

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MISTURA DE BIODIESEL DE SOJA E DE MURUMURU EM
TRATOR AGRÍCOLA**

Murilo Coelho Theodoro Neves

Engenheiro Agrônomo

Junho de 2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MISTURA DE BIODIESEL DE SOJA E DE MURUMURU EM
TRATOR AGRÍCOLA**

Murilo Coelho Theodoro Neves

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

Junho de 2016

N511b Neves, Murilo Coelho Theodoro Neves
Mistura de biodiesel de Soja e de Murumuru em trator agrícola. /
Murilo Coelho Theodoro Neves. -- Jaboticabal, 2016
v, 67 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Afonso Lopes

Banca examinadora: Diego Silva Siqueira, Daniel Junior de
Andrade, Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike, Kenji Claudio Augusto
Senô

Bibliografia

1. Combustível-Consumo específico. 2. Trator-Desempenho
operacional. 3. Opacidade da Fumaça. 4. Solo-Preparo I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 656.137:631.4

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

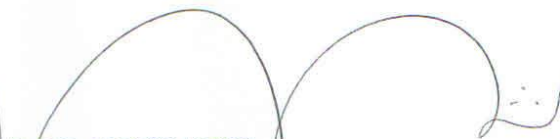
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MISTURA DE BIODIESEL DE SOJA E DE MURUMURU EM TRATOR AGRÍCOLA

AUTOR: MURILO COELHO THEODORO NEVES

ORIENTADOR: AFONSO LOPES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



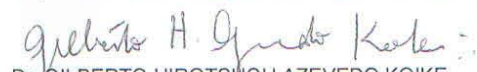
Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



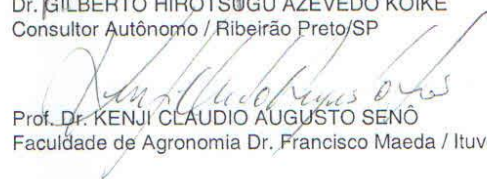
Pós-doutorando DIEGO SILVA SIQUEIRA
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Dr. GILBERTO HIROTSUGU AZEVEDO KOIKE
Consultor Autônomo / Ribeirão Preto/SP



Prof. Dr. KENJI CLAUDIO AUGUSTO SENÔ
Faculdade de Agronomia Dr. Francisco Maeda / Ituverava/SP

Jaboticabal, 28 de junho de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Murilo Coelho Theodoro Neves – Filho de Itamar Theodoro Neves e Mara Aparecida Raiz Coelho Neves, nasceu em Ituverava, São Paulo, em 27 de março de 1988. cursou o primeiro e o segundo graus em Cristais Paulista – SP, onde residiu por toda a infância e a juventude. Em 2006, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Faculdade Dr. Francisco Maeda – FAFRAM, em Ituverava – SP, concluindo-o em julho de 2010. Durante a vida acadêmica, desempenhou funções de monitor de disciplinas e, concomitantemente, pesquisador/bolsista no convênio de "Implementações de Políticas de Planejamento, Gestão e Preservação do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais, da Fauna, Saneamento, Urbanismo e Patrimônio Cultural, bem como Outras Áreas do Ministério Público", existente entre a FUNEP - Ministério Público - SP. Em março de 2011, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, com ênfase na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em junho de 2012, submeteu-se à banca examinadora, obtendo título de Mestre em Agronomia. Em agosto do mesmo ano, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, com ênfase na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em março de 2014, foi aprovado em concurso público como Professor Substituto do Instituto Federal de Minas Gerais – Câmpus Bambuí, onde exerceu tal cargo até julho de 2014. Realizou estágio na *University of Kentucky*, nos Estados Unidos, entre outubro de 2015 e abril de 2016. Em junho de 2016, submeteu-se à banca examinadora para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Eu não posso ensinar nada a ninguém, eu só posso fazê-lo pensar.

Sócrates

“Sempre que ensinares, ensina a duvidarem do que estiveres ensinando”

José Ortega Y Casset

Agradeço

A *Deus*, por tudo.

Aos meus pais *Itamar Theodoro Neves* e *Mara Aparecida Raiz Coelho Neves*, pelo afeto, educação, companheirismo, carinho, compreensão, confiança, respeito, dedicação, luta e, sobretudo, amor.

Homenageio

Meus avós e padrinhos: *João Mendonça Coelho* e *Ana Emília Raiz Coelho*.

AGRADECIMENTOS

A UNESP, Câmpus de Jaboticabal em especial ao Departamento de Engenharia Rural pela oportunidade de ensino e aprendizado.

Ao amigo Prof. Dr. Afonso Lopes, por acreditar em meu potencial, pela orientação, apoio, amizade e companheirismo dispensado.

Ao amigo Prof. Dr. Kenji Cláudio Augusto Senô, pela eterna orientação.

Aos amigos Prof. Dr. Leomar Paulo de Lima, Dra. Melina Cais Jejcic de Oliveira, Thaisa Calvo Fuginari Moreti, Thyago Augusto Medeiro Lira, Prof. Dr. Ariston Pinto Santos, Prof. Dr. Rogério Pinto Abreu e especialmente a grande amiga Priscila Sawasaki Iamaguti pela respeito e participação na vida pessoal e acadêmica.

Ao amigo Dr. Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike e aos Professores Dr. Newton La Scala Júnior, Dr. José Marques Júnior, Dr. Daniel Junior de Andrade e Dra. Teresa Cristina Tarle Pissara pelas contribuições e auxílios.

A CAPES pelo apoio financeiro e ao CNPQ, a Valtra do Brasil e à Coopercitrus, pelo apoio financeiro, material e logístico ao Projeto Biodiesel e ao IPBEN/BIOEM que fizeram a diferença para que este trabalho se concretizasse.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial ao Sr. Davi Aparecido Trevizolli, Valdecir Aparício (Maranhão) e Sebastião Francisco da Silva Filho (Tiãozim) e ao ex-funcionário, Aparecido Alves (Cido).

Aos funcionários da Pós-Graduação pela primazia e empenho na execução de suas tarefas.

A minha irmã Juliana Coelho Neves e meus sobrinhos Guilherme Coelho Spirlandelli e Matheus Coelho Santos, pelo amor e aos meus tios Carlos Alberto Raiz Coelho, Eliana Taveira Engler Raiz Coelho, Weber Brunelli (*in memoriam*), Simone Raiz Coelho Brunelli, Luciano Galdiano Flores, Andréa Raiz Coelho Flores, por tudo que sempre fizeram.

A todos familiares que da mais singela forma tenham contribuído de alguma forma, em especial aos meus primos, Enzo Coelho Brunelli, Nathan Coelho Brunelli e Beatriz Coelho Brunelli, pela irmandade e amor verdadeiro.

Aos amigos e irmãos da República Kasa Verde (RKV) Dr. Marcos, Claudio, Dr. Thiago Bruno, André Ricardo, Dr. Fabio José e Dr. Daniel, pela convivência diária.

Aos amigos do *Center for Applied Energy Research – University of Kentucky, KY, EUA*, Dr. Mark Crocker, Dr. Eduardo Santillan-Jimenez, Dr. Justin Mobley, John Jennings, Ryan Loe, Vanessa Song e Dr. Rafael França.

Aos amigos do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí.

Ao Professor Vitório Barato Neto, especialista em letras e pedagogia, pela correção gramatical do trabalho e contribuições para que este trabalho ficasse o mais compreensível possível.

E com todo amor à Larissa Estela Ferreira Jacó de Menezes pelo carinho, incentivo, paciência, dedicação, amizade, ensinamentos e afeto.

SUMÁRIO

Página

| | |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMO | iv |
| ABSTRACT | v |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 1 Biodiesel | 3 |
| 2 Propriedades e Especificações do Biodiesel | 11 |
| 2.1 Viscosidade | 12 |
| 2.2 Poder Calorífico | 13 |
| 2.3 Número de Cetano | 14 |
| 2.4 Lubricidade | 15 |
| 2.5 Densidade | 16 |
| 3 Murumuru | 16 |
| 4 Soja | 21 |
| 5 Motor Diesel | 26 |
| 6 Emissão de gases e material particulado | 29 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 1 Área Experimental | 32 |
| 2 Solo | 32 |
| 3 Diesel | 33 |
| 4 Biodiesel | 33 |
| 5 Tratores | 33 |
| 6 Instrumentação do trator-teste para o ensaio de desempenho | 34 |
| 6.1 Velocidade de deslocamento | 34 |
| 6.2 Força na barra de tração | 34 |
| 6.3 Consumo de combustível | 35 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.4 Sistema de aquisição de dados | 36 |
| 7 Instrumentação do trator-teste para o ensaio de opacidade da fumaça | 36 |
| 7.1 Opacímetro | 36 |
| 8 Condução do trabalho | 38 |
| 9 Delineamento experimental..... | 38 |
| 10 Tratamentos | 39 |
| 11 Ensaio I – Desempenho do trator..... | 39 |
| 11.1 Ensaio preliminar | 39 |
| 11.2 Uso dos tratores..... | 39 |
| 11.3 Velocidade real de deslocamento | 41 |
| 11.4 Força média na barra de tração | 41 |
| 11.5 Potência na barra de tração | 42 |
| 11.6 Consumo de combustível..... | 42 |
| 11.6.1 Consumo horário volumétrico..... | 42 |
| 11.6.1 Consumo horário ponderal..... | 43 |
| 11.6.3 Consumo específico..... | 43 |
| 11.7 Densidade do combustível | 44 |
| 12 Ensaio II – Opacidade da Fumaça do Motor do Trator | 45 |
| 13 Análise estatística | 45 |
| 13.1 Análise de variância e teste de médias | 45 |
| 13.2 Análise de Regressão | 46 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 47 |
| 4.1 Ensaio I – Desempenho do Trator..... | 47 |
| 4.1.1 Velocidade de deslocamento | 48 |
| 4.1.2 Força e Potência na barra de tração | 48 |
| 4.1.3 Consumo de combustível..... | 48 |
| 4.1.3.1 Consumo horário volumétrico..... | 50 |
| 4.1.4.2 Consumo horário ponderal | 51 |
| 4.1.4.3 Consumo específico..... | 52 |

| | |
|-------------------------------------------|----|
| 4.2 Ensaio II – Opacidade da Fumaça | 55 |
| 5 CONCLUSÕES | 58 |
| 6 REFERÊNCIAS | 59 |

