Peru, Brasil, nos continentes Asiático, principalmente na Índia, e Africano (TAPANES et al., 2008; ACHTEN et al., 2008). É uma planta versátil,

com grande potencial de uso, sendo o óleo de sua semente o seu produto mais valioso (OPENSHAW, 2000). As principais vantagens do cultivo racional do pinhão-mansão são o baixo custo de produção e a boa adaptação às condições áridas e semiáridas, crescendo também em solos moderadamente salinos, degradados e que sofreram erosão (SARIN et al., 2007). Além disso, como é uma cultura perene, pode ser utilizado na conservação do solo, cobrindo-o com uma camada de matéria seca, reduzindo, dessa forma, a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta (PINHÃO MANSO, 2012).

O pinhão-mansão é um arbusto grande de crescimento rápido, que pode atingir de dois a três metros de altura, mas, em boas condições de manejo chega a atingir cinco metros e uma vida produtiva de quarenta anos, em média (ACHTEN et al., 2008; SARIN et al., 2007). Seu tronco pode atingir vinte centímetros de diâmetro, e suas raízes são curtas e pouco ramificadas. Sua floração é monoica com flores masculinas e femininas na mesma planta. Seu fruto é do tipo capsular ovoide e trilobular, cujo diâmetro pode atingir três cm, formado por pericarpo que inicialmente é da cor verde passando a amarelo e castanho em seguida à medida que passa pelo ciclo de maturação. Essa maturação é atingida de dois a quatro meses, após seu crescimento (ACHTEN et al., 2008). O fruto é constituído de 53 a 62% por sementes e de 38 a 47% de casca (pericarpo) (SATURNINO, 2005).

A semente é relativamente grande, medindo de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e até 1,3 cm de largura, quando secas. Possui albúmen abundante provido de dois cotilédones achatado e oleaginoso. Dependendo da variedade e das condições de cultivo, a semente que geralmente pesa de 0,5 a 0,8 gramas, pode apresentar cerca de 40% de casca e 60% de albúmen.

Atualmente, essa espécie não é explorada comercialmente no Brasil, mas vem sendo pesquisada amplamente por ser uma oleaginosa viável para a obtenção do biodiesel, pois produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que pode se estender por quarenta anos (FREIE, 2009).

O emprego direto de óleos vegetais em motores de combustão interna, apesar de experimentado desde o advento do motor a 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).

A avaliação da qualidade de óleos vegetais, bem como do biodiesel, são de extrema relevância e requer a determinação de suas propriedades físicas e químicas como: massa específica, viscosidade, teor de água, acidez, cinzas sulfatadas e estabilidade oxidativa.

3.3. Utilização de combustíveis alternativos ao óleo Diesel

Estudos estão sendo realizados utilizando o conjunto trator equipamento para avaliar os seus desempenhos de funcionamento em conjunto com combustível convencional (óleo Diesel). Dada à necessidade de novas alternativas para essa fonte finita de energia os testes com combustíveis alternativos tornaram-se muito importantes.

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 de 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. O autor constatou um aumento nos valores de potência, torque e consumo específico nos valores de 19, 16 e 15%, respectivamente.

Avaliando o desempenho de um trator agrícola, Siqueira (2010) utilizou misturas de óleo Diesel (OD) com óleo de soja reutilizado (OSR), e observou uma potência máxima de 34,10 kW para uma mistura de 25% de OD e 75% de OSR, sendo que as misturas com maiores teores de OSR apresentam maior consumo em relação ao OD. O autor afirma que, o OSR mostrou-se uma alternativa viável para ser utilizado em misturas com OD para acionamento de motores.

Vitória et al. (2012) estudando o desempenho comparativo de um motor ciclo Diesel alimentado com misturas de óleo Diesel (OD) e biodiesel de pinhão-manso (OPM), constataram que houve interação significativas entre as

misturas avaliadas, sendo que a mistura de 50% OD com 50% OPM apresentou menor valor em relação ao das demais misturas avaliadas.

Prateepchaikul e Apichato (2003) avaliaram o desempenho e a 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 após 50 horas de operação e, posteriormente, a cada 500 horas, para análise dos componentes. 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.

Mazieiro e Corrêa (2007) ao avaliaram um motor MWM D229 de um trator Valmet, modelo 68, alimentado com óleo Diesel durante as 50 primeiras horas e depois exclusivamente com óleo bruto de girassol. Os autores verificaram redução de 7,10 a 10,10% da potência na tomada de potência e aumento de 13,90 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, conseqüentemente, formação de depósitos nos bicos e cabeçotes, que levaram à redução do desempenho e da durabilidade do motor.

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, com misturas de óleo vegetal e Diesel, Inoue (2008) verificou que não houve diferenças de desempenho nos ensaios dinamométricos 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.

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.

3.4. Determinação das propriedades físico-química das misturas

3.4.1. Massa específica

A 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 (SIQUEIRA, 2010).

Os motores são projetados para operar com combustíveis em uma determinada faixa de massa específica, tendo em vista que a bomba injetora dosa o volume injetado. Variações na massa específica 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).

3.4.2. Temperatura no sistema de alimentação de combustível

O ponto de névoa é a temperatura, expressa em número inteiro, na qual se inicia a cristalização ou a separação de parafinas, evidenciada com o aparecimento de névoa ou turvação no fundo do tubo de ensaio, quando a amostra é resfriada sob determinadas condições. Quando essa propriedade não é observada, sob condições de baixa temperatura, pode ocasionar entupimento de filtros e tubulações, restringindo o suprimento de combustível ao motor (LAGE e FERRARI, 1993). Os óleos vegetais *in natura* possuem ponto de névoa entre 10 e 31 °C, o óleo Diesel a 1 °C e o biodiesel entre 6 e 8 °C (COSTA NETO et al., 2000; DUNN, 2005).

Tanto o ponto de fluidez como o de névoa do biodiesel varia segundo a matéria-prima que lhe deu origem, e ainda, a do álcool utilizado na reação de transesterificação. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambiente em que o combustível deve ser armazenado para posterior uso (PARENTE, 2006).

O sistema de alimentação do motor sofre influência negativa do ponto de névoa do combustível, principalmente quando o motor é acionado sob condições de baixa temperatura. Como o ponto de névoa corresponde à temperatura inicial de cristalização do óleo combustível, é preferível um ponto de névoa ou de cristalização baixo. Uma maneira de contornar o problema é o preaquecimento do óleo, que pode ser feito por meio da própria água de arrefecimento do motor ou da diluição com outros óleos insaturados.

3.4.3. Viscosidade

Viscosimetria é um segmento da mecânica dos fluidos que consiste na prática experimental de medir a resposta reológica dos fluidos ao escoamento pela gravidade. O controle da viscosidade visa garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção das bombas de combustíveis (MAIA et al., 2006).

Os principais fatores que afetam a medida da viscosidade são: natureza físico-química do líquido, a composição da mistura, temperatura, pressão, taxa de cisalhamento, tempo e campo elétrico (BARNES et al., 1991).

Conforme Fox et al. (2006), a viscosidade é a propriedade do fluido que indica a resistência à 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.

A viscosidade, ponto de fusão, ponto de névoa e fluidez dos óleos são afetados com o comprimento das cadeias carbônicas dos triglicerídeos, pois essas propriedades são diretamente proporcionais ao tamanho das cadeias carbônicas desses compostos. No entanto, à medida que aumenta o número de instaurações ocorre uma diminuição nos valores dessas propriedades (FREIRE, 2009).

Os óleos vegetais têm sido bastante aceitos e utilizados na produção do biodiesel, apesar de algumas dificuldades que surgiram inicialmente devido à viscosidade natural desses óleos e ao baixo poder de ignição desse material. Algumas de suas vantagens como combustível em relação ao Diesel são: alto

valor energético, baixo conteúdo de enxofre e de compostos aromáticos, além do fato de serem biodegradáveis e renováveis (FANGRUI; HANNA, 1999).

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).

O alto valor de viscosidade do óleo vegetal, em relação ao óleo Diesel comercial, é um dos principais motivos que não permitem a utilização dos óleos vegetais *in natura* como combustível. Sendo assim, um dos principais objetivos do processo de transesterificação são a redução da viscosidade dos óleos vegetais e gorduras a valores próximos a viscosidade do Diesel. De acordo com Lotero et al. (2006), a viscosidade cinemática do óleo Diesel, a 40 °C, deve estar entre 1,9 e 4,1 cSt.

Bosch (2005) observou 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.

Segundo Forson (2004) e Inoue (2008), uma forma de reduzir a viscosidade do combustível óleo vegetal é misturá-lo com certa proporção de combustível para motores Diesel, em volume ou pré-aquecendo o óleo vegetal antes de ser admitido à câmara de combustão.

Para Kaltner (2004), os principais problemas no uso de óleos vegetais nos motores Diesel são: a dificuldade de partida a frio em razão da elevada viscosidade dos óleos vegetais; a formação de gomas nos bicos injetores; o desgaste dos componentes da bomba injetora devido à acidez do óleo; e a

formação de depósitos de carvão na câmara de combustão, nos cilindros e nas válvulas.

Para utilizar totalmente o óleo vegetal como combustível, é necessário reduzir a sua viscosidade por meio de aquecimento. Este aquecimento pode ser feito por meio de resistência elétrica instalada no reservatório de combustível, cujo sistema é comercializado em alguns países da Europa, ou por outros sistemas adaptados ao motor que utilizam como fonte de calor os fluidos do sistema de arrefecimento e dos gases de escape (INOUE, 2008).

Para Siqueira (2010), a utilização de óleos vegetais *in natura* pode ser viável na forma pura, tomando-se alguns cuidados e realizando-se 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.

3.4.4. Poder calorífico

O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida por unidade de massa, ou seja, representa a quantidade de energia contida em um quilograma de combustível quando ele é queimado. No caso de combustível de motores, a queima significa a combustão no funcionamento do motor (JARA, 1989).

De acordo com Regulamento Técnico ANP nº. 3, anexo da Portaria ANP nº. 128, de 28 de agosto de 2001, o poder calorífico pode ser superior e inferior, sendo definido como: “Poder Calorífico Superior - quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante e, com todos os produtos de combustão retornando à temperatura inicial dos reagentes, sendo que a água formada na combustão está no estado líquido” e; “Poder Calorífico Inferior - quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante e com todos os produtos de combustão retornando à temperatura inicial dos reagentes, sendo que todos os produtos, inclusive a água formada na combustão, estão no estado gasoso”. O poder calorífico superior difere do poder calorífico inferior por meio da entalpia de condensação da água (BRASIL, 2001).

3.4.5. Teor de água

Para Moura (2010), apesar dos óleos apresentarem características de combustível, o mesmo não pode ser usado diretamente como combustível nos motores atuais movidos a Diesel, devido a algumas propriedades como viscosidade, acidez, teor de água e outras.

Segundo Randazzo (2009), a presença deste contaminante (água) é altamente prejudicial ao óleo Diesel, prejudica sua combustão além de acelerar a saturação dos filtros de combustível e provocar danos ao sistema de combustível. No sistema de armazenagem este contaminante tende a se depositar no fundo dos tanques e, se houver a presença de água, favorece a deterioração do óleo Diesel pelo desenvolvimento de colônias de bactérias. O teor de água é determinado pelo método descrito pela norma ASTM D 6304.

O teor de água da matéria-prima utilizada para produção de biodiesel deve ser o menor possível, pois assim como a presença de ácidos graxos livres provoca a formação de reações secundárias, a presença de água no meio reacional provoca a hidrólise dos ésteres formados, aumentando o teor de ácidos graxos livres e, conseqüentemente, aumenta a produção de sabão. De acordo com os autores Ma et al. (1998), Ma e Hanna (1999), Berchmans e Hirata (2008) e Silva Filho (2009), o teor de água deve estar abaixo de 0,06%. Moura (2010) trabalhando na Transesterificação Alcalina de Óleos Vegetais para produção de Biodiesel constatou que o teor de água para o óleo de pinhão-mansão foi de $0,05 \pm 0,01\%$ p/p e para o óleo de fritura foi $0,06 \pm 0,01\%$ p/p e estão de acordo com os valores recomendados.

3.4.6. Índice de acidez

Moura (2010) relata que a presença de ácidos graxos livres nos óleos e gorduras é resultado da reação de hidrólise dos triglicerídeos. Um alto teor de ácidos graxos livres nos óleos e gorduras é um indicador de sua baixa qualidade.

O índice de acidez é definido como a massa (mg) de hidróxido de potássio necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes em um grama de óleo ou gordura. A acidez livre de uma gordura decorre da hidrólise parcial dos glicerídeos, razão pela qual não é uma constante ou característica, mas, sim, uma variável intimamente relacionada com a natureza e a qualidade da matéria-prima, com a qualidade e o grau de pureza da gordura, com o

processamento e com as condições de conservação da gordura (MORETTO; FETT, 1998).

Segundo Freire (2009), a conservação do óleo é indicada pelo índice de acidez, que é definido como a massa de hidróxido de potássio necessária para neutralizar os ácidos livres de 1,0 g da amostra (Figura 1). A decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre, logo a determinação dessa propriedade é relevante, uma vez que, através dela pode-se quantificar a formação de ácidos graxos livres.

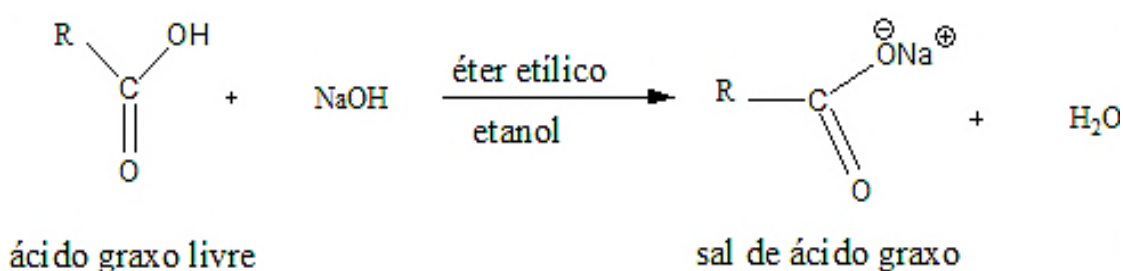


Figura 1. Reação da determinação do índice de acidez.