LISTA DE TABELAS

| Tabela | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 Produção, demanda compulsória e capacidade nominal autorizada pela ANP por região, em janeiro de 2016 | 7 |
| 2 Características físico-químicas de diferentes tipos de biodiesel de várias espécies vegetais e do óleo diesel | 13 |
| 3 Perfil de composição em Ácidos Graxos de Ésteres do óleo de Murumuru | 19 |
| 4 Composição do biodiesel de óleo de murumuru | 19 |
| 5 Composição do biodiesel de óleo de soja | 23 |
| 6 Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I e II | 36 |
| 7 Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis força média na barra, potência média na barra e velocidade de deslocamento | 44 |
| 8 Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce) | 46 |
| 9 Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável Consumo específico (g kW h^{-1}) | 48 |
| 10 Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça | 51 |
| 11 Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}) | 52 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 Participação de combustíveis renováveis como fonte de energia | 4 |
| 2 Evolução anual da produção, demanda compulsória e capacidade nominal no Brasil | 7 |
| 3 Reação de alcoólise (transesterificação) do triglicérideo com álcoois | 10 |
| 4 <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (murumuru) | 17 |
| 5 Cacho de <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (murumuru) | 17 |
| 6 Corte dos frutos de <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (murumuru) | 18 |
| 7 Mapa da produção agrícola de soja no Brasil | 21 |
| 8 Projeção de longo prazo: soja (produção e processamento) e diesel | 22 |
| 9 Sistema intercooler no trator BM 125i | 26 |
| 10 Vista lateral do trator teste com instrumentação completa | 32 |
| 11 Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça | 34 |
| 12 Vista do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça | 34 |
| 13 Esquema das parcelas | 35 |
| 14 Dinâmica do ensaio de desempenho | 38 |
| 15 Modelo de regressão para o Consumo específico (Ce) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel | 50 |
| 16 Modelo de regressão para opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel com diesel | 53 |

MISTURA DE BODIESEL DE SOJA E DE MURUMURU EM TRATOR AGRÍCOLA

RESUMO – Biodiesel é um combustível que pode ser obtido por meio da transesterificação de triglicerídeos presentes em óleos e gorduras, vegetais ou animais, óleos residuais e algas. É caracterizado como renovável, biodegradável, livre de enxofre e compostos aromáticos. Fortemente adotado por diversas nações e em crescente uso em mistura ou como substitutivo do óleo diesel, faz-se necessário estudar as características, implicações na maquinaria agrícola. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho operacional do trator agrícola em operação de preparo de solo e opacidade da fumaça, operando com diferentes tipos de biodiesel e proporções de mistura. O trabalho foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural, da UNESP/Jaboticabal. Utilizou-se de biodiesel de soja, biodiesel de murumuru e três combinações destes: 90S10M (90% de biodiesel de soja e 10% de biodiesel de murumuru), 80S20M (80% de biodiesel de soja e 20% de biodiesel de murumuru) e 70S30M (70% de biodiesel de soja e 30% de biodiesel de murumuru). As proporções biodiesel/diesel foram: B0 (0% de biodiesel e 100% de diesel), B5 (5% de biodiesel e 95% de diesel), B15 (15% de biodiesel e 85% de diesel), B25 (25% de biodiesel e 75% de diesel), B50 (50% de biodiesel e 50% de diesel), B75 (75% de biodiesel e 25% de diesel) e B100 (100% de biodiesel e 0% de diesel). Os resultados evidenciaram que distintos tipos de combustíveis condicionam a diferença no consumo horário volumétrico, consumo horário específico, consumo ponderal e opacidade da fumaça. Diferentes proporções de misturas resultam em consumos distintos, aumentando à medida que se adiciona biodiesel na mistura. Foi observado que a opacidade da fumaça reduz conforme ocorre a adição de biodiesel na mistura.

PALAVRAS-CHAVE: consumo específico de combustível, desempenho operacional, opacidade da fumaça, preparo do solo.

BLEND OF SOYBEAN AND MURUMURU BIODIESEL IN AGRICULTURAL TRACTOR

ABSTRACT - Biodiesel is a fuel that can be obtained by transesterification of triglycerides present in oils or fats from vegetable or animal, waste oils and algae, is renewable, biodegradable, free of sulfur and aromatics. Adopted by several nations and in increasing use, blended or as diesel substitute, it is necessary to study the characteristics, implications and the effect of these new sources in agricultural machinery. This study is aimed to evaluate the operational performance of the agricultural tractor on tillage operation and smoke density due to the use of different types of biodiesel. The work was conducted in the Department of Rural Engineering, UNESP / Jaboticabal. Were studied Soybean biodiesel, murumuru biodiesel and three mixtures: 90S10M (90% Soybean biodiesel and 10% murumuru biodiesel) 80S20M (80% Soybean biodiesel and 20% murumuru biodiesel) and 70S30M (70% Soybean biodiesel and 30% murumuru biodiesel). The proportions of mixture biodiesel/diesel were: B0 (0% biodiesel and 100% diesel), B5 (5% biodiesel and 95% diesel), B15 (15% biodiesel and 85% diesel), B25 (25% biodiesel and 75% diesel), B50 (50% biodiesel and 50% diesel), B75 (75% biodiesel and 25% diesel) and B100 (100% biodiesel and 0% diesel). The results showed that different types of fuels affect the hourly volumetric consumption, hourly weight consumption, specific fuel consumption and smoke density. Different blends ratios result in different consumption, increasing as biodiesel ratio increase. The smoke density reduced as is the addition of biodiesel in the blend increase.

KEYWORDS: biofuel, specific fuel consumption, tractor test and smoke density.

1 INTRODUÇÃO

Após a crise econômica enfrentada pelo Estados Unidos e pelo continente europeu nos últimos anos, a economia mundial voltou a crescer, e aliado principalmente ao aumento da população nos países tropicais, observou-se maior demanda por energia nos mais diversos setores em todo o planeta. Há forte correlação entre crescimento econômico e aumento na demanda energética, uma vez que a movimentação de capital gera crescente demanda por produtos, mercadorias, transporte, combustível, etc.

De forma direta ou indireta, grande parte de produtos essenciais para sobrevivência da humanidade, na forma que a conhecemos, tem como matéria-prima o petróleo. Gás natural, gasolina, óleo diesel, querosene, são todos subprodutos obtidos por meio da destilação fracionada do petróleo e são primordiais para o ser humano. A agricultura não foge à regra e também é dependente dos produtos petrolíferos, e além dos insumos, há extrema predominância do motor de combustão interna, ciclo diesel, como fonte de potência para maquinaria. Dentre as prováveis opções para reduzir a dependência ao óleo diesel, pode-se destacar o biodiesel.

O biodiesel é o mais provável substituto dos combustíveis fósseis em motores ciclo diesel, pois este possui vantagens em relação aos demais combustíveis derivados da biomassa, como, por exemplo, o etanol. Biodiesel é virtualmente livre de enxofre e compostos aromáticos, pode ter como matéria-prima diversas fontes de óleos e gorduras, vegetais ou animais, além da possibilidade de utilizar óleos residuais, reduzindo o impacto destes resíduos indesejáveis na natureza. É utilizado em motores diesel sem que sejam necessárias modificações e traz segurança energética para o País, pois o controle dos preços e das reservas petrolíferas encontra-se em monopólio de países politicamente instáveis, colocando em dúvida o fornecimento do petróleo.

Por ter dimensões continentais, abundância de água, sol e área agricultável, o Brasil é apontado como um dos países com maior potencial para produção de combustíveis renováveis. A tropicalidade faz com que o País tenha vasta gama de

matérias-primas para produção de combustíveis derivados da biomassa, principalmente biodiesel.

A cadeia produtiva do biodiesel auxilia os mais diversos setores do País. Além de grandes propriedades sojicultoras, pequenas comunidades, que vivem distantes de grandes centros urbanos têm o biodiesel como fonte geradora de renda e fator de independência energética, sendo autossuficiente na obtenção de combustíveis.

Além de proporcionar maior segurança energética, o uso de biodiesel auxilia a redução da emissão de material particulado no ambiente. Tal característica é muito importante para a redução da poluição do meio ambiente e para a saúde do ser humano, principalmente em aglomerações urbanas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho e a opacidade da fumaça do trator agrícola funcionando com diferentes tipos e proporções de mistura de biodiesel com diesel em operações de preparo do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

1 Biodiesel

O cenário econômico mundial expressa contínuas taxas de crescimento na segunda década do milênio. As estimativas de desenvolvimento da economia global para os anos de 2016 e 2017 são de 3,4 e 3,6%, respectivamente. Tais números são impulsionados pela retomada de projeções econômicas positivas de economias desenvolvidas, como Estados Unidos e União Europeia, e o contínuo crescimento de países em desenvolvimento, principalmente China e Índia, cujas economias deverão crescer 7,5% em 2017 (IMF, 2015; IFM, 2016).

Concordando com as perspectivas positivas de crescimento econômico, ainda em termos globais, dados de *British Petroleum* - BP (2015), apontam aumento de 0,9% no consumo de energia primária no ano de 2015, e estimativas apresentadas por *U.S. Energy Information Administration* - EIA (2016), assinalam acréscimo de 2,3% e 3% no consumo de combustíveis derivados do petróleo em 2016 e 2017, respectivamente.

De acordo com IEA (2015), as fontes de energia renováveis representaram 13,8% de todo o montante consumido no planeta, sendo os biocombustíveis e óleos residuais responsáveis por 10,2% deste valor. Já BP (2016) afirma que cerca de 6% da geração de energia global provém de fontes renováveis. Mesmo discordando em números, ambas as agências concordam que a perspectiva do mercado mundial é de crescimento na utilização de fontes renováveis e ecologicamente mais seguras em detrimento do petróleo.

Existe correlação positiva entre aumento do Produto Interno Bruto – PIB e demanda energética (CAMPO; SARNIENTO, 2013), principalmente nos setores de construção civil, indústria, agricultura e sobretudo transporte, por ser prioritariamente dependente de combustíveis derivados de petróleo (STERN, 2004) e segundo Balat (2010), pelo transporte de bens, serviços e pessoas, o qual é responsável por 60% do consumo global de combustíveis não renováveis, ademais 20% da emissão de CO₂ provêm deste setor.

O Brasil destaca-se entre as economias emergentes pela elevada participação das fontes renováveis na matriz energética, segundo o Ministério de Minas e Energia - MME (2015), a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, no ano de 2014, foi de 39,4% (Figura 1). Tal fato explica-se devido a privilégios naturais, como a hidrografia, com vários rios de planalto, fundamental para instalação de hidrelétricas, e por ser o maior País tropical do mundo, com diferencial positivo para obter energia a partir da biomassa (NOGUEIRA, 2010).

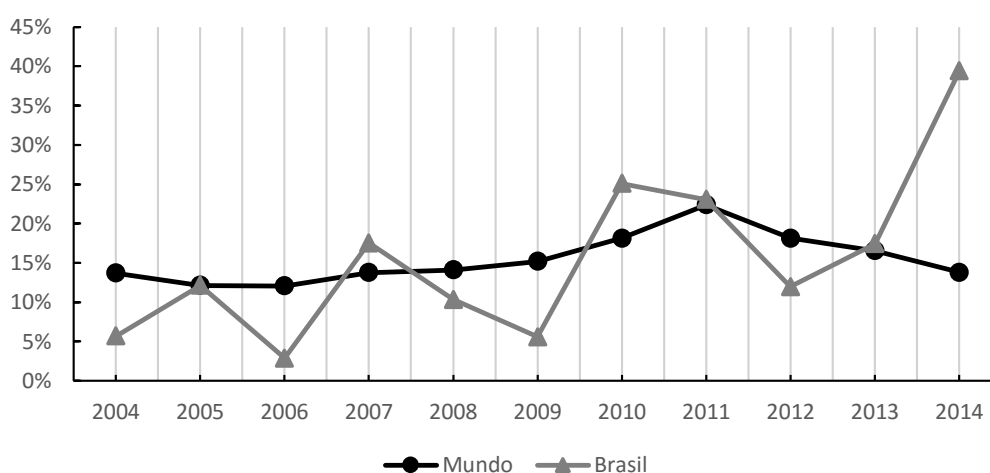


Figura 1. Participação de combustíveis renováveis como fonte de energia.

Fonte: Modificado de MME (2015) e BP (2016).

No Brasil, dentre os combustíveis renováveis, a biomassa possui forte importância, segundo a Resenha Energética Brasileira apresentada pelo MME (2015), no ano 2014, da oferta de energia proveniente da biomassa, 29,3% foram obtidos por meio de lenha, 57% originários de produtos derivados da cana-de-açúcar (bagaço e etanol) e 13,7% categorizados como outros (biodiesel, resíduos da agroindústria, lixo e resíduos de madeira). O mesmo relatório demonstra que esta fonte de energia consolida sua importância no cenário nacional, dado o crescimento de 3,3% na produção de etanol e 17,2% na produção de biodiesel.

A biomassa é tida como fonte adequada e disponível para consolidar programas de energia renovável. Óleos vegetais representam alternativa para geração descentralizada de energia, reforçando a segurança energética, atuando

como forte apoio à agricultura familiar e proporcionando melhora nas condições de vida em regiões carentes (RAMOS et al., 2003).

A primeira proposta de utilizar fontes renováveis em substituição ao combustível derivado do petróleo, no Brasil, ocorreu em 1925, através de testes utilizando álcool combustível (etanol) adicionado à gasolina (UNICA, 2007). Em 23 de setembro de 1938, o Decreto-Lei nº 737 tornou obrigatória a adição de álcool anidro à gasolina produzida no País (BRASIL, 1938).

Pesquisas visando à utilização de óleos vegetais *in natura* foram realizadas no Instituto Nacional de Tecnologia, no Instituto de Óleos do Ministério da Agricultura e no Instituto Industrial de Minas Gerais, onde há registros de estudos realizados em 1950 sobre o uso de óleo de ouricuri, mamona e algodão em motores diesel contendo 6 cilindros (PIANOVSKI Jr; VELÁSQUEZ, 2002).

Em 14 de novembro de 1975, o Decreto nº 75.593 “Instituiu o Programa Nacional do Álcool” – Proálcool, visando a reduzir a dependência de importação, que em 1975 era de 80% do consumo interno (874.000 barris/dia). Tal fato foi motivado pela intensificação da crise do petróleo que teve início em 1973 (BRASIL, 1975; UNICA, 2007).

Na década de 1980, testes com biodiesel foram realizados por meio do programa de Óleos Vegetais (OVEG), no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (ITP) do Estado de São Paulo, onde foram realizados testes em motores monocilíndricos de pequeno porte e em veículos produzidos por vários fabricantes de caminhões e motores (MEIRELLES, 2003).

No ano de 2004, foi publicada a Resolução ANP nº 42 (BRASIL, 2004), que definiu as especificações técnicas do biodiesel e estabeleceu a adição de biodiesel ao diesel na proporção de 2% em volume (B2). A Lei nº 11.097, publicada em 14 de janeiro de 2005, introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira e ampliou a competência administrativa da ANP, que passou, a partir daí, a denominar-se Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, sendo, após a publicação da citada lei, responsável pela regulamentação das atividades relativas à produção, controle de qualidade, distribuição, revenda e comercialização do biodiesel e da mistura de óleo diesel-biodiesel, e a mistura obrigatória de biodiesel no óleo diesel comercializado no País passou a ser 3% em julho de 2008, 4% em

julho de 2009, 5% em janeiro de 2010, 6% em julho de 2014 e 7% em novembro de 2014 (ANP, 2012a, ANP, 2012b; BRASIL, 2014).

A motivação para o uso de biodiesel ao redor do mundo deve-se a diferentes fatores. Na Europa, sua utilização dá-se pela questão ambiental; nos Estados Unidos, o fator principal é a questão estratégica da garantia de suprimento de combustível com preço e quantidade adequados; no Brasil, mais que desenvolver fonte energética sustentável e a perspectiva de redução das importações de óleo diesel gerando divisas para o País. O biodiesel traz outros efeitos indiretos na produção e no uso, como incremento a economias locais e regionais, tanto na etapa agrícola como na indústria de bens e serviços (FALCÃO, 2011; ANP 2012a).

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) é um programa interministerial do Governo Federal que objetiva, de forma sustentável, técnica e economicamente viável, implantar, produzir e fazer uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda (NOGUEIRA, 2010). As principais diretrizes do PNPB são: “Implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social; garantir preços competitivos, qualidade e suprimento; produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas” (MDA, 2012).

O Brasil é o segundo na classificação dos países produtores de biodiesel no mundo, dividindo posição com a Alemanha, estando ambos atrás dos Estados Unidos. Para os três primeiros colocados, a produção no ano de 2014 foi, respectivamente, 4,7 e 3,4 bilhões de litros de biodiesel (STATISTA, 2016). Segundo ANP (2016), existem 52 plantas produtoras de biodiesel autorizadas para operação no Brasil com capacidade de produzir 20,3 m³/dia de biodiesel, sendo utilizadas principalmente soja e gordura bovina como matérias-primas. Outras oleaginosas tradicionais, como algodão, dendê, girassol, canola, amendoim, mamona e óleos residuais, contribuem com pequenas quantidades de óleo. A Figura 2 mostra a evolução anual da produção, da demanda compulsória e da capacidade nominal autorizada pela ANP no País.

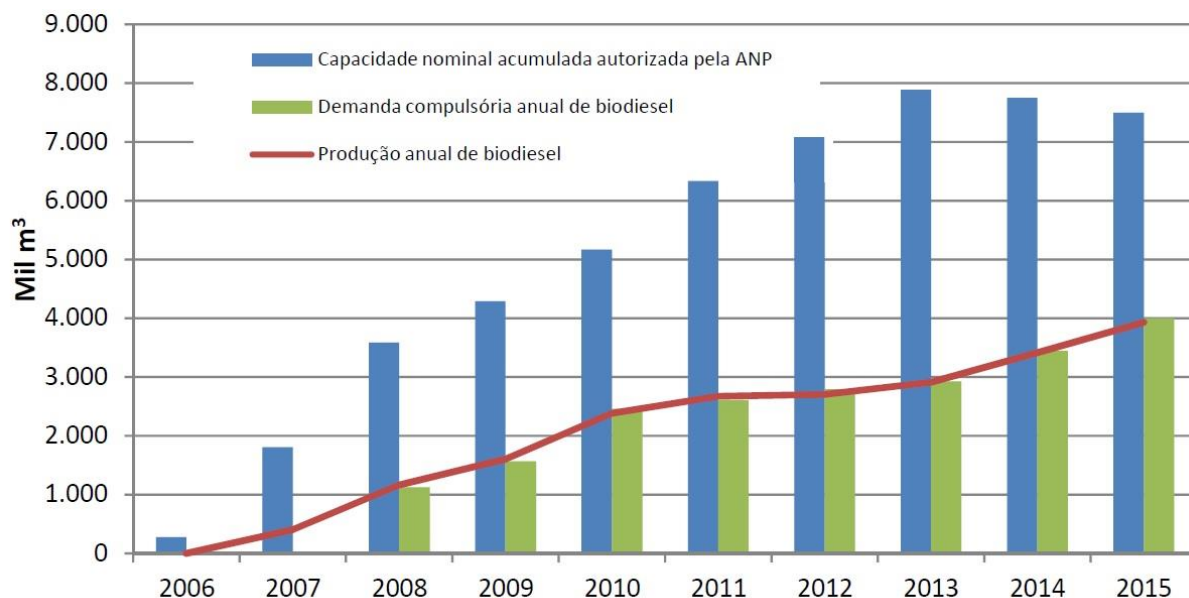


Figura 2. Evolução anual da produção, demanda compulsória e capacidade nominal no Brasil. Fonte: ANP (2016).