Os altos índices de acidez têm um efeito negativo no que diz respeito à qualidade do óleo, podendo torná-lo impróprio para a alimentação humana ou até mesmo para fins carburantes. Além disso, a pronunciada acidez dos óleos pode catalisar reações intermoleculares dos triacilglicerídeos, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica e oxidativa do combustível na câmara de combustão (FREIRE, 2009).

3.4.7. Cinzas sulfatadas

Segundo Randazzo (2009), o teor de cinzas corresponde à concentração de resíduos inorgânicos, não combustíveis, apurado após a queima de uma amostra do produto. Esta avaliação visa garantir que os sais ou óxidos metálicos não venham a causar depósitos em uma quantidade que prejudique os pistões e a câmara de combustão.

O controle das cinzas sulfatadas ajuda a minimizar o desgaste na bomba injetora, injetores, pistões e anéis de desgaste e também formação de depósitos no motor que podem ser provocados por abrasivos sólidos e catalisadores não removidos presentes no combustível. Minimiza também o

efeito provocado pelos sabões solúveis metálicos no entupimento de filtros e depósitos na câmara de combustão e deterioração do óleo do cárter (YAZAKI, 2005).

3.4.8. Estabilidade oxidativa

Atualmente, um parâmetro utilizado para atestar a qualidade de óleos e combustíveis é a estabilidade oxidativa, que mede o tempo de resistência da amostra à oxidação (em horas) e é expressa pelo período de indução e o momento em que ocorre um brusco aumento na formação de produtos de oxidação (FERRARI et al., 2005).

Fatores como tipo e teor de ácidos graxos, exposição à radiação ultravioleta, presença de radicais livres e de traços de metais, bem como o contato do óleo ou biodiesel com oxigênio contribuem, significativamente, para a oxidação durante o armazenamento dessas substâncias (KAPILAN et al., 2009).

A oxidação de óleos e ésteres insaturados representa um processo complexo, envolvendo reações entre os radicais livres e o oxigênio molecular com os hidrogênios alílicos e bis-alílicos presentes (RAMOS et al., 2003; KAPILAN et al., 2009).

Durante a degradação oxidativa do biodiesel são gerados diversos compostos, tais como: resinas, peróxidos e hidroperóxidos. Essas espécies químicas causam diversas complicações no sistema de injeção e combustão do motor, uma vez que, tanto a ressignificação como os peróxidos e hidroperóxidos podem polimerizar com outros radicais produzindo sedimentos insolúveis, ácidos de cadeia menores e aldeído, ocasionando maior susceptibilidade a corrosão e, conseqüentemente, diminuir o desempenho e a vida útil dos motores (RAMOS et al., 2003; KAPILAN et al., 2009).

Entretanto, os processos oxidativos podem ser minimizados com a adição de substâncias antioxidantes, uma vez que esses são capazes de bloquear a iniciação e propagação de radicais livres, impedindo ou minimizando a formação de compostos como peróxidos, aldeídos, cetonas, dímeros e polímeros, que são produtos formados por termo - oxidação de óleos e gorduras (FREIRE, 2009).

3.5. Avaliação de motores

3.5.1. 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 a Diesel quando comparado ao motor do ciclo 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 máquinas motrizes 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).

3.5.2. 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.).

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).

3.6. Tomada de Potência (TDP)

3.6.1. Avaliações na Tomada de Potência (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 e
- 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).

3.7. Custos operacionais

O custo em operações com máquinas agrícolas é dividido em custos fixos e operacionais. Os custos fixos são debitados independentemente da utilização da máquina, estando incluídos a depreciação, juros, alojamentos e seguros. Os custos operacionais dependem da quantidade do uso que se faz da máquina, estando incluídos os custos com combustível, manutenção, salários e lubrificantes (INOUE, 2008).

O custo operacional de uma máquina, segundo Harry et al. (1991), é o somatório de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação. O seu conhecimento é uma etapa de fundamental importância para o seu planejamento e o controle de sua utilização. A avaria deste custo é

influenciada, principalmente, pela eficiência operacional e pela jornada de trabalho.

Leite (2012) analisando a avaliação econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas constatou que o custo de manutenção e os reparos foram da ordem de 39,66% tendo, assim, maior representatividade. Em seguida, destacou-se o custo de combustível com 20,03% e a depreciação com 15,31%, respectivamente.

Paula (2011) realizando uma avaliação dos custos de dois modelos de Harvester observou que a maior parte dos custos fixos representa o custo de depreciação da máquina que representou 74,40% dos custos fixos, o autor afirma que os itens mais significativos nos custos variáveis foram os combustíveis e a manutenção e reparos, juntos eles são responsáveis por mais de 50% dos custos variáveis totais.

4. 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). Foi avaliado o desempenho de um trator agrícola de pneus, marca Valmet, modelo 65ID, com as seguintes características técnicas:

- Motor MWM, modelo D225-3TV, quatro tempos, injeção direta, refrigerado a água, camisas úmidas removíveis com três 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;
- Rodagem traseira de 14,9/13-28", seis lonas, rodagem dianteira de 7,5-16", seis lonas;
- Comprimento do trator de 3,02 m, distância entre eixos de 1,94 m, altura da barra de tração de 0,4 m e
- Peso traseiro estático de 166,3 N, peso dianteiro estático de 87,7 N.

O motor do trator foi alimentado por diferentes misturas de óleo Diesel (OD) e óleo de Pinhão-manso (OPM) cedido pela empresa Nòvabra Energia, localizada no município de Colatina - ES.

4.1. Combustíveis Utilizados

Para que o (OPM) pudesse ser utilizado nas misturas com o OD, foram realizados processos de decantação e filtração, com a finalidade de retirar impurezas e partículas indesejáveis.

Inicialmente, o OPM foi recolhido em tambores, permanecendo em descanso para decantação por um período de uma semana. Após este período, o óleo foi filtrado em filtros de pano para a retirada de impurezas, ficando pronto para ser misturado ao óleo Diesel.

Para a realização das avaliações foram usadas misturas de OD com OPM nas seguintes proporções:

100% OPM;

25% OD e 75% OPM;
50% OD e 50% OPM;
75% OD e 25% OPM;
100% OD.

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

4.2. Determinação das propriedades físico-químicas

4.2.1. Determinação da massa específica do combustível

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

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

A determinação da massa específica iniciou-se com a pesagem do óleo (misturas) e a 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 ocorreram 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. Este procedimento foi repetido para todas as amostras.

4.2.2. Temperatura das misturas de óleo Diesel com óleo de pinhão-manso no sistema de alimentação de combustível

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 medias no sistema de alimentação de combustível, foram utilizados quatro termopares do tipo K instalados no tanque de combustível, na entrada e saída da bomba injetora e na entrada do bico injetor,

sendo as leituras efetuadas por um termômetro digital conectado a um sistema de aquisição de dados.

4.2.3. Determinações do índice de viscosidade do combustível

Analisou-se a viscosidade de diferentes misturas de OD e OPM utilizando-se um viscosímetro de orifício do tipo Saybolt.

Para a determinação da viscosidade foram utilizadas amostras nas proporções descritas no item 4.1. A conversão da unidade da viscosidade de Segundos Universais Saybolt (SUS) para a Viscosidade Cinemática (Centistokes) foi realizada por meio do Nomograma (BARGER et al., 1966), posteriormente, foram confrontadas com a Portaria ANP 310 (2001) e ANP n° 7 (2008).

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 de combustível em pré-testes realizados antes dos ensaios.

4.2.4. 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.

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

em que

P_c = Poder calorífico (kcal kg⁻¹);

C = Constante do aparelho, 2577,98;

ΔT = Variação da temperatura (°C);

C₁ = Energia liberada pelo fio Níquel Cromo (cal);

C₂ = Energia liberada pelo ácido carbônico produzido após a queima (cal);

M = Massa do produto (g).

4.2.5. Análise do teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas e estabilidade oxidativa

As análises do teor de água, índice de acidez e cinzas sulfatadas foram realizados pelo Laboratório da Central Analítica de Combustíveis (CEANC), localizado na Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). As análises seguiram as normas que estão demonstradas na Tabela 1. A análise de estabilidade oxidativa foi realizada no Laboratório de Melhoramento, Biotecnologia e Pós-colheita do Departamento de Fitotecnia, pertencente à Universidade Federal de Viçosa. O método utilizado para a obtenção está indicado na Tabela 1.

Os resultados das análises do teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas e estabilidade oxidativa foram confrontados com a resolução da ANP nº 7 de 2008.

Tabela 1. Análises do teor de água, Cinzas sulfatadas, Índice de acidez e estabilidade oxidativa

Característica	Método
Teor de água (mg kg ⁻¹)	ASTM D 6304
Índice de acidez (mg KOH g ⁻¹)	ASTM D 664
Cinzas sulfatadas (% massa)	ABNT NBR 6294
Estabilidade oxidativa (horas)	EN 14112

4.3. Avaliação do trator

4.3.1. 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.

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

Para a realização das avaliações, além do dinamômetro, foi utilizado um fluxômetro de combustível com capacidade para 1.000 mL, um tacômetro digital e de contato, cronômetro digital e uma célula de carga acoplada ao dinamômetro com capacidade máxima de 2,5 kN para obter maior precisão das cargas aplicadas pelo dinamômetro. 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 cinco minutos de funcionamento do motor com óleo Diesel puro para aquecimento. Para as misturas com algum percentual de OPM, seguiu-se por mais cinco 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 cinco minutos com óleo Diesel puro, a fim de evitar formação de gomas e entupimentos.

Na avaliação, foram coletados dados da rotação do motor, da carga aplicada pelo dinamômetro, do consumo de combustível e da variação de temperatura no sistema de alimentação de combustível e de arrefecimento do motor. Foram realizadas cinco repetições para cada mistura de combustível.

Para cada carga aplicada pelo dinamômetro, esperou-se 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 três minutos de funcionamento do trator. Durante esse intervalo de tempo foram coletados os dados descritos anteriormente.

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 2.

Trator Ensaiado: Valmet 65id -														
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 lbf	Rot. rpm	Cons. mL / 3 min	Pot kW	Cons. hor. L / h	Torque Nm	Cons. Esp. g / kWh	Q g/s	Vaz comb. (g)	fm	Fator correção	Potência kW	Cons. Esp. g / kWh	Torque Nm
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														

Figura 2. Planilha para ensaio na tomada de potência (FERNANDES, 2003).

4.3.1.1. Potência

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

$$P = k.F.n.0,746 \quad (2)$$

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.

4.3.1.2. Torque

Para determinação do torque do motor utilizou-se a Equação 3.

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

em que

T = torque do motor (mN);

P = potência do motor (kW) e

n = número de rotações por minuto (rpm).

4.3.1.3. Consumo horário de combustível

Para a determinação do consumo horário de combustível do motor utilizou-se a Equação 4.

$$Ch = \frac{60.C}{3000} \quad (4)$$

em que

Ch = consumo horário de combustível (l h⁻¹);

C = consumo de combustível (ml min⁻¹).

4.3.1.4. Consumo específico de combustível

Para a determinação do consumo específico de combustível do motor utilizou-se a Equação 5.

$$Ce = \frac{Ch.D}{P} \quad (5)$$

em que

Ce = consumo específico de combustível (g kW⁻¹ h⁻¹);

Ch = consumo horário de combustível (l h⁻¹);

D = densidade do combustível (g l⁻¹);

P = potência do motor (kW).

4.3.1.5. Reserva de torque

Um motor com maior reserva de torque é desejável para que o motor não perca rendimento quando submetido a sobrecargas momentâneas. A reserva de torque é geralmente expressa como uma porcentagem do torque à rotação nominal. Para um motor ter no mínimo uma reserva de torque razoável, deve estar entre $R_t > 15\%$ (bom), $10\% < R_t < 15\%$ (regular) e $R_t < 10\%$ (ruim), conforme relatado por Mialhe (1996).

Para o cálculo da reserva de torque do motor foi utilizada a Equação 6.

$$R_t = \frac{T_{\max} - T_{\text{Pot.max}}}{T_{\text{Pot.max}}} \quad (6)$$

em que

R_t = Reserva de torque (%);

T_{max} = Torque máximo (N m);

$T_{pot.max}$ = Torque relativo à potência máxima (N m).

4.3.1.6. 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 “Kd”. Este procedimento está contido na planilha eletrônica para ensaio na TDP (FERNANDES, 2003), representada na Figura 2.

4.4. Análise estatística

4.4.1. Análise da massa específica e viscosidade das misturas

O efeito das temperaturas sobre as características massa específica ($g mL^{-1}$) e viscosidade (cSt) das misturas foi avaliado por meio da análise de regressão, com nível de significância de 5%. Foram analisados modelos lineares de primeiro grau, não foram testados modelos superiores ao primeiro grau, por estes não representarem o fenômeno estudado.

4.4.2. Delineamento experimental e análise do ensaio dinamométrico

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, no esquema em parcelas subdivididas, em que o fator Misturas de (OD) e (OPM) com cinco níveis, 100% OPM, 25% OD e 75% OPM, 50% OD e 50%OPM, 75% OD e 25% OPM, 100% OD foi designado às parcelas e o fator carga com sete níveis, 44,5; 289; 533; 778; 1023; 1267 e 1289 N foram designados às subparcelas.

De acordo com a norma NBR 5484 (1985), as cargas não foram sorteadas, e sim aplicadas de forma crescente. Desta forma, soube-se qual a ordem de execução das primeiras sete avaliações do experimento, variando as

cargas segundo a sequência de 44,5; 289; 533; 778; 1023; 1267 e 1289 N (10, 65, 120, 175, 230, 285, 290 lbf).

Para a análise estatística das características avaliadas, Potência (kW), Torque (N.m) e Consumo específico ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$), calculou-se as médias dos níveis dos fatores obtidos nas cinco repetições.

As médias dos níveis provenientes do fator qualitativo, Misturas de óleo Diesel e pinhão-manso, foram submetidas a uma análise de variância e comparadas pelo teste de Tukey, usando o nível de 5% de probabilidade.

Para o estudo do efeito das Cargas, foi realizada uma análise das curvas características da Potência (kW), do Torque (N.m) e do Consumo específico ($\text{g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$), obtidas pela planilha para ensaio da TDP (FERNANDES, 2003).

4.5. Análise dos custos operacionais

Com o intuito de realizar a composição do custo operacional da utilização das misturas de combustível na tentativa de verificar a viabilidade do uso foi obtido o somatório dos custos fixos e variáveis que foram expressos em Reais (R\$) e Dólar (US\$) utilizando a taxa de câmbio, Dólar (R\$ 2,04) de 08 de Janeiro de 2013. Os custos foram estimados pela metodologia proposta pela Embrapa (PACHECO, 2000).

Nesta metodologia, o custo operacional de máquinas agrícolas é normalmente dividido em dois componentes principais: custos fixos e custos variáveis. Assim o custo final obtido, foi o somatório do custo de maquinário (custos fixos e variáveis), Equação 7.

$$CT = CF + CV \quad (7)$$

em que

CT = Custo Total;

CF = Custos fixos;

CV = Custos variáveis.

4.5.1. Custos fixos (CF)

Os custos fixos são aqueles que devem ser debitados, independentemente da máquina ser usada ou não, daí o fato de ser também

chamados de custos de propriedade. Entre os custos fixos são incluídos: depreciação (D), juros (J), alojamento e seguros (AS).

4.5.1.1. Depreciação (D)

A depreciação refere-se à desvalorização da máquina em função do tempo, seja ela utilizada ou não. Neste trabalho foi utilizado o método da linha reta e o valor de aquisição utilizado foi o valor correspondente ao modelo e ao ano de fabricação do trator.

A depreciação é estimada conforme a Equação 8

$$D = \frac{V_i - S}{V_u} \quad (8)$$

em que

D = Depreciação (R\$ h⁻¹);

V_i = Preço de aquisição da máquina (R\$);

S = Valor de sucata - 0,1 x V_i (R\$);

V_u = Vida útil (horas).

4.5.1.2. Juros (J)

O capital utilizado na aquisição da máquina agrícola deve ser computado como retendo juros à base semelhante do que é obtido quando este capital é colocado no comércio. Normalmente, são juros simples e calculados sobre o capital médio investido, pela Equação 9.

$$J = \frac{\left(\frac{V_i + (0,1 \cdot V_i)}{2}\right) \cdot i}{1000} \quad (9)$$

em que

J = Juros (R\$ h⁻¹);

V_i = Preço de aquisição (R\$);

i = Juros ao ano (decimal);

1000 = Horas trabalhadas no ano.

4.5.1.3. Alojamento e seguros (AS)

Segundo Pacheco (2000), os valores sugeridos para alojamento e seguro de máquinas, varia de 0,75% a 1% do custo inicial ao ano. Sendo assim, aconselha-se uma taxa de 2% ao ano para os cálculos do custo com alojamento e seguro, conforme a Equação 10.

$$AS = \frac{0,02.V_i}{t} \quad (10)$$

em que

AS = Alojamento mais seguro (R\$ h⁻¹);

V_i = Preço de aquisição (R\$);

t = Tempo de uso (horas ano⁻¹).

4.5.2. Custos variáveis (CV)

Os custos variáveis ou operacionais são aqueles que dependem da quantidade de uso que se faz da máquina e são constituídos por: combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenção e salário do tratorista, conforme a Equação 11.

$$CV = C + L + RM + ST \quad (11)$$

em que

C = Combustíveis;

L = Lubrificantes;

RM = Reparos e manutenção;

ST = Salário do tratorista.

4.5.2.1. Combustível

Os combustíveis são usados principalmente para o acionamento dos motores a combustão. É difícil avaliar com precisão o consumo de combustível dos tratores, devido às condições variáveis de carga a que são submetidos durante os trabalhos de campo. Nas avaliações realizadas, o consumo de combustível foi coletado momentaneamente em um período de 3 min em cada

carga aplicada pelo dinamômetro, posteriormente o consumo foi convertido em $l\ h^{-1}$.

Como as amostras avaliadas foram estimadas com base em massa, foi necessário realizar cálculos de transformações de massa em litros de forma que se obtivesse o valor equivalente das misturas, pois comercialmente o óleo combustível é comercializado em litros (L). A estimativa do custo de cada mistura esta indicada na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa do custo do combustível cada mistura avaliada

	Mistura e suas proporções	Massa específica		g kg^{-1} de Mistura	kg L^{-1}	OPM (0,55 R\$)	OD (2,05 R\$)	Custo (R\$ L^{-1})	Custo (US\$ L^{-1})
		(%)	(g mL^{-1})						
1	OPM	0	0,7806	780,6	0	0	-	2,05	1,00
	OD	100	0,7806	780,6	1000	1,281	2,05		
2	OPM	25	0,7957	795,7	250	0,314	-	1,68	0,82
	OD	75	0,7806	780,6	750	0,961	1,5375		
3	OPM	50	0,8063	806,3	500	0,620	-	1,30	0,63
	OD	50	0,7806	780,6	500	0,641	1,025		
4	OPM	75	0,8063	806,3	750	0,930	-	0,93	0,45
	OD	25	0,7806	780,6	250	0,320	0,5125		
5	OPM	100	0,8276	827,6	1000	1,208	0,55	0,55	0,26
	OD	0	0,7806	780,6	0	0,000	0		

4.5.2.2. Lubrificantes

A quantidade de lubrificantes gastos por hora depende do tipo e da potência do trator, e pode ser obtida no manual do proprietário e na planilha de manutenção proposta pelo fabricante, determinando a capacidade dos reservatórios de lubrificantes e a periodicidade em horas em que devem ser substituídos. Normalmente, o período de substituição ocorre conforme o exposto a seguir:

- Óleo do motor => 200 horas;
- Óleo da caixa de câmbio e diferencial => 750 horas;
- Óleo da redução final => 750 horas;
- Óleo do hidráulico => 750 a 1000 horas;
- Óleo da caixa de direção => 500 horas.

Segundo Fernandes (2003), na prática, considera-se o custo dos lubrificantes equivalente à faixa de 2 a 7% do gasto de combustível e o consumo de graxa pode ser estimado a partir de um valor prático da ordem de 0,5 kg de graxa, a cada dez horas de trabalho com o trator. Para análise do

custo de lubrificantes, foi utilizado o valor de 2% com relação ao consumo de cada carga aplicada ao trator.

4.5.2.3. Reparos e manutenção

Dentre as despesas de manutenção que devem ser computadas, para o cálculo do custo de operação de máquinas agrícolas, encontram-se aquelas realizadas para a manutenção preventiva e corretiva. Na manutenção preventiva, devem-se computar os gastos com componentes trocados a intervalos regulares, tais como filtros de ar, filtros de óleos. A manutenção corretiva é bem mais difícil de ser estimada, uma vez que dependem de fatores de difícil controle, como a habilidade do operador, as condições do terreno etc. Para facilitar o cálculo do custo da manutenção adotou-se o seguinte critério:

Trator: estima-se um valor igual a 100% do investimento inicial, durante toda a sua vida útil.

4.5.2.4. Salário do operador

Os salários do operador, bem como outros benefícios e encargos sociais, referentes à mão-de-obra, foram ser computados no cálculo do custo operacional das máquinas.

Para se calcular o custo horário da mão-de-obra foi utilizada a Equação 12, na qual foram considerados apenas os dias úteis durante o mês, equivalentes há 176 horas trabalhadas por mês, o salário do tratorista foi considerado de dois salários mínimos por mês.

$$SO = \frac{S + E}{D.H} \quad (12)$$

em que

SO = salário do operador (R\$ h⁻¹);

S = dois salários mínimos (R\$ mês⁻¹);

E = encargos sociais (considera-se 70% sobre o salário do operador);

D = numero de dias uteis trabalhados no mês (22 dias mês⁻¹);

H = numero de horas trabalhadas por dia (8 horas dia⁻¹).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Massa específica do combustível

Para cada mistura foi ajustado um modelo de regressão para estimar a massa específica nas diferentes temperaturas em que o combustível foi submetido (25 a 90 °C), Tabela 3. Os modelos ajustados foram lineares de primeiro grau e as estimativas das equações podem ser visualizadas na Figura 3.

Tabela 3. Modelos gerados para a estimativa da massa específica (g mL^{-1}) das misturas

Misturas e suas proporções	Equações	R ²
100% OPM	$M = - 0,0007 T(^{\circ}\text{C}) + 0,8451$	0,90
25% OD e 75% OPM	$M = - 0,0008 T(^{\circ}\text{C}) + 0,8300$	0,93
50% OD e 50% OPM	$M = - 0,0009 T(^{\circ}\text{C}) + 0,8288$	0,96
75% OD e 25% OPM	$M = - 0,0009 T(^{\circ}\text{C}) + 0,8182$	0,98
100% OD	$M = - 0,0008 T(^{\circ}\text{C}) + 0,8006$	0,95

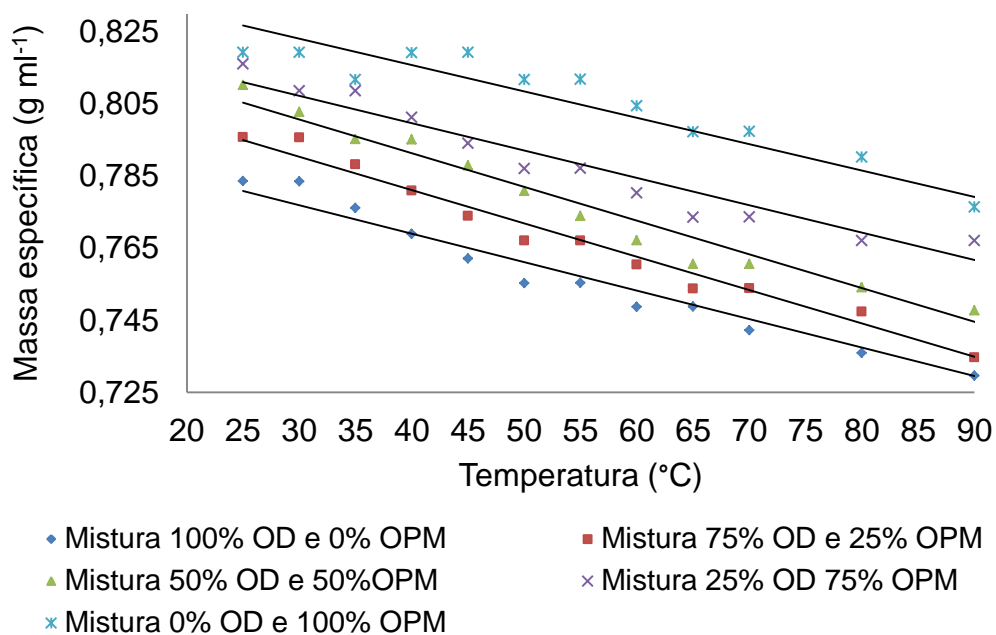


Figura 3. Comportamento da massa específica das misturas em função da temperatura do combustível.

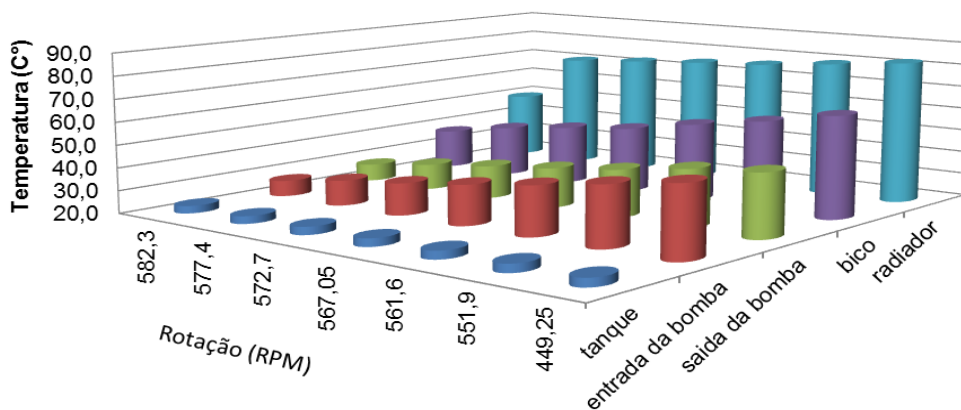
Os valores encontrados da massa específica das misturas ficaram na faixa de 0,728 a 0,827 g ml⁻¹ para temperaturas variando de 25 a 90 °C. Observando as retas ajustadas, percebe-se que a massa específica tende a diminuir linearmente com o aumento da temperatura sendo que a mistura com a proporção de 75% de OD e 25% de OPM, apresentou massa específica mais próxima o do óleo Diesel. O comportamento decrescente obtido com o aumento da temperatura é típico dos fluidos newtonianos.

Siqueira (2010), avaliando o desempenho de um trator agrícola com misturas de óleo Diesel com óleo reutilizado de soja verificou comportamento semelhante da massa específica das misturas quando submetida a diferentes temperaturas, sendo que os valores encontrados estão em uma faixa de 0,811 a 0,910 g ml⁻¹.

Pode-se verificar também que a taxa de variação da massa específica das misturas tende a ser maior em misturas com maior porcentagem de OPM.

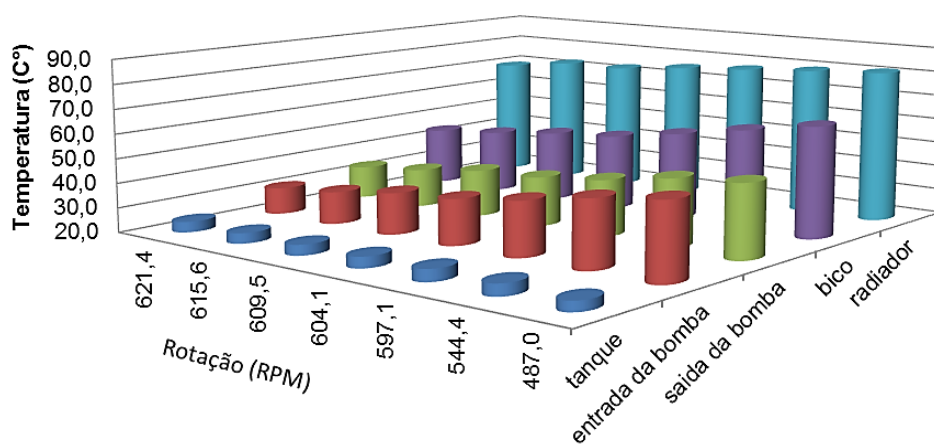
5.2. Temperaturas do óleo combustível no sistema de alimentação de combustível do trator

Por meio das médias dos valores obtidos, foram ajustadas curvas para representar o comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado. As ilustrações das curvas podem ser visualizadas nas Figuras de 4 a 8.