O potencial de produção de biocombustíveis expande-se para o Norte e Nordeste, onde, além da cana-de-açúcar, para produção do etanol, é possível cultivar mamona, amendoim, gergelim, tucumã, babaçu e outras oleaginosas (STACHIW et al., 2016). A inserção da região do Semiárido na cadeia produtiva do biodiesel é vista como uma solução para aumentar o valor do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (SANTANA; ANDRADE; FLORÊNCIO, 2007). A Tabela 1 apresenta dados da ANP (2016), e observa-se que existe grande demanda de biodiesel nestas regiões.

Tabela 1. Produção, demanda compulsória e capacidade nominal autorizada pela

| ANP por região, em janeiro de 2016. | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Região | Capacidade autorizada (m³) | Produção Mensal de Biodiesel (m³) | Demanda B100 (m³) |
| Centro-Oeste | 234.638 | 118.798 | 33.301 |
| Nordeste | 37.954 | 28.831 | 48.221 |
| Norte | 20.130 | 5.252 | 27.326 |
| Sudeste | 79.512 | 21.150 | 108.468 |
| Sul | 228.070 | 97.356 | 58.613 |
| Total | 609.303 | 271.388 | 275.965 |

FONTE: ANP, 2016.

De acordo com estudos realizados pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Ministério da Integração Nacional (MIN), a cada 1% de biodiesel que se adiciona ao óleo diesel produzido com participação da agricultura familiar, resulta-se em aproximadamente 45 mil empregos no campo, com renda média anual de R\$ 4.900,00 por emprego (SLUSZZ; MACHADO, 2006). A cadeia produtiva do biodiesel tem grande potencial de geração de empregos, promovendo, dessa forma, a inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar (KNOTHE et al., 2006).

Soja, gordura bovina e algodão são as principais matérias-primas utilizadas no Brasil (ANP, 2016). Apesar do grande potencial produtivo do País, é necessário que a expansão da cadeia produtiva do biodiesel seja realizada de forma descentralizada e que respeite a vocação regional, prevendo a expansão de áreas das oleaginosas com domínio tecnológico, incentivo ao extrativismo sustentável de espécies de palmáceas nativas – que ocorrem nas reservas naturais, em várias regiões do País, principalmente no Norte e Nordeste –, bem como incentivo ao cultivo de oleaginosas perenes, que possuam domínio tecnológico, como é o caso do dendê (PERES, 2006).

A Lei nº 11.097/2005 define biocombustível e biodiesel como: “Art. 4º, XIV - Biocombustível: combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. XV - Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (ANP, 2012b).

O biodiesel é um biocombustível proveniente de monoalquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa provenientes de fontes renováveis, pertencentes à classe química dos lipídios. Tais fontes podem apresentar-se no estado líquido (óleos) ou em estado semilíquido, pastoso ou sólido (gorduras), possuem propriedades físico-químicas similares às do óleo diesel. Óleos e gorduras são

conhecidos como triacilglicerídeos, ou seja, triésteres formados a partir de três moléculas de ácidos graxos superiores e uma molécula do propanotriol (glicerina) (ABREU et al., 2004; REGITANO-D'ARCE, 2006).

Ácidos graxos são ácidos orgânicos lineares que diferem pelo número de carbonos, pela presença e quantidade de insaturações na cadeia hidrofóbica, ou pela presença de algum grupo funcional na cadeia carbônica. Ácidos graxos sem ligações duplas são conhecidos como saturados, e aqueles que as possuem são chamados de insaturados ou poli-insaturados, quando possuem mais de uma dupla ligação. A distinção entre gorduras e óleos baseia-se em suas propriedades físicas, por exemplo, em temperatura ambiente, gorduras são sólidas e óleos são líquidos (WUST, 2004; REGITANO-D'ARCE, 2006).

Tamanho da molécula e quantidade de insaturações são determinantes do ponto de fusão dos ácidos graxos, e desta forma as particularidades da matéria-prima que será empregada para produção de biodiesel interferem nas propriedades físico-químicas do combustível. Maiores moléculas (maior cadeia de ácidos graxos) implicam maior número de cetano, que propiciará melhores condições à combustão e lubricidade do combustível. Contudo, cadeias muito grandes acarretam maior ponto de névoa, o que dificulta o uso do biodiesel em regiões com temperaturas baixas. Menor quantidade de insaturações acarretará maior número de cetano e ponto de névoa do biodiesel, porém cadeias demasiadamente insaturadas tornam o combustível quimicamente instável, podendo acarretar problemas no armazenamento, no transporte e no funcionamento do motor (KNOTHE et al., 2006; CANDEIA, 2009).

A reação para a produção do biodiesel ocorre na presença de um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, estimulado por um catalisador, do qual também se extrai a glicerina, utilizada na indústria química. Independentemente da matéria-prima utilizada, o processo de produção será semelhante, pois a reação é genericamente constituída por uma molécula de glicerol ligada covalentemente a três moléculas de um mesmo ácido graxo ou a uma molécula de três distintos ácidos graxos (R_1 , R_2 e R_3) (CÂMARA, 2006; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007). A Figura 3 apresenta a reação de alcoólise, ou transesterificação, de biodiesel.

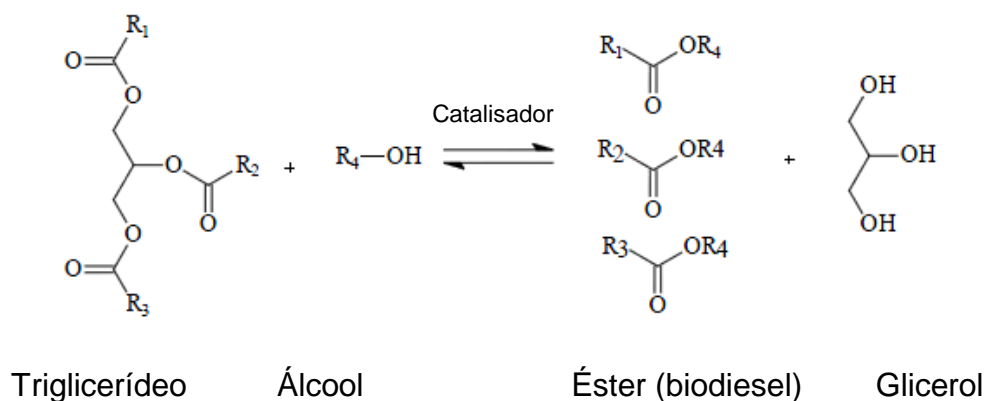


Figura 3. Reação de alcoólise (transesterificação) do triglicerídeo com álcoois.

A transesterificação pode ser catalisada tanto por ácidos como por bases na presença de um álcool, sendo metanol e etanol os mais frequentemente empregados (FERRARI, OLIVEIRA; SCABIO et al., 2005). No entanto, a reação catalisada por bases apresenta a vantagem de poder ser realizada à temperatura ambiente e, ainda assim, ser mais rápida que a transesterificação catalisada por ácidos, a qual necessita ser realizada em temperaturas elevadas (170 °C) (RINALDI et al., 2007).

Para compreender o impacto da produção do biodiesel no meio ambiente, necessita-se de um panorama dos variados componentes que formam os combustíveis. O álcool utilizado na reação pode ser de origem mineral ou vegetal e, quando mineral, apenas um percentual do CO₂ produzido pela combustão do biodiesel (no mínimo 78%) é reabsorvido. Na utilização do álcool de origem mineral, ocorre redução de 78% nas emissões de gases do efeito estufa, e de 98% nas de enxofre, contribuindo para a diminuição do aquecimento global. Sabe-se que o diesel possui quantidades substantivas de enxofre, que é extremamente nocivo ao meio ambiente local e ao homem. Já quando o álcool possui procedência vegetal, a emissão de dióxido de carbono (CO₂) proveniente da combustão do biodiesel é reabsorvida pela atividade fotossintética durante o desenvolvimento das próximas safras das biomassas das quais se produzem o álcool e o óleo, além da importância da nitrogenação natural a partir do cultivo de espécies oleaginosas, relacionado à recuperação de solos improdutivos (PARENTE, 2003).

2 Propriedades e Especificações do Biodiesel

Determinadas propriedades físicas dos óleos vegetais *in natura* limitam e até inviabilizam seu uso como combustível. Alta viscosidade, baixa volatilidade e caráter polinsaturado (baixo índice de cetano) prejudicam o funcionamento do motor, provocando combustão incompleta (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005). Para serem utilizados como combustível é necessário adequar as matérias-primas (óleos e Gorduras). No Brasil, as especificações de qualidade do biodiesel são regulamentadas de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e com as normas internacionais, como a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *International Organization for Standardization* (ISO) e *Comité Européen de Normalisation* (CEN), sendo essas regulamentadas pela ANP (KRAUSE, 2008).

Propriedades físicas e químicas do biodiesel foram padronizadas, destacando-se viscosidade cinemática, massa específica, ponto de fulgor, teor de enxofre, número de cetano, teor de glicerina livre e total. Para ser utilizado como combustível, o biodiesel deve atender às especificações mínimas de qualidade, o que não somente assegura a qualidade do combustível, mas também preserva a integridade dos veículos automotores, o meio ambiente e atende aos padrões internacionais para este produto (KRAUSE, 2008).

Independentemente da matéria-prima ou da forma de obtenção, o biodiesel deve ser introduzido no mercado nacional de combustíveis conforme especificação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Ainda que cada oleaginosa tenha suas próprias características, tanto o biodiesel de mamona, soja, palma, girassol, como o óleo de fritura são passíveis de atender à qualidade definida nesta especificação definida pela ANP (ANP, 2014).

2.1 Viscosidade

Viscosidade é a medida da resistência interna ao escoamento de um líquido, ou seja, a propriedade responsável pela resistência à deformação em determinada temperatura. Pode ser definida também como a fricção ou o atrito interno de uma

parte do fluido que escoar sobre outra superfície. A viscosidade é característica inerente ao combustível utilizado, com consequências diretas na bomba injetora. Assim como grande parte dos fluidos, diesel e biodiesel comportam-se diferentemente conforme variações da temperatura (KNOTHE et al., 2006). Dessa forma, os combustíveis devem possuir valores apropriados para funcionar nos motores disponíveis. A razão entre viscosidade e massa específica é denominada coeficiente de viscosidade cinemática (KNOTHE; STEIDLEY, 2005b).