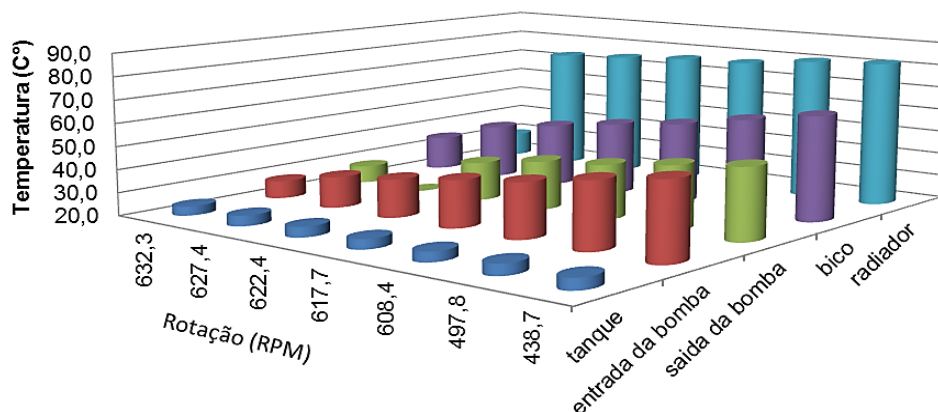
Rotação (RPM)	582,3	577,4	572,7	567,05	561,6	551,9	449,25
tanque	23,3	23,4	23,5	23,5	23,6	23,7	23,7
entrada da bomba	27,0	31,2	34,2	37,7	41,6	46,3	50,9
saída da bomba	27,6	31,4	34,6	37,6	40,9	45,3	47,8
bico	37,5	42,6	46,1	49,1	54,4	59,2	64,9
radiador	49,6	71,1	73,2	75,2	76,7	79,6	82,6

Figura 4. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 100% OD.



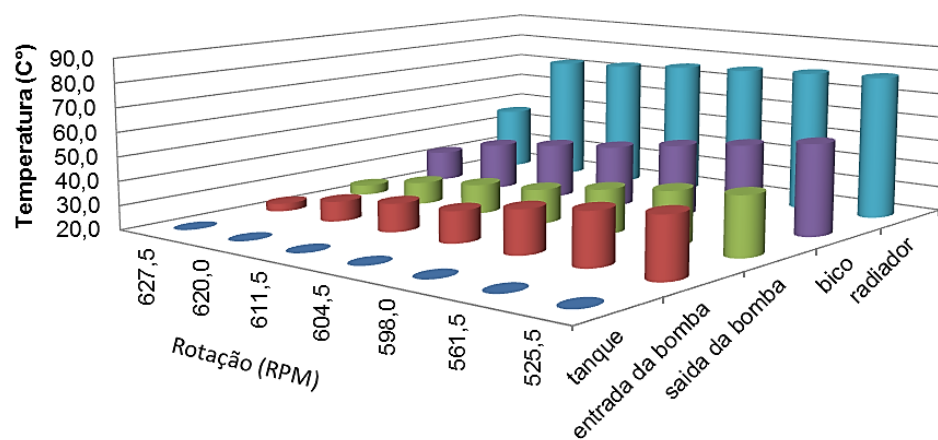
Rotação (RPM)	621,4	615,6	609,5	604,1	597,1	544,4	487,0
tanque	24,3	24,2	24,3	24,5	24,9	24,8	24,0
entrada da bomba	30,9	33,3	36,9	38,7	42,2	47,3	50,9
saída da bomba	33,2	35,7	39,2	40,2	43,0	47,6	49,8
bico	43,7	46,0	49,1	51,0	55,5	60,4	65,2
radiador	69,5	73,0	73,3	75,9	77,8	79,8	81,5

Figura 5. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM.



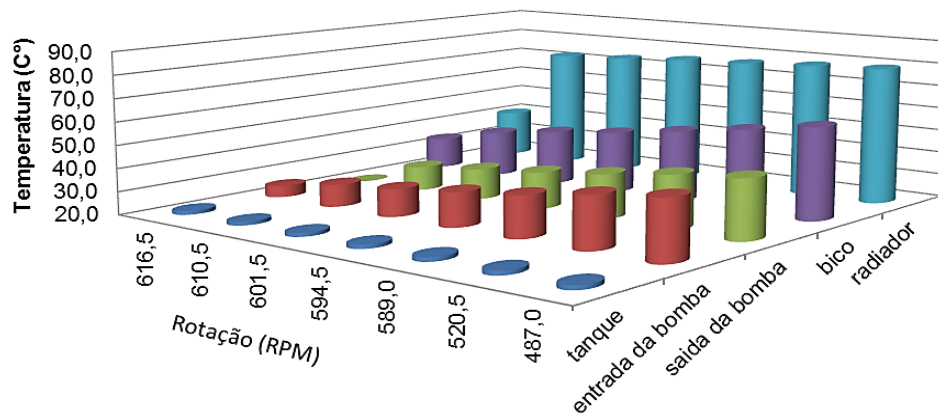
Rotação (RPM)	632,3	627,4	622,4	617,7	608,4	497,8	438,7
tanque	24,0	24,5	24,5	24,3	24,3	24,8	24,8
entrada da bomba	27,8	33,6	36,6	40,4	43,7	48,6	53,1
saída da bomba	27,6	18,6	36,8	41,3	43,7	47,5	50,8
bico	34,9	43,6	47,5	51,6	55,1	60,3	65,2
radiador	30,4	73,7	75,2	77,0	77,6	80,8	82,4

Figura 6. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 50% OD e 50% OPM.



Rotação (RPM)	627,5	620,0	611,5	604,5	598,0	561,5	525,5
tanque	19,9	20,0	19,5	19,5	19,6	19,7	20,0
entrada da bomba	23,3	28,3	31,7	33,0	38,0	41,8	44,8
saída da bomba	24,0	29,2	32,2	34,2	38,3	41,9	44,3
bico	32,5	39,4	42,8	45,5	49,7	53,4	57,5
radiador	46,3	72,3	73,5	75,5	76,7	78,0	78,9

Figura 7. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM.



Rotação (RPM)	616,5	610,5	601,5	594,5	589,0	520,5	487,0
tanque	21,6	21,6	21,6	21,7	21,8	21,9	21,8
entrada da bomba	25,0	29,8	32,0	34,9	38,0	42,5	45,8
saída da bomba	13,7	30,6	33,5	36,1	39,3	43,2	45,8
bico	33,7	40,2	44,0	47,0	51,2	55,4	60,1
radiador	40,7	72,7	73,9	75,9	76,8	78,3	79,5

Figura 8. Comportamento da temperatura do óleo presente no sistema de alimentação de combustível do trator avaliado utilizando-se a mistura com proporção de 100% OPM.

De acordo com os resultados, observa-se uma redução de temperatura do sistema de alimentação de combustível à medida que se aumenta a concentração de OPM, uma possível explicação a esse fato poder ser considerado devido à diferença no poder calorífico das misturas.

Verifica-se que, com o aumento das cargas aplicadas na TDP do trator, ocorreu uma redução na rotação do motor e conseqüentemente aumento da temperatura no sistema de alimentação o que possibilita a redução da viscosidade do combustível.

A variação de temperatura no bico injetor à medida que se aumenta as cargas aplicadas encontra-se entre 32,50 a 65,20 °C o que corresponde a uma variação 49,80% da temperatura.

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

5.3. Índice de viscosidade do combustível

Por meio da análise de regressão foram ajustadas equações para estimar o índice de viscosidades das misturas em uma faixa de temperatura do combustível de 30 a 90 °C (Tabela 4). Os modelos foram lineares e as estimativas das equações podem ser visualizadas na Figura 9.

Tabela 4. Modelo para a estimativa da viscosidade (cSt) das misturas

Misturas e suas proporções	Equações	R ²
100% OPM	$V = - 0,5813 T(^{\circ}\text{C}) + 61,54$	0,94
25% OD e 75% OPM	$V = - 0,4327 T(^{\circ}\text{C}) + 44,12$	0,84
50% OD e 50% OPM	$V = - 0,2260 T(^{\circ}\text{C}) + 24,92$	0,89
75% OD e 25% OPM	$V = - 0,1340 T(^{\circ}\text{C}) + 15,72$	0,82
100% OD	$V = - 0,0800 T(^{\circ}\text{C}) + 10,08$	0,95

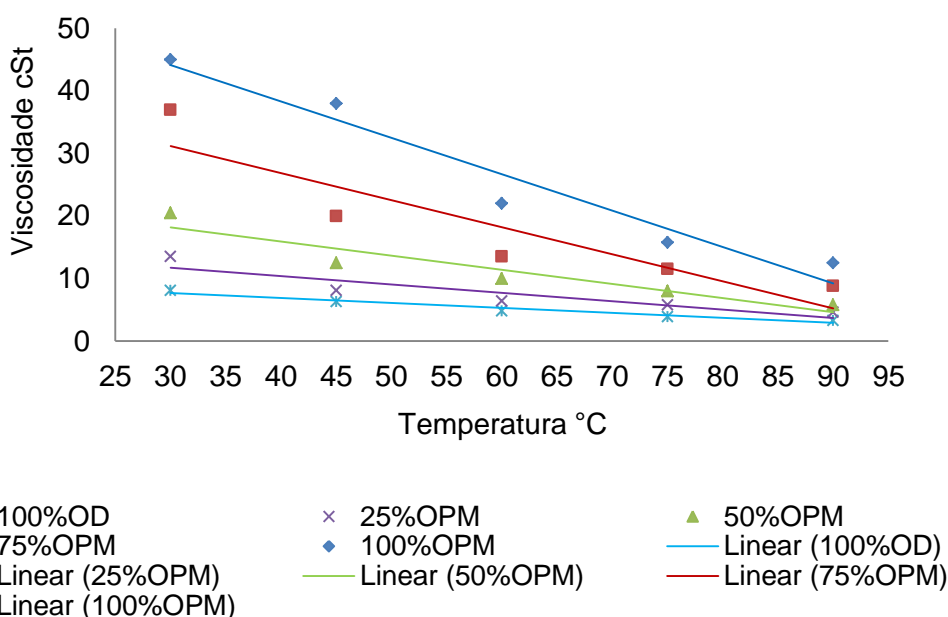


Figura 9. Índice de viscosidade cinemática das diferentes misturas em função da temperatura do combustível.

Para comparação do índice de viscosidade das misturas, utilizou-se como referência a Portaria ANP n° 7 (2008), referente à viscosidade do Biodiesel. A faixa de viscosidade recomendada pela ANP n° 7 fica entre 3 a 6 cSt à 40 °C. Para uma condição de temperatura a 40 °C nenhuma das misturas utilizadas atendeu a Portaria da ANP n° 7, fato que pode ser explicado devido o

óleo Diesel ter a viscosidade cinemática perto do limite superior estabelecido pela portaria ANP 310 (2001) (viscosidade entre 2,5 a 5,5 cSt à 40 °C). No caso do óleo Diesel utilizado, sua viscosidade só atingiu a recomendada pela ANP 310 a uma temperatura de 57 °C, a mistura que apresentou viscosidade mais próxima à recomendada pela ANP n° 7, foi a com proporção de 75% OD e 25% OPM a uma temperatura de 76 °C.

Quando a temperatura foi elevada para 90 °C a viscosidade das misturas nas proporções contendo 25 e 50% de OPM, tenderam a se aproximar da faixa de viscosidade exigida pela ANP n° 7. Já as misturas com proporções de 75 e 100% de OPM, mantiveram se acima da viscosidade exigida pela ANP n° 7 mesmo sendo submetidas à temperatura de 90°C.

O aquecimento de 25 para 90 °C do óleo com 100% OPM, reduziu em até 85% sua viscosidade. Observou-se também que nas curvas apresentadas na Figura 9, quanto maior a proporção de OPM, maior tende a ser a influência da temperatura na redução da viscosidade.

Moura (2010) testando a transesterificação alcalina de óleos vegetais para produção de Biodiesel constatou influência da temperatura na viscosidade cinemática do biodiesel de Pinhão-manso. Como pode ser indicado na Tabela 5, com o aumento da temperatura de 70 °C para 80 °C provocou uma redução na viscosidade do biodiesel. Porém, ao se elevar a temperatura para 90 °C ocorre um aumento na viscosidade. De acordo com Phan e Phan (2008), temperaturas elevadas favorecem tanto a reação de transesterificação quanto a reação de saponificação, podendo ocasionar redução na conversão reacional e aumento da viscosidade do biodiesel.

Tabela 5. Influência da temperatura na viscosidade do combustível

Temperatura (°C)	Viscosidade Cinemática (cSt)
70	5,61 ± 0,13
80	4,89 ± 0,03
90	6,96 ± 0,31

Pramanik (2003) e Ribeiro et al (2010) observaram comportamento similar para o óleo de pinhão-manso, no qual a viscosidade é reduzida com o aumento da temperatura.

5.4. Poder calorífico do combustível

A Tabela 6 apresenta a média dos valores do poder calorífico superior (PCS) das cinco misturas de óleo combustível testadas.

Tabela 6. Análise do Poder Calorífico das misturas

Misturas e suas proporções	PCS real (kcal kg ⁻¹)	Ordem de maior PCS
100% OPM	9856	5°
25% OD e 75% OPM	10173	4°
50% OD e 50% OPM	10345	3°
75% OD e 25% OPM	10592	2°
100% OD	10957	1°

Entre as amostras estudadas, a mistura que apresentou poder calorífico mais próximo ao do óleo Diesel, foi à mistura com proporção de 75% de OD e 25% OPM, sendo uma variação de 365 kcal. A variação do poder calorífico seguiu uma ordem decrescente com relação ao óleo Diesel com o aumento do teor de OPM.

A mistura com proporção de 100% de OPM apresentou o menor poder calorífico, o que corresponde a 89,95 % do valor observado no óleo Diesel. Saturnino et al. (2006) constataram em análises no CETEC-MG, que o óleo de pinhão-mansão tem 83,90% do poder calorífico do óleo Diesel e com a substituição do Diesel pelo óleo de pinhão-mansão, o consumo poderá ser 16,10% maior. Knothe (2006) relata 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.

5.5. Teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas, e estabilidade oxidativa das misturas de combustíveis

Os resultados de teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas, e estabilidade oxidativa estão representados na Tabela 7.

Tabela 7. Análise do teor de água, índice de acidez, cinzas sulfatadas, e estabilidade oxidativa

Característica	Teor de água (mg kg ⁻¹)	Índice de acidez (mg KOH g ⁻¹)	Cinzas sulfatadas (% massa)	Estabilidade oxidativa (horas)
0% OD e 100% OPM	1046	3,16	0,019	2,86
25% OD e 75% OPM	842	1,93	0,014	0,97
50% OD e 50% OPM	508	0,71	0,02	0,82
75% OD e 25% OPM	323	0,46	0,016	1,76
100% OD e 0% OPM	113	0,11	0,002	-
Método	ASTM D 6304	ASTM D 664	ABNT NBR 6294	EM 14112

5.5.1. Teor de Água

Tapanes (2008) ao avaliar a produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleo de pinhão-manso, cita que a qualidade do óleo mede-se pelo conteúdo de ácidos graxos livres (teor de acidez) e teor de água.

Nos resultado obtidos para o teor de água, somente a mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM e a mistura com proporção de 100% OD atendem ao valor limite de 500 mg kg⁻¹ estabelecido pela ANP n° 7 de 2008, a mistura com proporção de 50% OD e 50% OPM, apresentou valor muito próximo ao limite, porém as misturas com proporção de 25% e 0% de OD apresentaram valores superiores a 500 mg kg⁻¹, não atendendo assim as exigências da ANP n° 7.

Conforme os resultados demonstrados, observa-se grande quantidade do teor de água presente no OPM. Para Randazzo (2009) teor de água trata-se de contaminantes, a presença destes em níveis superiores àqueles prefixados é altamente prejudicial ao óleo Diesel, pois prejudica sua combustão além de acelerar a saturação dos filtros de combustível e provocar danos ao sistema de combustível. No sistema de armazenagem estes contaminantes tendem a se depositar no fundo dos tanques e, se houver a presença de água, favorece a deterioração do óleo Diesel pelo desenvolvimento de colônias de bactérias.

5.5.2. Índice de Acidez

Tal característica não pode ser considerada uma constante dos óleos vegetais, podendo variar conforme o grau de maturação e condições de armazenamento das sementes ou frutos usados para extração da matéria

graxa, a temperatura e tempo do processo de extração e das condições de armazenagem do óleo.

No estabelecimento dos parâmetros de qualidade para aceitabilidade de óleos vegetais é importante que os valores para o índice de acidez sejam os menores possíveis, uma vez que elevados valores são indicativos de alterações pronunciadas, comprometendo a capacidade de utilização dos mesmos, sejam para fins alimentícios ou carburantes. O monitoramento da acidez dos óleos vegetais também é usado como método auxiliar durante as fases de processamento, estocagem e controle de qualidade dos mesmos (GALVÃO, 2007).

Neste aspecto, o óleo de pinhão-manso utilizado, apresentou valores acima do limite estabelecido pela ANP n° 7 sendo que para as misturas com proporções de 75% OD e 25% OPM e 100% OD apresentaram valores abaixo de $0,5 \text{ mg KOH g}^{-1}$.

Em estudo conduzido por Melo (2010) na avaliação das propriedades de óleos vegetais visando a produção de biodiesel, demonstra que os óleos de macaúba, moringa, pinhão-manso e uva mostraram valores inferiores a $1,0 \text{ mg KOH g}^{-1}$, esse resultado demonstra que não há necessidade de tratamento de neutralização para se realizar a reação de transesterificação.

Acredita-se que o alto valor encontrado nas análises das misturas de OD com OPM se da devido às condições como grau de maturação, condições de armazenamento das sementes ou frutos usados para extração da matéria graxa, temperatura e tempo do processo de extração e das condições de armazenagem do óleo.

5.5.3. Cinzas sulfatadas

Com relação às cinzas sulfatas, os valores encontrados mostraram que as misturas analisadas apresentaram valores dentro do limite permitido de 0,020%, conforme a resolução ANP n° 7 que apresenta sucedâneos para o óleo Diesel. Os valores encontrados correspondem a uma faixa de 70% a 100% do permitido pela norma.

Estudos conduzidos por Evangelista et al. (2008), os valores encontrados mostraram que o óleo e o biodiesel de pinhão-manso estão dentro do valor máximo permitido de 0,020%. Os autores afirmam que o resultado

encontrado para o óleo é preocupante por que, corresponde a 82% do permitido na norma e devido à possibilidade grande de existir erro experimental estar acima desta. Isto se deve, provavelmente, ao fato do óleo ter diferente teor de ácidos graxos e substâncias insaponificáveis em suas composições. Outra possível explicação seria a possibilidade de resíduos metálicos serem incluídos no processo de moagem da semente antes de se fazer a extração.

5.5.4. Estabilidade oxidativa

Rezende et al.(2006) analisaram a composição de ácidos graxos de vários óleos vegetais e encontraram os seguintes valores de ácidos graxos insaturados: 78,80; 80,00 e 82,50% para os óleos de pinhão-manso (OPM), soja (OSJ) e algodão (OAG), respectivamente. Enquanto, Santos et al. (2009) descreveram que o teor de ácidos graxos insaturados no óleo de babaçu (OBB) é de 16,00%. Muitos são os fatores que podem afetar a estabilidade oxidativa dos óleos vegetais, dentre esses, destaca-se a composição de ácidos graxos. e exposição a luz e oxigênio.

Estudo conduzido por Freire et al.(2011), apresentou o óleo de babaçu com a maior estabilidade seguido pelo óleo de pinhão-manso, sendo o óleo de algodão o menos instável.

No presente trabalho, verificou-se que a estabilidade oxidativa não seguiu uma ordem crescente de valores quando se aumenta a misturas de OD com OPM, acredita-se que tal comportamento se deve a fatores como maturação e más condições de armazenamento como exposição à luz, variação de temperatura e tempo da extração do óleo de pinhão-manso.

5.6. Avaliação na Tomada de Potência (TDP)

5.6.1. Potência do motor

Na Figura 10 e na Tabela 8 estão representadas as potências corrigidas para cada uma das misturas de combustíveis.

Tabela 8. Médias de potência (kW) em cada uma das misturas de combustível

Misturas/Proporções	Cargas (N)						
	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
100% OD	1,11 a	7,42 c	13,93 e	20,11 e	26,18 e	31,87 a	26,40 d
75% OD e 25%OPM	1,19 a	7,83 b	14,94 b	21,59 b	28,05 b	31,68 b	28,84 b
50% OD e 50%OPM	1,20 a	8,13 a	15,14 a	21,91 a	28,37 a	28,76 d	25,79 e
25% OD e 75%OPM	1,19 a	7,90 b	14,64 c	21,11 c	27,44 c	31,93 a	30,41 a
100%OPM	1,23 a	7,93 b	14,43 d	20,80 d	27,09 d	29,66 c	28,24 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.

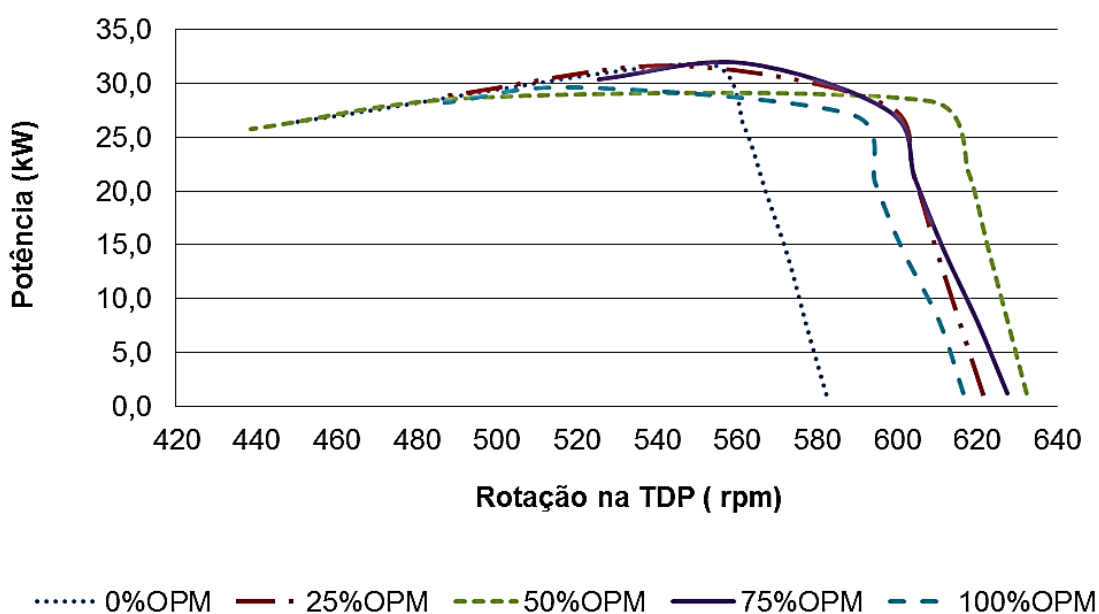


Figura 10. Curvas de potência para diferentes misturas de combustível em função da rotação do motor.

Na Figura 11, pode-se observar o comportamento da potência, torque e o consumo específico para a mistura que apresentou a maior potência na TDP.

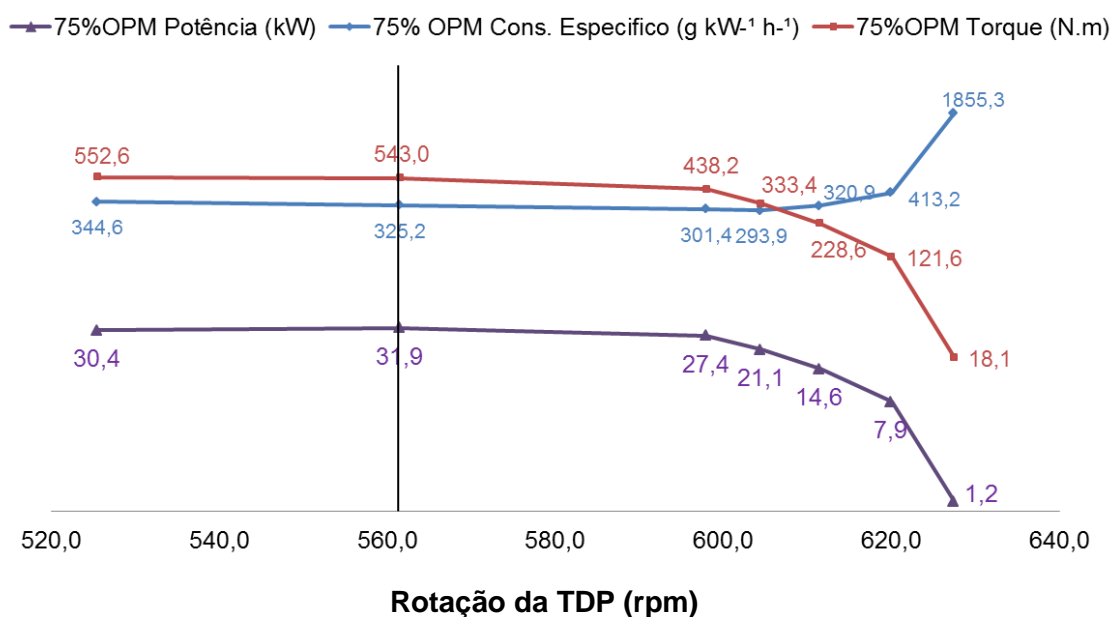


Figura 11. Comportamento da mistura com a proporção que apresenta maior potência em função da rotação da TDP.

Nas avaliações, a potência máxima encontrada, 31,93 kW, foi verificada na mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM, porém este valor não apresentou diferença significativa em relação a mistura com proporção de 100% OD.

Pode-se perceber que a mudança de combustível provocou variação na potência do motor, sendo que a mistura com proporção de 50% OD e 50% OPM obteve em maior parte, maior potência comparada com as demais. Já as duas últimas cargas aplicadas, obtiveram maior variação de potência dentro da mesma carga sendo que a mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM, apresentou maior potência com relação às demais.

Pode ser observado na Tabela 7 que para as 5 primeiras cargas (44,4 a 1023 N) foram detectados os menores valores da potência quando se utilizou somente OD.

Vitória et al. (2012) verificaram resultados contrários ao apresentado neste trabalho quando comparou o desempenho de um motor utilizando misturas de Diesel e biodiesel do óleo de pinhão-mansão, em sua comparação, verificou que houve interação entre as misturas avaliadas, sendo que a mistura com proporção de 50% OD 50% OPM, apresentou menor valor em relação às demais misturas avaliadas.

Forson (2004) avaliando o desempenho do óleo de pinhão-manso combinado com óleo Diesel em um motor a Diesel, afirma que óleo de pinhão-manso tem perspectivas substanciais como um substituto ao longo prazo para o Diesel combustível. A mistura de combustível de 97,40% Diesel com 2,60% de *jatropha* (Óleo de pinhão-manso) competiu favoravelmente com Diesel combustível e oferece uma razoável se não mesmo o melhor substituto para o óleo Diesel como combustível.

O estudo da variação da potência dentro de cada carga pode possibilitar ao operador escolher qual a melhor mistura que poderá ser utilizada em determinadas operações, onde, as cargas aplicadas, podem simular uma operação cotidiana das atividades desenvolvida pelo trator.