Comparando óleos vegetais e diesel, é possível observar que os óleos vegetais possuem valores elevados de viscosidade, podendo excedê-lo em até 100 vezes, como é o caso do óleo de mamona (COSTA NETO et al., 2000). Para que não haja restrições em sua utilização, a viscosidade do biodiesel deve ser ajustada para que seja semelhante ao óleo diesel, devendo acompanhar os valores padronizados que podem variar entre 3,0 e 6,0 mm².s⁻¹, para biodiesel (B100), conforme determinado na Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014 (KNOTHE, 2005c; ANP, 2014).

De acordo com Machado (2008), o biodiesel possui, em geral, independentemente da matéria-prima, maior viscosidade que o óleo diesel. Viscosidade excessiva promove pressão demasiada no sistema de injeção, compromete a atomização, aumentando o tamanho das gotas do combustível e a penetração do jato de combustível na câmara de combustão, prejudicando a combustão, aumentando a emissão de poluentes. Caso a viscosidade seja demasiadamente baixa, o jato de combustível encontra dificuldade para penetrar na câmara de combustão e, em razão disso, afeta a combustão e reduz a eficiência do motor. Outro problema causado pela baixa viscosidade é o desgaste acelerado do sistema de alimentação por estar comprometida a propriedade lubrificante do combustível (TOTTEN, 2003).

2.2 Poder calorífico

Poder calorífico define-se como a quantidade de calor liberada por uma massa ou volume de combustível (ATABANI et al., 2012). O Regulamento Técnico ANP nº 3, anexo da Portaria ANP nº 128, de 28 de agosto de 2001, define que 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 pela entalpia de condensação da água (BRASIL, 2001). Segundo Camara (2009), em média, o poder calorífico do biodiesel é 90% do poder calorífico do diesel.

O valor de poder calorífico (MJ.kg^{-1}) difere entre as matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel e Peres et al. (2007) observam valores de $39,11 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (soja), $39,00 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (mamona), $39,08 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (pinhão-manso), $40,1 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (óleo de frango) e $39,33 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (sebo bovino) e $42,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ do diesel. A Tabela 2 apresenta características físico-químicas do biodiesel de diferentes tipos de biodiesel e do óleo diesel.

Tabela 2. Características físico-químicas de diferentes tipos de biodiesel de várias espécies vegetais e do óleo diesel.

| Características | Origem do Biodiesel | | | | | |
|----------------------------------------------|---------------------|--------|-------|---------|-------|--------|
| | Mamona | Babaçu | Dendê | Algodão | Soja | Diesel |
| Poder calorífico (kcal/kg) | 9046 | 9440 | 9530 | 9520 | - | 10824 |
| Ponto de névoa (°C) | -6 | -6 | 6 | - | - | 1 |
| Índice de cetano | - | 65 | - | 57,5 | 57,8 | 45,8 |
| Massa específica a 20 °C (kg/m^3) | 919 | 886,5 | 859,7 | 875 | 877,5 | 849,7 |
| Inflamabilidade (°C) | 208 | - | - | 184 | - | 55 |
| Teor de cinzas (%) | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,014 |
| Teor de enxofre (%) | 0 | - | - | - | 0,075 | 0,24 |
| Resíduo e carbono (%) | 0,09 | 0,03 | 0,02 | - | 0,14 | 0,35 |

Fonte: Costa Neto et al (2000)

2.3 Número de Cetano

Nos motores ciclo diesel, o início da combustão ocorre com a autoignição do combustível, ou seja: o ar atmosférico aspirado para o interior da câmara de combustão é comprimido pelo pistão, o que gera aumento de temperatura, e imediatamente antes do instante em que o processo de combustão deve ser iniciado, o combustível é injetado. O tempo decorrido entre o início da combustão denomina-se atraso de ignição. O atraso decorre em consequência do tempo requerido para a pulverização, o aquecimento e vaporização do combustível e a autoignição (TEIXEIRA, 2010).

Uma forma de qualificar a ignição de um combustível é pelo seu número de cetano (NC). O número de cetano é a expressão adimensional da qualidade de ignição do óleo diesel determinado em motores-padrão CFR (*Cooperative Fuel Research*). A escala de cetano tem intervalo compreendido entre 15 e 100; sendo atribuído o valor 15 ao início da escala, correspondente à ignição do 2,2,4,4,6,8,8-7 heptametilnonano (hidrocarboneto de cadeia altamente ramificada, $C_{16}H_{34}$). Da mesma forma, ao final da escala, foi atribuído o valor 100, correspondente à ignição do hexadecano (hidrocarboneto de cadeia linear, $C_{16}H_{34}$, conhecido popularmente como cetano). No entanto, as características moleculares influenciam na qualidade da ignição, em que ela mesma diminui com a redução do comprimento da cadeia e com o aumento das ramificações. Destaca-se que o número médio de cetano para o diesel é em torno de 40, e para o biodiesel, em torno de 60 (KNOTHE, 2005a).

O número de cetano varia conforme a matéria-prima utilizada na produção do biodiesel, pois está relacionado com a distribuição dos ácidos graxos na cadeia. Quanto maior e mais saturada a cadeia de carbono, maior o número de cetano (VAN GERPEN, 1996).

Maior número de cetano é encontrado quando a matéria-prima provém de palmeiras, e menor, quando se utilizam óleo de soja, mamona, óleo de girassol e óleo de semente de uvas (BAMGBOYE, 2008; RAMOS, 2009). Peres et al. (2007), avaliando o número de cetano para diversos tipos de biodiesel, observaram valores de 52,15 (soja), 46,50 (mamona), 55,15 (pinhão-manso), 58,70 (óleo de frango) e 69,00 (sebo bovino).

2.4 Lubricidade

Lubricidade é a propriedade de uma substância em interpor uma película entre dois corpos, cuja função é formar uma camada livre na superfície do metal, reduzindo fricção e, conseqüentemente, desgaste (LILJEDAHN et al., 1989). A redução da concentração de enxofre no óleo diesel ocasiona a remoção de compostos aromáticos policíclicos com grupos polares de nitrogênio e oxigênio, acarretando problemas de lubrificação nas partes moveis das bombas injetoras (WADIMESTHRIGE et al., 2009; KNOTHE; STADLEY. 2005d). Por apresentar maior viscosidade, o biodiesel proporciona maior lubricidade que o diesel; por outro lado, o biodiesel possui estruturas moleculares mais simples que os triglicerídeos; logo, a viscosidade é comparativamente menor que a do óleo utilizado na obtenção, apresentando maior eficiência de queima e redução significativa da deposição de resíduos nas partes internas do motor (LÔBO et al., 2009).

2.5 Densidade

A importância de se conhecer a densidade do combustível faz-se necessária, pois esta afeta diretamente o desempenho do motor. Características de performance, como número de cetano e lubricidade, estão diretamente relacionadas à densidade (ALPTEKIN; CANAKCI, 2008).

O biodiesel possui poder calorífico 10% menor que o diesel; entretanto, maiores valores de densidade podem compensar, em parte, menores valores de conteúdo energético por unidade de massa. Sabendo que o sistema injetor trabalha a partir de dosagens de volume, combustíveis com baixo conteúdo energético para uma mesma unidade de volume podem provocar queda nos valores de potência gerados (VAN GERPEN, 2006). Ademais, o sistema de alimentação mensura o combustível em volume; portanto, caso haja grande variação na densidade do combustível, a potência do motor poderá ser comprometida devido à diferença de massa de combustível injetada (BAHADUR et al., 1995).

3 Murumuru

Os estados do Norte do Brasil possuem grande diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. Desde o início do século XX até durante a Segunda Guerra Mundial, o Brasil exportou cerca de 40 tipos diferentes de óleos vegetais extraídos de plantas nativas da Amazônia (GONZALEZ et al., 2008). O bioma amazônico destaca-se pela diversidade de espécies que podem ser utilizadas como fontes de óleos vegetais. Explorar esta diversidade de oleaginosas nativas, para a produção de biodiesel, pode contribuir para o abastecimento de microunidades industriais, conferindo autossuficiência local na produção de combustíveis, além de fortalecer a economia local (FREITAS; PENTEADO, 2006).

A palmeira do murumuru, ou murumuzeiro, (*Astrocaryum murumuru* MART), é encontrada no bioma amazônico na Colômbia, Venezuela, Guianas, Equador, Peru, Bolívia (FERREIRA, 2011). No Brasil, está presente no estuário do Rio Amazonas e afluentes, assim como no alto e baixo Amazonas (ALTMAN, 1958; BALICK, 1979). São comumente frequentes em florestas de várzea e na foz do Rio Amazonas, sendo usual localizar-se entre as primeiras espécies em densidade nos inventários fitossociológicos (QUEIROZ, 2004; ALMEIDA, 2004).

Queiroz et al. (2005) e Bentes-Gama et al. (2002) apontam que, no estuário amazônico, entre os Estados do Amapá e Pará, a família Arecaceae é abundante em florestas de várzea, sendo o açaí representado por 207 plantas por hectare, e o murumuru por 160 plantas por hectare, sendo o padrão de dispersão das plantas aleatório, e a dispersão, realizada usualmente pelo movimento dos rios, animais terrestres e aquáticos.

O murumuzeiro é espécie perene não domesticada (SOUZA; TEREZZA, 2000 *apud* QUEIROZ et al., 2008). Segundo Ferreira (2011), a palmeira do murumuru é cespitosa, fortemente armada com longos espinhos negros. Pode atingir até 15 m de altura, apresenta 8 a 15 folhas pinadas, rígidas, com até 6 m de comprimento e 38 a 133 pinas lineares em cada lado da raque (Figura 4). As pinas estão regularmente arranjadas e dispostas em um plano (Figura 5). Os frutos ficam dispostos nos cachos voltados para a copa da planta, tendo em média 4 ou 5 cachos por ano, com média de 300 frutos por cacho, com média de 8,81 kg de frutos por cacho (SOUZA et al., 2004; QUEIROZ et al., 2008).



Figura 4. *Astrocaryum murumuru* MART (murumuru).

Fonte: Bezerra, 2012.



Figura 5. Cacho de *Astrocaryum murumuru* MART (murumuru).

Fonte: Bezerra, 2012.

Os frutos são heterogêneos em tamanho e coloração, além de serem assimétricos (BEZERRA, 2012). Quando maduros, possuem coloração avermelhada e são identificados pelo formato oblongo e ovoide, quando cocos possuem formato comprido, redondo e aboelado, com tamanho varando de 3 a 8,5 (Figura 6) (QUEIROZ et al., 2008).

Pesce (1941) afirma que a massa média do caroço do murumuru é de 12 g e contém de 50 a 55% de casca lenhosa e 45 a 50% de amêndoa, e as amêndoas possuem de 40 a 42% de óleo. Segundo Sousa et al. (2004), cada palmeira de murumuru produz cerca de quatro cachos/ano, com média de 300 frutos/cacho, sendo 1.200 frutos/cacho/ano ou 4,5 sacos de 42 kg de coco, totalizando 189 kg de coco. Conforme Pereira et al. (2006), considerando extração mínima de 16,12% de óleo na semente e 4,05% do fruto inteiro, pode-se concluir que cada palmeira de murumuru produzirá 30,46 L de óleo originado da semente e 7,66 L originados do fruto, totalizando 38,12 L de óleo/palmeira/ano.



Figura 6. Corte dos frutos de *Astrocaryum murumuru* MART (murumuru).

Fonte: Bezerra et al., 2012.

O produto extraído das amêndoas do murumuruzeiro possui coloração creme e aspecto sólido (BEZERRA, 2012). É altamente utilizado na indústria de cosméticos para fabricação de sabonetes, cremes, xampus, como secativo, emulsificantes, sabões e tensoativos (SOUSA et al., 2004), devido à concentração de ácidos graxos láuricos (54,60%). A gordura também pode ser utilizada na industrialização da margarina (GONZALES, 2008). O óleo do fruto do murumuru é rico em ácidos graxos, sendo predominantes no óleo extraído da polpa o grupo oleico ($\geq 57\%$ ácido oleico), e o óleo da amêndoa, o grupo láurico ($\geq 77\%$ de ácido láurico) (MAMBRIM; BARRERA-ARELLAANO, 1997).

Tabela 3. Perfil de composição em Ácidos Graxos de Ésteres do óleo de murumuru.

| Ácidos Graxos | Ésteres etílicos (%) | Ésteres metílicos (%) |
|---------------|----------------------|-----------------------|
| C-6:0 | 1,2 | -- |
| C-8:0 | 1,3 | 1,85 |
| C-10:0 | -- | 1,85 |
| C-12:0 | 47,8 | 46,32 |
| C-14:0 | 29,0 | 30,66 |
| C-16:0 | 8,9 | 8,0 |
| C-18:0 | 3,1 | 3,10 |
| C-18:1 | -- | 6,65 |
| C-18:2 | -- | 1,45 |
| C-18:3 | 6,3 | -- |

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2007).

Segundo Bezerra (2012), o óleo do murumuzeiro possui características físicas e químicas dentro dos padrões estabelecidos pela ANP. Nascimento et al. (2007) afirmam que o óleo extraído do endosperma do murumuru detêm potencial de produção em escala industrial para síntese de biodiesel, devido ao grande índice de correlação entre os parâmetros normalmente estudados para tal finalidade. Teixeira et al. (2010) também apontam a satisfatória viabilidade do murumuru como possível matéria-prima a ser usada para produção de biodiesel, podendo trazer vantagens socioeconômicas para a região Amazônica, pois ocorrerá geração de renda para as comunidades locais.

Tabela 4. Composição do biodiesel de óleo de murumuru.

| Ésteres | Biodiesel de murumuru (%massa) |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Laurato de Etila (eC-12:00) | 48,24 |
| Maristato de Etila (eC-14:00) | 32,22 |
| Palmitato de Etila (eC-16:00) | 6,56 |
| Estearato de Etila (eC-18:00) | 3,07 |
| Oleato de Etila (eC-18:1) | 7,39 |
| Linoleato de Etila (eC-18:2) | 2,52 |

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2007).

Ao analisar a viabilidade do uso de murumuru como matéria-prima para produção de biodiesel, Lopes et al. (2007) concluíram que, por possuir altos teores de ácidos graxos saturados, principalmente láurico e mirístico, têm boas perspectivas de fornecer alquil ésteres indicados como aditivos de mistura com diesel ou para serem utilizados diretamente como combustível

Para as comunidades da região Amazônica, muitas vezes isoladas de qualquer tecnologia, a utilização do óleo de murumuru como fonte de biocombustível para motores estacionários, pode ser alternativa factível, já que a palmeira é nativa, abundante e está dispersa por todo o território amazônico (BEZERRA, 2008). O óleo de murumuru tem como vantagem a qualidade de difícil rancificação, devido à riqueza em ácidos graxos saturados de cadeia curta, como o láurico e o mirístico (LOPES et al., 2007).

4 Soja

A soja cultivada comercialmente (*Glycine Max* L.) é leguminosa de ciclo anual, originária do extremo Oriente, onde é cultivada há milhares de anos. Possui grande variabilidade genética, principalmente devido à intervenção humana. É planta subtropical; entretanto, devido ao melhoramento genético, pode ser cultivada até a latitude de 52°N (CAVALETT, 2008). Apesar de ser cultivada no Oriente há mais de 5 mil anos (EMPRABA, 2012), somente após 1920 agricultores americanos iniciaram o cultivo da soja em larga escala, que era usada principalmente como insumo para ração animal (HIN, 2002). O primeiro registro de cultivo de soja no Brasil é datado de 1914, no município de Santa Rosa-RS. Mas foi somente a partir dos anos 40 que ela adquiriu alguma importância econômica, merecendo o primeiro registro estatístico nacional em 1941, no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul (EMPRABA, 2012). Até meados de 1970, 80% da produção brasileira concentravam-se na região Sul. Após o ano 2000, o cultivo avançou por todo o cerrado e chegou até à região Norte do País.

O melhoramento genético da cultura da soja nos cerrados desempenha papel fundamental para a ocupação agropecuária da região Centro-Oeste

(SPEHAR; MONTEIRO; ZUFFO, 1993). A seleção de genótipos com alta produtividade de grãos e elevados teores de proteína e óleo é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento (ROCHA; VELLO, 1999).

No ano de 2010, a produção de soja no Brasil concentrou-se nos Estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, responsáveis por 82% da produção nacional. A abertura de novas áreas no Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia criou novas fronteiras agrícolas, cuja participação no mercado foi de 13% da produção brasileira (AGRICULTURA, 2011).

Na safra de 2015/2016, a produção de soja no Brasil foi de 101,2 milhões de toneladas, e a cultura da soja foi responsável por 56,8% da área cultivada do Brasil, estimando-se crescimento de 3,6% (1,2 milhão de hectares) na área cultivada para a safra seguinte (CONAB, 2016). A Figura 7 demonstra a distribuição geográfica da produção de soja brasileira.

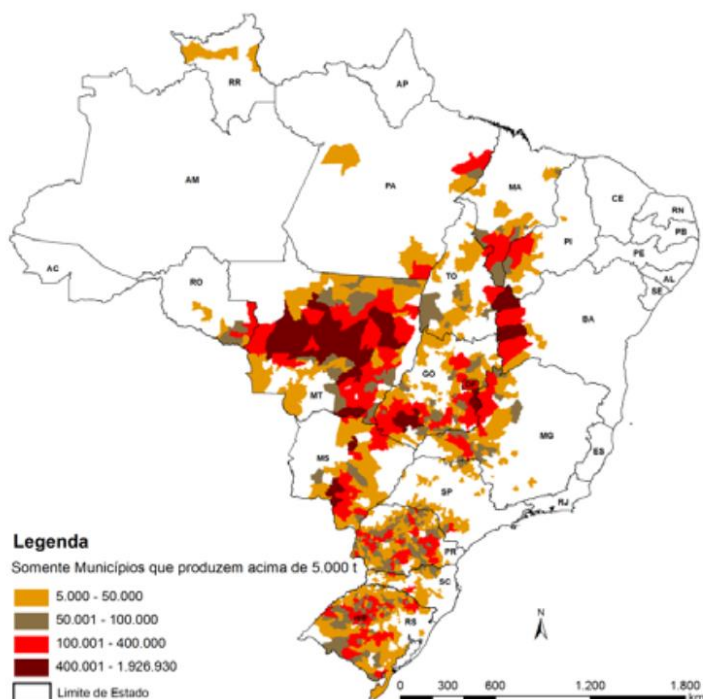


Figura 7 – Mapa da produção agrícola de soja no Brasil.

Fonte: CONAB, 2016.

Entre 1987/1988 e 2010/2011, a área cultivada no planeta cresceu 90,2%, já a produção se expandiu em 154,7% (USDA, 2016a). A produção de soja na safra de 2014/2015 foi de 317 milhões de toneladas e a área plantada foi de 118,13 milhões

de hectares. Já na safra 2015/2016, 320.2 milhões de toneladas, sendo que a produção de soja está concentrada em três países: Estados Unidos, Brasil e Argentina, responsáveis pela produção de 35, 27 e 19%, da soja do mundo, respectivamente (USDA, 2016b). As projeções demonstram crescimento contínuo do ano de 2013 a 2020, sendo o aumento de 25% para 2020 (Figura 8) (ABIOVE, 2013).