5.6.2. Torque do motor

A variação do torque do motor, de acordo com as misturas utilizadas, pode ser verificada na Figura 12 e na Tabela 9.

Tabela 9. Médias do torque para diferentes misturas de combustível

Misturas/Proporções	Cargas (N)						
	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
100% OD	18,18 b	122,77 c	232,22 c	338,65 c	445,09 c	551,52 c	561,19 c
75% OD e 25%OPM	18,22 b	121,45 e	234,01 a	341,26 a	448,51 a	555,77 a	565,52 a
50% OD e 50%OPM	18,18 b	123,73 b	232,31 b	338,79 b	445,27 b	551,75 b	561,43 b
25% OD e 75%OPM	18,11 c	12162 d	228,64 e	333,44 e	438,23 e	543,02 e	552,55 e
100%OPM	19,00 a	124,11 a	229,12 d	334,13 d	439,14 d	544,12 d	553,70 d

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

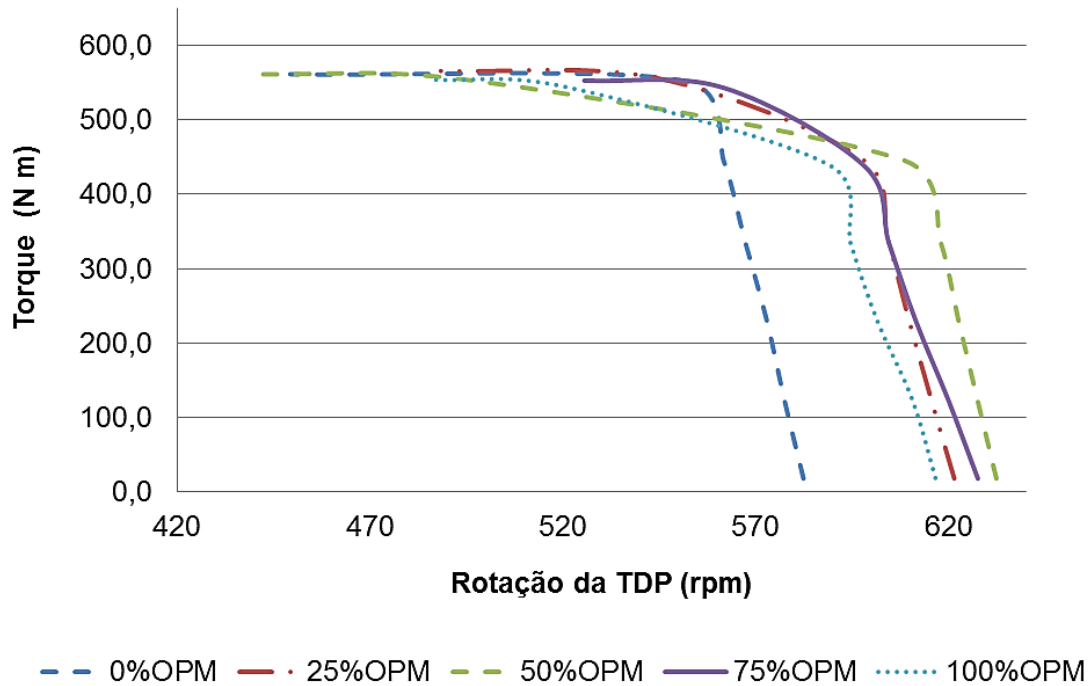


Figura 12. Curvas de torque para as diferentes misturas de combustível em função da rotação do motor.

Na Figura 13, pode-se observar o comportamento do torque, potência e o consumo específico da mistura que apresentou o maior torque na TDP.

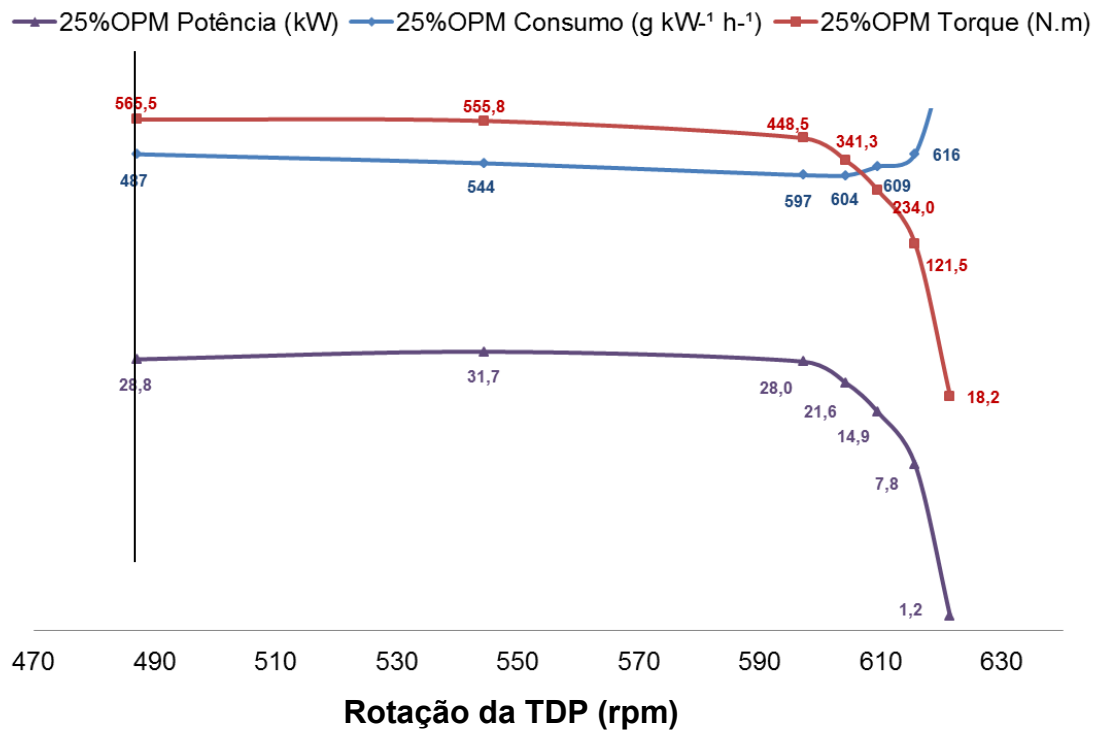


Figura 13. Comportamento da mistura com a proporção que apresenta maior Torque em função da rotação da TDP.

Pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em relação ao torque, verificou-se que houve diferença significativa entre as misturas. A mudança de combustível provocou variação no torque do motor, sendo que a mistura com proporção de 25% com OPM apresentou a partir da carga de 533 N os maiores valores com relação às demais misturas, entretanto, a mistura com proporção de 100% OPM obteve maiores valores cargas de 44,40 e 298 N.

Comportamento semelhante do motor foram observados por Kamarudin et al. (2009) estudando o desempenho do motor Diesel usando o óleo bruto de pinhão-manso misturado ao óleo Diesel. Os autores verificaram uma variação do torque, de acordo com a rotação do motor, e o aumento da porcentagem de óleo de pinhão-manso nas misturas, como resposta, observou redução no torque com o aumento da quantidade de óleo de pinhão-manso, os autores justificam esse resultado devido à alta viscosidade e densidade da mistura com óleo bruto de pinhão-manso que inibem a atomização do combustível.

5.6.3. Consumo específico de combustível

Na Figura 14 e Tabela 10 estão representadas as curvas e os dados de consumo específico corrigido para as diferentes misturas de combustíveis.

Tabela 10. Médias do consumo específico para diferentes misturas de combustível

Misturas/Proporções	Cargas (N)						
	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
100% OD	1673,35 d	417,01 c	316,67 b	278,95 d	277,11 c	315,56 c	384,64 b
75% OD e 25%OPM	1589,44 e	368,23 d	315,37 b	281,83 cd	283,41 c	328,32 c	367,48 c
50% OD e 50%OPM	1816,01 c	437,35 b	319,52 b	304,65 b	306,91 b	351,84 b	396,11 b
25% OD e 75%OPM	1849,12 b	413,19 c	320,94 b	293,86 bc	301,36 b	325,24 c	344,62 d
100%OPM	2971,40 a	663,81 a	510,14 a	490,05 a	470,43 a	525,14 a	561,56 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.

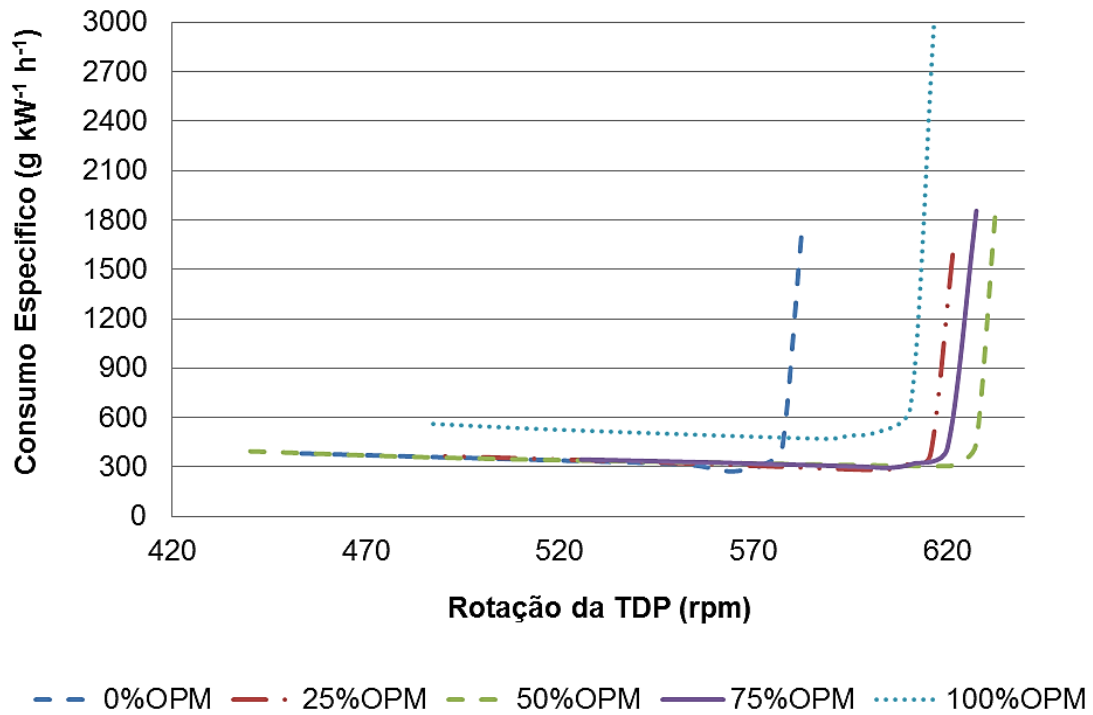


Figura 14. Curva do consumo específico para as diferentes misturas de combustível em função da rotação da TDP.

Na Figura 15, pode-se observar o comportamento do consumo específico, potência e o torque da mistura com a proporção que apresentou o menor consumo específico na TDP.

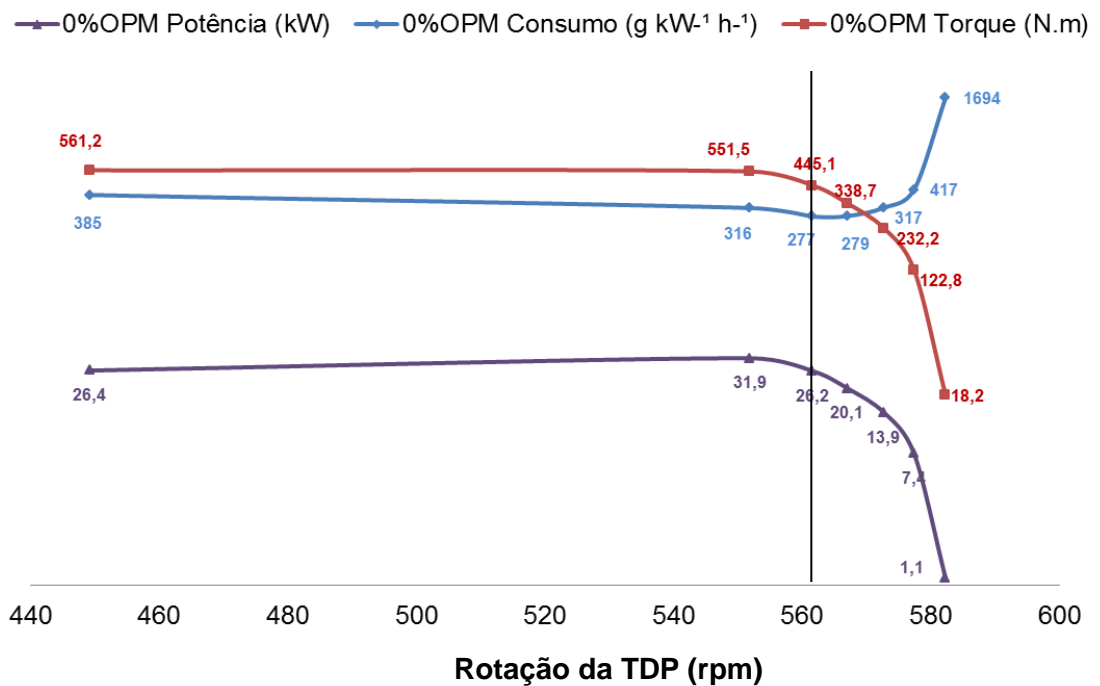


Figura 15. Comportamento da mistura com a proporção que apresenta menor consumo específico de combustível em função da rotação da TDP.

Pode-se perceber por meio da Tabela 10 que o menor consumo específico encontrado foi verificado para mistura com proporção de 100% OD. A mudança de combustível provocou variação no consumo específico do motor, sendo que o combustível com proporção de 100% OPM, obteve maior consumo específico comparada com as demais misturas.

Para o consumo específico observou-se que, ocorreram variações com a adição do OPM, sendo que na carga de 44,40 N obteve maior variação em comparação com as demais misturas, entretendo na carga de 533 N, as misturas com proporções de 0, 25, 50 e 75% com OPM, não diferiram entre si, porém apresentaram diferença com relação ao combustível com proporção de 100% OPM. A variação de consumo entre o menor consumo específico e o consumo apresentado pela maior potência produzida, foi de 48,13 g kW⁻¹h⁻¹.

Resultado semelhante foram observados por Vitória et al. (2012), em que o menor consumo específico em todas as misturas de Óleo Diesel com Biodiesel de pinhão-manso ocorreu em uma faixa de rotação entre 580 e 600 RPM, para uma carga aplicada a TDP de 888 N. E verificou-se o maior valor

encontrado para o consumo específico para 100% OD e 0% OPM a 586 RPM, utilizando-se uma carga de 888 N.

5.6.4. Reserva de Torque

No estudo conduzido, para todas as misturas em estudo, a reserva de torque foi de 1,75%, mantendo na classificação ruim, conforme Mialhe (1996).

Machado (2008), Volpato et al. (2009) e Costa e Oliveira (2006), conduzindo estudos de desempenho de motores Diesel utilizando biodiesel óleo vegetal, relataram que a redução da reserva de torque é em função do uso do combustível oriundo do óleo vegetal.

Resultado semelhante foi encontrado por Fiorese (2011) avaliando o desempenho de um trator agrícola com misturas de biodiesel de óleo de frango. Os resultados médios observados resultaram em valores que somente operando com óleo Diesel B5 é que foi possível manter dentro da classificação sugerida por Mialhe, com um valor de 10,69%. Com as demais misturas, todas ficaram abaixo de 10% tendendo a uma redução de reserva de torque pelo motor, conforme o aumento da proporção de biodiesel de óleo de frango na mistura.

5.7. Composição dos custos operacionais

O custo operacional do trator utilizado foi estimado em R\$ h⁻¹ e em US\$ h⁻¹ para 1000 horas efetivamente trabalhadas por ano. Os valores utilizados para a estimativa dos custos podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores utilizados nos cálculos do custo operacional

Itens	Valores	US\$
Valor de Aquisição (R\$)	20.000,00	9.803,92
Vida útil (anos)	5	-
Taxa de Juros (aa%)	10	-
Horas de trabalho anual	1000	-
Valos de Sucata (R\$)	2.000,00	980,39
Óleo Lubrificante (R\$ L ⁻¹)	14,00	6,86
Custo do OD (R\$ L ⁻¹)	2,05	1,004
Custo do OPM (R\$ L ⁻¹)	0,55	0,26
Misturas Utilizadas	Custo por litro de Mistura (R\$)	Custo por litro de Mistura (US\$)
100% OD e 0% OPM	2,05	1,004
75% OD e 25% OPM	1,68	0,82
50% OD e 50% OPM	1,30	0,63
25% OD e 75%OPM	0,93	0,45
0% OD e 100% OPM	0,55	0,26

Aplicando-se a metodologia de Pacheco (2000) obteve-se o custo fixo operacional, conforme observado na Tabela 12. Os custos estão apresentados com os valores acumulados ao final de cada ano trabalhado e por hora, de acordo com a vida útil estimada do trator.

Tabela 12. Custo fixo operacional do trator Agrícola

Custos Fixos					
Vida Útil (ano)	1	2	3	4	5
Depreciação (R\$ Ano ⁻¹)	3.600,00	3.600,00	3.600,00	3.600,00	3.600,00
Juros (R\$ Ano ⁻¹)	1.100,00	1.100,00	1.100,00	1.100,00	1.100,00
ISA (R\$ Ano ⁻¹)	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Total (R\$ h ⁻¹)	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
Total (US\$ h ⁻¹)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Total (R\$ ano ⁻¹)	5.100,00	5.100,00	5.100,00	5.100,00	5.100,00
Total (US\$ ano ⁻¹)	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00

Observa-se que o custo fixo é igual para todos os anos independente da carga ou da mistura de combustível utilizado na estimativa.

A maior parte dos custos fixos é representada pela depreciação que representa 71% dos custos fixos (Figura 16).

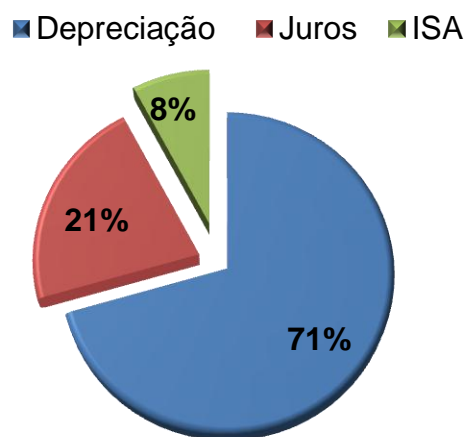


Figura 16. Porcentagem dos componentes do Custo fixo.

Os valores dos componentes dos custos variáveis para a mistura com proporção de 100% OD podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13. Estimativa dos custos variáveis para mistura com 100% OD e 0% OPM em função das cargas aplicadas

		Custos variáveis para mistura com proporção de 100% OD						
Cargas (N)		44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Combustível	Consumo de Combustível (l h ⁻¹)	2,2	3,36	4,56	5,8	7,5	10,4	10,5
	Valor do óleo Diesel (R\$ 2,05 l ⁻¹)	4,51	6,888	9,348	11,89	15,375	21,32	21,525
	Custo de combustível (R\$ ano)	4.510,00	6.888,00	9.348,00	11.890,00	15.375,00	21.320,00	21.525,00
Lubrificante	Consumo de Lubrif. = 2% do Consumo de Combustível (l h ⁻¹)	0,044	0,0672	0,0912	0,116	0,15	0,208	0,21
	Valor do Óleo lubrificante (R\$14,00)	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
	Custo do Óleo Lubrificante (R\$ h ⁻¹)	0,616	0,9408	1,2768	1,624	2,1	2,912	2,94
	Custo do Óleo Lubrificante (R\$ ano ⁻¹)	616,00	940,8	1.276,8	1.624,00	2.100,00	2.912,00	2.940,00
Manutenção	Manutenção (R\$ h ⁻¹)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	Manutenção (R\$ ano ⁻¹)	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Mão de Obra	Salário de R\$ 622,00 mês (R\$ h ⁻¹)	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02
	Salário do operador (R\$ ano ⁻¹)	12.015,91	12.015,91	12.015,91	12.015,91	12.015,91	12.015,91	12.015,91
	Material para limpeza e conservação do OPM 1º ano (R\$ h ⁻¹)	0,7875	0,7875	0,7875	0,7875	0,7875	0,7875	0,7875
	Material para limpeza e conservação do OPM 1º ano	787,5	787,5	787,5	787,5	787,5	787,5	787,5
	Material para limpeza e conservação do OPM em cada ano dos últimos 4 anos (R\$ h ⁻¹)	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
	Material para limpeza e conservação do OPM em cada ano dos últimos 4 anos	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00
	Total 1º ano (R\$ h ⁻¹)	21,92	24,63	27,42	30,31	34,27	41,03	41,26
	Total 1º ano (US\$ h ⁻¹)	10,749	12,074	13,44	14,86	16,80	20,11	20,22
	Total 1º ano (R\$ ano ⁻¹)	21.929,00	24.632,00	27.428,00	30.317,00	34.278,00	41.035,00	41.268,00
	Total 1º ano (US\$ ano ⁻¹)	10.749,51	12.074,51	13.445,1	14.861,27	16.802,94	20.115,2	20.229,41
	Total de cada ano dos últimos 4º anos (R\$ h ⁻¹)	21,62	24,32	27,12	30,01	33,97	40,73	40,96
	Total de cada ano dos últimos 4º anos (US\$ h ⁻¹)	10,59804	11,92157	13,29412	14,71078	16,65196	19,96569	20,07843
	Total de cada ano dos últimos 4º anos (R\$ ano ⁻¹)	21.621,91	24.324,71	27.120,71	30.009,91	33.970,91	40.727,91	40.960,91
	Total de cada ano dos últimos 4º anos (US\$ ano ⁻¹)	10.598,98	11.923,88	13.294,47	14.710,74	16.652,41	19.964,66	20.078,88

Total em 5 anos de vida útil (R\$ h ⁻¹)	21,68	24,39	27,18	30,07	34,03	40,79	41,02
Total em 5 anos de vida útil (US\$ h ⁻¹)	10,63	11,96	13,32	14,74	16,68	20,00	20,11
Total em 5 anos de vida útil (R\$)	108.417,00	121.931,00	135.911,00	150.357,00	170.162,00	203.947,00	205.112,00
Total em 5 anos de vida útil (US\$)	53.145,59	59.770,10	66.623,04	73.704,41	83.412,75	99.974,02	100.545,10

A partir dos dados apresentados na Tabela 12 e na Figura 17 pode-se observar que os maiores custos ocorrem no primeiro ano o que pode ser explicado pela aquisição dos equipamentos para limpeza do OPM.

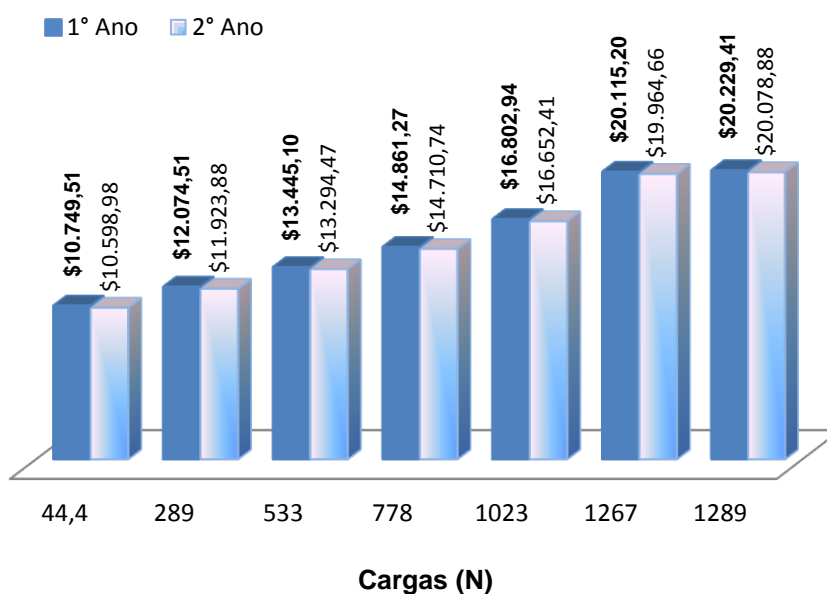


Figura 17. Variação do custo com relação ao primeiro ano.

Observa-se no modelo proposto por Pacheco (2000) que o custo das misturas e a estimativa do óleo lubrificante, são os fatores que sofrem maior variação devido à mudança de combustível. Os outros fatores como mão de obra e manutenção, não sofrem alteração com a mudança das cargas aplicadas.

Na Tabela 14 são apresentadas as estimativas do custo total em 5 anos (vida útil) de cada mistura em cada carga aplicada pelo dinamômetro.

Tabela 14. Custo total em 5 anos para cada mistura e para cada carga aplicada

Custo total para a mistura com proporção de 100% OD em 5 anos de vida Útil							
Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Total (R\$ h ⁻¹)	26,78	29,49	32,28	35,17	39,13	45,89	46,12
Total (US\$ h ⁻¹)	13,13	14,46	15,82	17,24	19,18	22,50	22,61
Total (R\$)	133.917,05	147.431,05	161.411,05	175.857,05	195.662,05	229.447,05	230.612,05
Total (US\$)	65.645,61	72.270,12	79.123,06	86.204,44	95.912,77	112.474,04	113.045,12
Custo total para a mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM em 5 anos de vida Útil							
Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Total (R\$ h ⁻¹)	25,97	28,24	30,60	33,03	36,36	42,04	42,24
Total (US\$ h ⁻¹)	12,73	13,84	15,00	16,19	17,82	20,61	20,71
Total (R\$)	129.847,05	141.215,05	152.975,05	165.127,05	181.787,05	210.207,05	211.187,05
Total (US\$)	63.650,51	69.223,06	74.987,77	80.944,63	89.111,30	103.042,67	103.523,06
Custo total para a mistura com proporção de 50% OD e 50% OPM em 5 anos de vida Útil							
Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Total (R\$ h ⁻¹)	25,71	27,67	29,56	32,56	35,88	38,19	38,35
Total (US\$ h ⁻¹)	12,60	13,56	14,49	15,96	17,59	18,72	18,80
Total (R\$)	128.530,80	138.326,80	147.806,80	162.816,80	179.406,80	190.940,80	191.730,80
Total (US\$)	63.005,29	67.807,25	72.454,31	79.812,16	87.944,51	93.598,43	93.985,69
Custo total para a mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM em 5 anos de vida Útil							
Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Total (R\$ h ⁻¹)	24,43	25,88	27,39	28,95	31,09	34,74	34,87
Total (US\$ h ⁻¹)	11,98	12,69	13,43	14,19	15,24	17,03	17,09
Total (R\$)	122.125,05	129.421,45	136.969,45	144.769,05	155.462,05	173.703,05	174.332,05
Total (US\$)	59.865,22	63.441,89	67.141,89	70.965,22	76.206,89	85.148,55	85.456,89
Custo total para a mistura com proporção de 100% OPM em 5 anos de vida Útil							
Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Total (R\$ h ⁻¹)	25,24	26,78	28,82	31,57	34,05	36,80	37,08
Total (US\$ h ⁻¹)	12,37	13,13	14,13	15,48	16,69	18,04	18,18
Total (R\$)	126.188,05	133.899,25	144.089,05	157.859,05	170.252,05	184.022,05	185.399,05
Total (US\$)	61.856,89	65.636,89	70.631,89	77.381,89	83.456,89	90.206,89	90.881,89

Observa-se mudança dos valores totais ao longo da vida útil do trator conforme a alteração das misturas e das cargas aplicada ao trator, na Tabela 15 está demonstrada a porcentagem da variação dos valores em relação ao custo quando se utiliza somente a mistura com proporção de 100% OD como combustível.