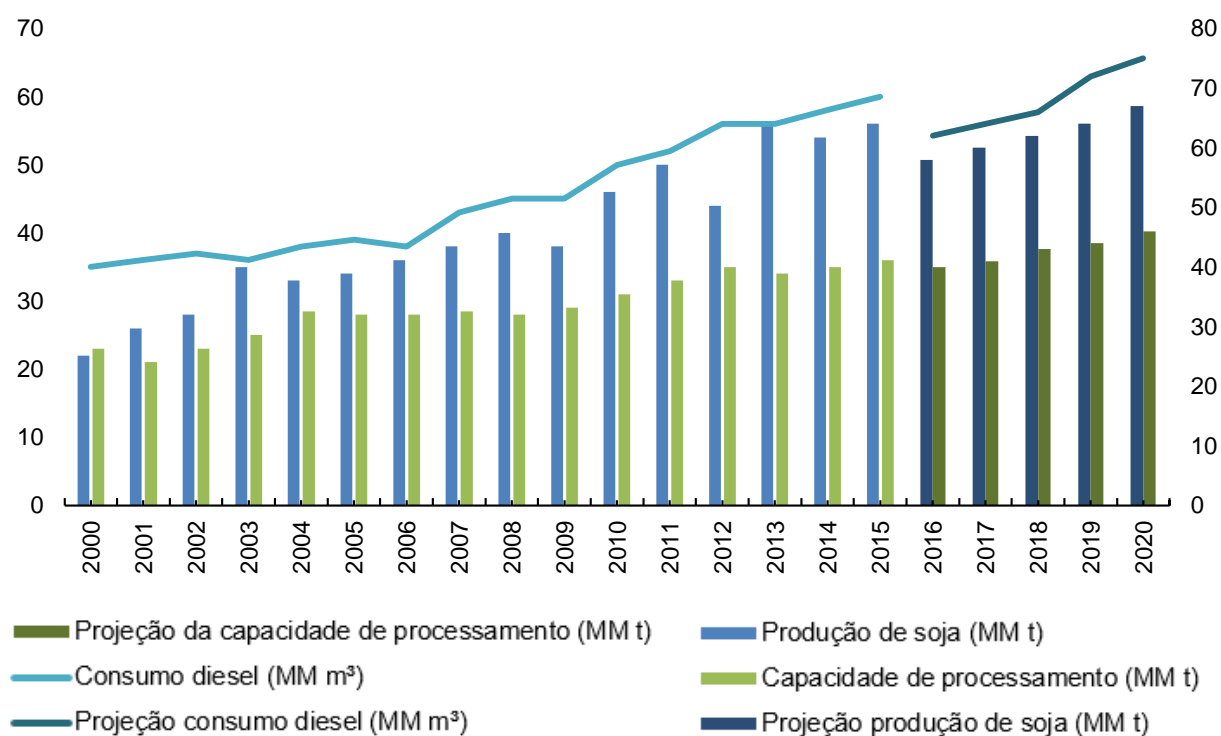


Figura 8. Projeção de longo prazo: soja (produção e processamento) e diesel.

Fonte: ABIOVE (2013).

O grão da soja é constituído principalmente por proteínas, lipídios, carboidratos, cinzas e aminoácidos, com teor de óleo nas sementes entre 15 e 20%, composto majoritariamente por triacilglicerídeos, como os ácidos graxos palmítico (11%), esteárico (4%), oleico (24%), linoleico (54%) e linolênico (7%) (CANDEIA, 2008).

Muitos produtos e subprodutos da indústria alimentícia e química têm como matéria-prima o grão da soja. É utilizada na indústria de adesivos, na alimentação animal, em adubos, formulador de espumas, fibras, revestimentos, papel e emulsão

de água para tintas, achocolatados, embutidos de carne, iogurtes, sorvetes, óleos, substitutos do leite e outros, revelando a sua importância atual (EMBRAPA, 2006).

Mesmo sendo oleaginosa com teor de óleo consideravelmente abaixo do amendoim (50%), da mamona (47%), da palma (45%), do girassol (45%), do pinhão-manso (37%) e do nabo-forrageiro (36%), a utilização da soja é vista pelos governantes e empresários brasileiros como boa opção para a produção de biodiesel. Motivado pelos expressivos números de produção, a soja vem sendo usada como a principal matéria-prima para a fabricação de biodiesel (SCHLESINGER; NORONHA, 2006; CAVALETT, 2008; ANP, 2016).

Devido à alta concentração de ésteres de ácidos graxos insaturados, o biodiesel de soja possui propriedades físico-químicas e fluidodinâmicas desejáveis. Contudo, apresenta limitações nas propriedades referentes à estabilidade térmica e oxidativa (CALIXTO, 2011). Candeia et al. (2009) analisaram a influência da concentração do biodiesel metílico e etílico de soja nas proporções 5; 15; 25 e 50%, em mistura com o diesel e observaram aumento da viscosidade, diminuição da volatilidade das misturas e diminuição nas emissões de CO₂ e SO_x, variações atribuídas ao aumento da cadeia e ao aumento da concentração de biodiesel na mistura (biodiesel/diesel).

Tabela 5. Composição do biodiesel de óleo de soja.

| Ácido Graxo | Biodiesel de soja (concentração %) | |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| | Calderari (2011) | Ferrari, Oliveira e Scabio. (2005) |
| Mirístico | 0,1 | - |
| Palmítico | 10,5 | 11,29 |
| Esteárico | 3,2 | 3,54 |
| Oleico | 22,3 | 22,45 |
| Linoleico | 54,5 | 54,62 |
| Linolênico | 8,3 | 8,11 |
| Eicosanoico | 0,2 | - |
| Eicosenoico | 0,9 | - |

Segundo ANP (2016), 72,24% do biodiesel produzido no Brasil têm como fonte a soja. Todavia, os grandes empresários da soja esperam manter a participação em cerca de 90% do mercado, expectativa que acompanha a

perspectiva da participação da cultura da soja no setor de óleos brasileiro, cuja a participação prevista para 2020 é de 86% do mercado (ASSIS; ZUCARELLI, 2007; ABIOVE, 2013).

5 Motor Diesel

Em motores de combustão externa, os produtos da combustão, ar e combustível, transmitem o calor produzido a um fluido que toma a si a tarefa de produzir o trabalho. Nos motores de combustão interna, os produtos da combustão são os executores do trabalho. Devido a esta diferença, os motores de combustão interna são menores, mais leves e mais eficientes (OBERT, 1971).

O motor diesel foi idealizado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel, em 1893, que desenvolveu um motor de ignição por compressão, que leva seu nome: um motor de combustão interna cujo funcionamento se dá pela compressão do ar a altas taxas, com adição do combustível dentro da câmara do cilindro e autoignição, cujo movimento alternativo do pistão é convertido em movimento de rotação por um mecanismo de manivela (MARTINS, 2007).

Inicialmente, Rudolf Diesel utilizou carvão pulverizado, injetado por ar comprimido, como combustível; entretanto, o funcionamento do motor não foi satisfatório. Posteriormente, adotou-se a utilização de óleo cru como combustível, sendo a partida realizada com gasolina (BEHAR, 1978). O motor ciclo diesel foi apresentado ao mercado em 1898, com 10 cv de potência, e rapidamente começou a ser fabricado em toda a Alemanha. Uma das primeiras empresas a produzir motores Diesel foi a Benz & Cia (CARVALHO et al., 2000).

A popularidade do motor cresceu em virtude do uso do óleo diesel como combustível - até então o óleo diesel era tratado como resíduo indesejado do refino da gasolina (VAN GERPEN, 2006).

O motor diesel destaca-se principalmente pela sua eficiência, durabilidade, capacidade de gerar torque em baixa rotação e o baixo nível de monóxido de carbono emitido na combustão. Estes são utilizados em diversas aplicações, e sendo a principal fonte de energia no setor de transporte, pode ser empregado no transporte público, transporte de cargas, veículos leves, geradores de energia

elétrica, indústria naval, mineração, etc. A matriz de transporte de cargas no Brasil é composta majoritariamente por transporte Rodoviário, Ferroviário e Aquaviário, cuja participação é de 61,1 %, 20,7 % e 13,6%, respectivamente, e estes, também, têm como fonte de potência motores ciclo diesel (CNT, 2015).

Empresas agropecuárias de médio e grande portes contam com máquinas dotadas de motor diesel para preparar o solo, semear, cultivar, aplicar defensivos, fertilizantes e na colheita em geral (MIRANOWSKI, 2005). A utilização de motores diesel na agricultura é indiscutível devido à robustez, confiabilidade, maior produção de torque e vida útil, apresentando menor consumo e rendimento superior quando comparados aos motores ciclo Otto para a referida finalidade. O ciclo Diesel realiza-se em dois ou quatro tempos, da mesma maneira que o ciclo Otto; entretanto, os motores dos tratores nacionais e os pequenos motores diesel estacionários, de uso largamente difundido no meio rural, em quase sua totalidade são de quatro tempos (MIALHE, 1980).

Reis et al. (1999) ressaltam a importância dos motores diesel como fonte de potência no meio rural, equipando tratores. Tal fato fica evidente quando se estima que quase a metade do consumo final de combustível do setor agropecuário se deve ao uso destes equipamentos.

Das emissões veiculares, cerca de 70% de monóxido de carbono, 50% de óxido nitroso e 42% dos VOCs (sigla na língua inglesa de “compostos orgânicos voláteis”) são provenientes de motores de combustão interna. Para reduzir a contaminação do ambiente e enquadrar-se nas novas regras de emissão de poluentes, a indústria de motores trabalha em modificações estruturais nos motores e na adição de novos componentes que acarretam a melhoria do desempenho, reduzam o consumo de combustível e emissão de poluentes. A adição de sobrealimentadores (*turbocharger, turbo*) e permutadores de calor (*intercooler, aftercooler*) tem-se mostrado método eficaz para resolver estes problemas (CANLI, 2010).

O permutador de calor do ar (*intercooler*) é montado à frente do sistema de arrefecimento do motor (radiador). O ar ambiente é succionado pelo sistema de ventilação, sendo forçado a atravessar os dois sistemas de arrefecimento, coletando o calor excessivo existente em ambos (BRADY, 1996).

Nos motores equipados com sobrealimentadores, especialmente em maiores rotações e com maior carga, o *turbo* tende a elevar a temperatura do ar admitido, consequentemente a quantidade de ar introduzida na câmara de combustão diminui. Para evitar a redução da qualidade e da potência do motor, utiliza-se o *intercooler* para reduzir a temperatura do ar que será admitido na câmara de combustão (UZUN, 2010). Ao fornecer mais oxigênio, através da turbina sobrealimentadora, concomitante com o uso do *intercooler*, os motores lançam menor carga de contaminantes no ar, reduzem o consumo específico de combustível e os pistões trabalham com velocidade reduzida, com potência satisfatória, resultando em melhor eficiência mecânica (DARICI et al., 2010). A Figura 9 ilustra a posição do sistema intercooler em trator.