Tabela 15. Porcentagem da variação dos valores (lucro) em relação ao custo quando se utiliza 100% OD como combustível

Custo total (US\$) para a mistura com proporção de 100%OD em 5 anos de vida Útil							
(Cargas N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
Total	65.645,61	72.270,12	79.123,06	86.204,43	95.912,77	112.474,04	113.045,12
Diferença percentual dos valores utilizando misturas de proporção com OPM em relação ao uso de 100% OD							
Misturas/Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
25%OPM	3,04	4,22	5,23	6,10	7,09	8,39	8,42
50%OPM	4,02	6,18	8,43	7,42	8,31	16,78	16,86
75%OPM	8,81	12,22	15,14	17,68	20,55	24,29	24,40
100%OPM	5,77	9,18	10,73	10,23	12,99	19,80	19,61
Diferença dos valores correspondente a cada porcentagem das misturas com proporção de OPM em relação ao uso de 100%OD							
Misturas/Cargas (N)	44,4	289	533	778	1023	1267	1289
25%OPM	1.995,10	3.047,06	4.135,29	5.259,80	6.801,47	9.431,37	9.522,06
50%OPM	2.640,32	4.462,87	6.668,75	6.392,28	7.968,26	18.875,61	19.059,44
75%OPM	5.780,39	8.828,24	11.981,18	15.239,22	19.705,88	27.325,49	27.588,24
100%OPM	3.788,73	6.633,24	8.491,18	8.822,55	12.455,88	22.267,16	22.163,24

Percebe-se que à medida que se aumenta a carga aplicada e o aumento da concentração de OPM nas misturas, ocorre uma variação nos valores, demonstrando uma economia no custo em 5 anos da vida útil do trator podendo variar de 1.995,00 a 22.163,24 dólares. Observa-se nos valores marcados em vermelho a economia que o uso das misturas proporciona em relação à utilização do óleo diesel, essa economia representa aproximadamente o valor de aquisição do trator em estudo.

6. CONCLUSÃO

- A massa específica das misturas aumenta com o aumento da percentagem de OPM e diminui com o aumento da temperatura, a massa específica das misturas ficou na faixa de 0,728 a 0,827 g ml⁻¹.
- Quando a temperatura foi elevada para 90 °C a viscosidade das misturas com proporções de 25 e 50%OPM tenderam a se aproximar da faixa de viscosidade exigida pela ANP n° 7.
- O poder calorífico mais próximo ao do óleo Diesel foi encontrado para mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM sendo uma variação de 365 kcal.
- Nos resultados obtidos para o teor de água, somente a mistura com proporção de 75% OD e 25% OPM e a mistura com proporção de 100% OD atendem ao valor limite de 500 mg kg⁻¹, estabelecido pela ANP n° 7 de 2008.
- O óleo de pinhão manso utilizado apresentou valores do índice de acidez acima do limite estabelecido pela ANP n° 7, sendo que para as misturas com proporções de 75% OD e 25% OPM e 100% OD apresentaram valores abaixo de 0,5 mg KOH g⁻¹.
- As misturas analisadas apresentaram valores de cinzas sulfatas dentro do limite permitido de 0,020%, conforme a resolução ANP N° 7 de 2008.
- A estabilidade oxidativa não seguiu uma ordem crescente de valores quando se aumenta a misturas de OD com OPM e não se enquadrou ao limite estabelecido pela ANP n° 7 de 2008.
- A potência máxima encontrada, 31,93 kW, foi verificada na mistura com proporção de 25% OD e 75% OPM, porém este valor não foi significativo em relação ao óleo com 100% OD e 0% OPM.
- A mudança de combustível provocou variação no torque do motor, sendo que a mistura com proporção de 25% OPM apresentou a partir da carga de 533 N os maiores valores com relação às demais misturas.
- O menor consumo específico encontrado foi verificado para mistura com proporção de 100% OD. A mudança de combustível provocou variação no

consumo específico do motor, sendo que o combustível com proporção de 100% OPM, obteve maior consumo específico comparada com as demais misturas.

- À medida que se aumenta a carga aplicada e o aumento da concentração de OPM nas misturas, ocorre diminuição dos custos, demonstrando uma economia no custo em 5 anos da vida útil do trator.
- A utilização das misturas de OD com OPM são viáveis economicamente quando o trator é submetido a cargas mais elevadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHTEN, W. M. J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y. J.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1063-1084, 2008.

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

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO-ANP (2008). **Portaria ANP N° 7**, de 19 de Março de 2008. Diário Oficial da União de 20/03/2008.

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.

BANAPURMATH, N. R.; TEWARI, P. G.; HOSMATH, R. S. Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, *Jatropha* and sesame oil methyl esters. **Renewable Energy**, v. 33, n. 9, p. 1982-1988, 2008.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An Introduction to Rheology**. 1. ed., New York: Elsevier Science, 1991. 199 p.

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

BERCHMANS, J. H.; HIRATA, S. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p. 1716-1721, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Portaria n° 128, de 28 de agosto de 2001**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis>. Acesso em: 20 de Agosto de 2012.

BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25. ed. São Paulo: E Blücher, 2005. 1232 p.

CASTRO NETO, M. Óleo Vegetal como combustível. Brasília, DF. 2006. Disponível em: <<http://arquivobrasilbio.blogspot.com/2006/12/leo-vegetal-como-combustvel.html>>. Acesso em: 7 ago. 2012.

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

COSTA, B. J.; OLIVEIRA, S. M. M. de. Produção de biodiesel. Dossiê técnico: TECPAR, 27 p., 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossies-tecnicos>>. Acesso em: 10 Set. 2012.

DUNN, R. O. Cold weather properties and performance of biodiesel. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. **The biodiesel handbook**. Illinois: AOCS PRESS, 2005.

EVANGELISTA, J. P. C., SOUZA, L. D., ARAÚJO, A. M. M., MATIAS, L. G. O. Resumos do XLVIII Congresso Brasileiro de Química – CBQ, Rio de Janeiro, 2008.

FANGRUI, M.; HANNA, M. A. Biodiesel Production: a review. **Bioresource Technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999.

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

FERNANDES, H. C. **Notas de aula de ENG 637 – Ensaio de Máquinas Agrícolas e Florestais**. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, 2003.

FIORESE, D. A. **Desempenho em dinamômetro e emissões residuais de um motor de trator agrícola operando com misturas binárias de óleo diesel b5 e biodiesel de óleo de frango**. 2011, 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

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

FUCHS, W. **Colha Óleo Vegetal**. Curitiba: Edição do autor, 2006. 120 p.

FREIRE, L. M. S. **Otimização da síntese etanoica do biodiesel de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e determinação de seus parâmetros fluidodinâmicos**. 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

FREIRE, L. M. S.; SILVA, A. F.; FILHO, J. R. C.; MOURA, C. V. R.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. **Estabilidade oxidativa de misturas quartanárias de óleos vegetais**. In: 51º Congresso Brasileiro de Química. 2011, São Luis – MA.

FORSON, F. K.; ODURO, E. K.; HAMMOND-DONKOH, E. Performance of jatropha oil blends in a diesel engine. **Renewable Energy**, v. 29, n. 7, p.1135–1145, 2004.

GALVÃO, L. P. F. de C; Avaliação Termoanalítica da Eficiência de Antioxidantes na Estabilidade Oxidativa do Biodiesel de Mamona. Natal, Programa de Pós-Graduação em Química, UFRN, Dissertação de Mestrado, 2007.

HARRY, G. G.; FONTES, J. M.; MACHADO, C. C.; SANTOS, S. L. Análise dos efeitos da eficiência no uso operacional de máquinas florestais. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV/SIF, 1991.

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**. 2008. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989.

KAMARUDIN, K. A.; SAZALI, N. S. A. M.; ALI, M. F. M.; ALIMIN, A. J.; KHIR, S. A. Performance of diesel engine using blended crude Jatropha oil. In: THE 10TH ASIAN INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLUID MACHINERY, 10., 2009, Malaysia. **Proceedings...** Kuala Lumpur: Malaysia, 2009.

KAPILAN, N.; BABU, T. P. A.; REDDY, R. P. Technical Aspects of Biodiesel and its Oxidation Stability. **International Journal of ChemTech Research**, v. 1, n. 2, p. 278-282, 2009.

KALTNER, F. J. Geração de energia elétrica em pequenas comunidades da Amazônia, utilizando óleo vegetal "in natura" de espécies nativas como combustível em motores diesel. SAEX 2004. Módulo 1-Biomassa. 9p.

KNOTHE, G.; VAN-GERPEN, J.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 340 p.

LAGE, R. M.; FERRARI, C. M. **Curso de informação sobre combustíveis e combustão**. Rio de Janeiro, 1993. 442 p.

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

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 131f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

LOTERO, E.; GOODWIN, J. G.; BRUCE, D. A.; SUWANNAKAM, K.; LIU, Y.; LOPES, D. E. The catalysis of biodiesel synthesis. **Catalysis**, v. 19, p. 41-83, 2006.

MA, F.; CLEMENTS, L. D.; HANNA, M. A. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 5, p. 1261-1264, 1998.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999.

MAIA, A. C. S.; TEIXEIRA, J. C.; LIMA, S. M.; FERREIRA, C. V.; STRAGEVITCH, L. Estudo da adição do biodiesel de mamona ao óleo diesel mineral sobre a massa específica e viscosidade cinemática. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: ABIPTI, 2006.

MAGOT-CUVRU, P., **Motores diesel**. São Paulo: Hemus, 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**. 2008. 18f. Relatório Final PIBIC/CNPq (Bolsista PIBIC/CNPq). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

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

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

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**, v. 13, n. 2, p. 249-255, 2007.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel**. 2010.118f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

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

MORETTO, E.; FETT, R. **Definição de óleos e Gorduras tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo. Varela, p. 144, 1998.

MOURA, B. S. **Transesterificação alcalina de óleos vegetais para produção de biodiesel: avaliação técnica e econômica**. 2010. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2010.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass Bioenergy**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2000.

PAULA, E. N. S. O. **Avaliação Técnica de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal**. 2011. 68f. Tese (Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PACHECO, E.P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

PARENTE, E. J. S. Biodiesel no plural. In: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. **O futuro da indústria: biodiesel: coletânea de artigos**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006. 145 p.

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

PRAMANIK, K. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. **Renewable Energy**, v. 28, n. 2, p. 239-248, 2003.

PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas*) - Uma planta do futuro. Disponível em <<http://www.pinhaomanso.com.br>> acesso em 20 Agosto de 2012.

PHAN, A. N.; PHAN, T. M. Biodiesel production from waste cooking oils. **Fuel**, v. 87, n. 17-18, p. 3490-3496, 2008.

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

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M., Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e socio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, nº 31, p. 28-37, 2003.

RANDAZZO, M. L. **Emissões e performance de um veículo operando com misturas de biodiesel e etanol**. 2009. 175f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.

RIBEIRO, R. A; QUEIROZ, M. G. M. N; ALVES, V. L; PRATA, E. R. B. A; BARBOSA, É. S; SANTOS, E; MOTA, B. S. N. Efeitos do tempo de armazenamento sobre as propriedades físico-químicas de óleo de *Jatropha curcas* (PINHÃO MANSO). **Rev. bras. ol. fibros.**, v.14, n.1, p.1-7, jan/abr. 2010.

REZENDE, D. R.; SOUZA, L. F.; NUNES, D. E. B. M. R.; ZUPPA, T. O.; ANTONIOSI FILHO, N. R.. Caracterização de ácidos graxos e triacilglicerídeos de óleos vegetais com potencial econômico de produção de biodiesel na Região Centro-Oeste. In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2006, v. 1.

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

SANTOS, N. A.; SANTOS, J. R. J.; SINFRÔNIO, F. S. M.; BICUDO, T. C.; SANTOS, I. M. G.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; FERNANDES Jr., V. J. and SOUZA, A. G. 2009. Thermo-Oxidative Stability and Cold Flow Properties of Babassu Biodiesel by PDSC and TMDSC Techniques. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. 96, 2009. doi: 10.1007/s10973-008-9719-2.

SATURNINO, H. M., Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*). IN: Produção de Oleaginosas para Biodiesel. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.26, 229f, p. 44-78, 2005.

SATURNINO, H. M. et al. Implantação de unidades de validação de tecnologia pinhão-manso. Nova Porteirinha, 2006. 5 p. Projeto de Pesquisa, Centro Tecnológico do Norte de Minas Gerais, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Nova Porteirinha, 2006.

SARIN, R.; SHARMA, M.; SINHARAY, S.; MALHTRA, R. K., Jatropha- Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. **Fuel**, v. 86, p. 1365-1371, 2007.

SIRISOMBOONA, P.; KITCHAIYAB, P.; PHOLPHOA, T.; MAHUTTANYAVANITCHA, W., Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas L.* fruits, nuts and kernels. **Biosystems Engineering**, v. 97, p. 201-207, 2007.

SILVA FILHO, A. A., **Produção de biodiesel pela transesterificação alcalina homogênea do óleo de soja refinado com metanol com irradiação de microondas**. 2009. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

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

SIQUEIRA, W. C. **Utilização de misturas de óleo Diesel e óleo de soja reutilizado em um trator agrícola de pneus**. 2010. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

TAPANES, N. C. O.; ARANDA, D. A. G.; CARNEIRO, J. W. M.; ANTUNES, O. A. C., Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: Theoretical and experimental studies of biodiesel reaction. **Fuel**, v. 87, p. 2286-2295, 2008.

VIDAL, J. W. B. Heranças do petróleo. In: UCZAI, Pedro (Org.). **Inevitável Mundo Novo**: a relação entre energias renováveis, produção de alimentos e o futuro do planeta. Chapecó: Pallotti, 2009.

VITÓRIA, E. L; OLIVEIRA, P. S; FERNANDES, H. C; LONGUI, F. C; LEITE, D. M. Desempenho comparativo de um motor ciclo Diesel alimentado com misturas de óleo Diesel e biodiesel de pinhão-manso. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, p. 1865, 2012.

VOLPATO, C E. S; CONDE, A. P; BARBOSA, J. A; SALVADOR, N. Desempenho de um motor Diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100). **Ciênc. agrotecnologia.**, v. 33, n. 4, p. 1125-1130, jul./ago. 2009

YAZAKI, C. K. **Mitigação de poluentes em veículos que utilizam motores de ignição por compressão a partir do uso de combustíveis a base de óleos vegetais.** 2005, 143f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, 2005..

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

WUST, E. **Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos.** 2004. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Regional de Blumenau. Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau, 2004.