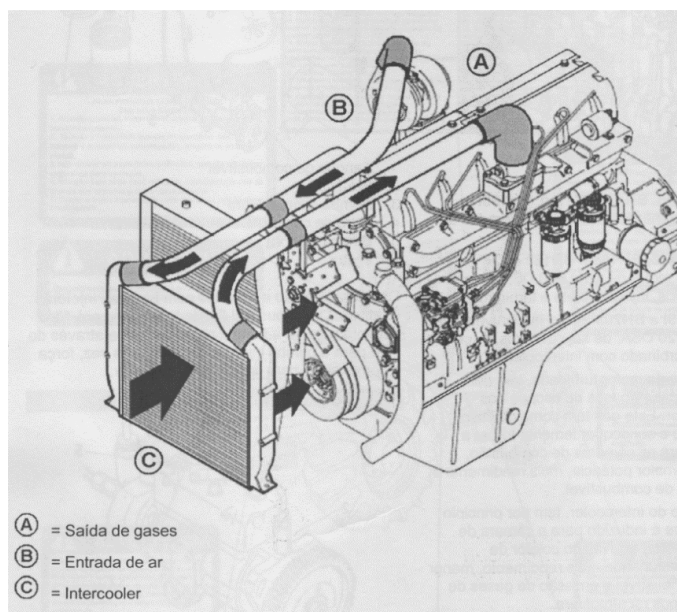


Figura 9. Sistema intercooler no trator BM 125i.

Fonte: Valtra, 2012.

6 Emissão de gases e material particulado

O efeito estufa é um fenômeno térmico de aquecimento da superfície da Terra que se tem se agravado devido à ação do homem. Este é causado pelo acúmulo de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera que retêm, de forma excessiva, parte do

calor oriundo do Sol na superfície terrestre. O efeito estufa é um fenômeno natural, e a vida na Terra, como nós a conhecemos hoje, só é possível graças a ele. Em uma atmosfera livre de GEEs, a temperatura média na superfície terrestre passaria dos atuais 15 °C positivos para cerca de 6 °C negativos, e de forma inversa a concentração dos GEEs pode aumentar a temperatura média da superfície terrestre e de sua atmosfera (HOUGHTON, 1997; SCHNEIDER, 1989).

Desde a revolução industrial, as atividades econômicas e industriais ocasionaram alterações significativas na biosfera do planeta. Pode-se citar, por exemplo, o aumento de quase 35 % na concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera de cerca de 280 partes por milhão em volume, ppmV, no período da pré-revolução industrial, no século XVIII, para 379 ppmV em 2005, sendo 75% desses gases oriundos da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento. A mudança de uso da terra, devido ao desmatamento, contribuiu de forma significativa para tal aumento (IPCC, 2007). Segundo Baumert, Herzog e Pershing (2005), no ano de 2000, o setor de energia foi responsável por 61,3% das emissões mundiais dos gases de efeito estufa, e as mudanças no uso da terra e a agricultura contribuíram com 18,2 e 13,5%, respectivamente. Poluentes atmosféricos, quando em altas concentrações, podem afetar a saúde das populações, além de danificar as estruturas e o próprio ambiente (PEREIRA; DANTAS, 2007).

As emissões do motor diesel estão ligadas à qualidade da queima do combustível que influencia na combustão. Na modelagem simplificada, para a combustão completa de hidrocarbonetos, os únicos produtos possíveis, resultantes da reação de combustão são, CO_2 , H_2O e N_2 . O O_2 estará presente como resultante quando ocorre sobrealimentação; se a quantidade de ar fornecida for menor do que o ar teórico necessário, pode-se incluir entre os produtos resultantes o C ou o CO. Se o combustível for conhecido e a reação for completa, as quantidades de produtos podem ser determinadas a partir da aplicação do princípio da conservação da massa à equação química.

Segundo Oliveira e Costa (2007), as vantagens do biodiesel sobre combustíveis derivados de petróleo são: redução da quantidade de óxidos de carbono e enxofre, causadores, respectivamente, do aquecimento global e da chuva

ácida. O dióxido de carbono, liberado na queima do biodiesel, está inserido no ciclo do carbono, sendo absorvido pela oleaginosa durante o crescimento.

Vários trabalhos têm sido realizados sobre as propriedades do biodiesel e de suas emissões (ZHU, 2010). A substituição de diesel por misturas com biodiesel e as plantações de oleaginosas, como dendê e babaçu, permitem ao País obter créditos de carbono, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estudos mostram que a cultura do dendê é capaz de capturar 36 toneladas de CO₂ da atmosfera por hectare cultivado, enquanto a capacidade do pínus é de 5 toneladas de CO₂ por hectare (BELMIRO et al., 2007).

Segundo DeltaCO₂ (2013), a redução nas emissões de GEE do biodiesel de soja produzido no Mato Grosso e no Mato Grosso do Sul, em relação ao diesel utilizado como referência pela Diretiva Europeia (2009/28/EC) varia de 68 a 72%. De acordo com Mendonça (2007), para cada tonelada de biodiesel de soja produzido, sequestra-se 1,124 tonelada de CO₂ equivalente; já para cada tonelada de óleo diesel produzido e utilizado, ocorre emissão de 3,55 toneladas do mesmo gás.

Além da redução na emissão de GEE, outro benefício em utilizar-se biodiesel dá-se pelas presenças grupo éster e oxigênio na molécula, que favorecem a queima mais completa do biodiesel, resultando em menor quantidade de fuligem. Essa característica do biodiesel é de grande importância para a qualidade do ar nas grandes cidades, uma vez que a fuligem é, em grande parte, composta por substâncias poliaromáticas, com grande potencial cancerígeno (RINALDI et al., 2007).

Nos ensaios com motor diesel, a intensidade de material particulado presente na fumaça é medida por meio da opacidade da fumaça, que indica a impenetrabilidade da luz, sendo que quanto mais escura for a fumaça, maior será a opacidade e, conseqüentemente, a quantidade de material particulado. O opacímetro de fluxo parcial é uma das ferramentas utilizadas para determinar a opacidade da fumaça do gás de escape, e este aparelho coleta parte do fluxo de gás, através da sonda e do tubo de captação acoplados no cano de escape do veículo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

1 Área experimental

O experimento foi desenvolvido no Laboratório Biocombustível e Ensaio de Máquinas, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, possui localização geodésica definida pelas coordenadas 21°15' latitude sul e 48°18' longitude oeste, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2 °C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa (UNESP, 2016). O clima da região, segundo a classificação de Köeppen, é do tipo Cwa, definido como subtropical com inverno seco em transição para o Aw, tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (KOTTEK et al., 2006).

2 Solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, com relevo suave ondulado e declividade média de 3%, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (ANDREOLI; CENTURION, 1999). O teor médio de água no dia do ensaio, no perfil de 0-15 e 15-30 cm de profundidade, foi 11,2 e 13,4%, respectivamente, segundo o método gravimétrico-padrão. A análise granulométrica da camada de 0-20 cm para argila, silte, areia fina e areia grossa foi 51; 29; 10 e 10%, respectivamente, sendo o mesmo classificado como textura argilosa.

3 Diesel

Utilizou-se óleo diesel interior, classificado de acordo com a resolução da ANP Nº 42, de 16 de dezembro 2009 (ANP, 2009), tendo quantidade de enxofre total máxima de 1.800 mg.kg^{-1} e massa específica de 860 kg.m^{-3} adquirido na cidade de Jaboticabal– SP.

4 Biodiesel

Foram utilizados cinco tipos de biodiesel, soja refinada, murumuru refinado, S90M10 (90% biodiesel de soja e 10% biodiesel de murumuru), S80M20 (80% biodiesel de soja e 20% biodiesel de murumuru), S70M30 (70% biodiesel de soja e 30% biodiesel de murumuru). As misturas de biodiesel no diesel foram realizadas no momento de cada ensaio. O processo de produção e o fornecimento dos biocombustíveis ficaram a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL, da Universidade de São Paulo-USP, Câmpus de Ribeirão Preto. As misturas dos tipos de biodiesel e do biodiesel no diesel foram realizadas no momento de cada ensaio.

5 Tratores

O trator utilizado nos testes foi da marca Valtra, modelo BM 125i, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv) a 2.300 rpm, conforme norma ISO1585 (ISO, 2010), equipado com turbocompressor e *intercooler*, massa total de 7.000 kg, distribuídos em 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, relação massa/potência de 76 kg/kW (56 kg/cv), equipado com pneus 14.9-26 no eixo dianteiro e 23.1-30 no eixo traseiro, estando os referidos pneus calibrados conforme recomendação do fabricante.

O Trator de frenagem utilizado foi da marca Valmet, modelo 118-4, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 82,43 kW (112 cv) no motor a 2.400 rpm, massa total de 7.310 kg, distribuídos em 40% e 60%, respectivamente, nos eixos

dianteiro e traseiro, equipado com pneus 14.9-28 no eixo dianteiro e 23.1-30 no eixo traseiro.

6 Instrumentação do trator-teste para o ensaio de desempenho

O trator de ensaios utilizado encontra-se instrumentado com protótipo para medir o combustível desenvolvido e descrito por Lopes (2006).

6.1 Velocidade de deslocamento

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

6.2 Força na barra de tração

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

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

6.3 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado, obtendo-se volume e temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora e volume e temperatura

do combustível que retorna ao tanque, sendo o combustível consumido a diferença entre as duas determinações. A temperatura do combustível medida foi utilizada para a correção da densidade do combustível.

O sistema de aquisição de dados consiste em dois conjuntos: um para alimentação da bomba injetora e outro para retorno. Cada conjunto contém um medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSF 41, com precisão de 1% sobre a vazão nominal e a vazão máxima de 100 L h^{-1} , um sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100 Ohms a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$), com faixa de medida de $-200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em mL, e a temperatura, em $^{\circ}\text{C}$. O sistema conta com três depósitos auxiliares de combustível, permitindo a realização de ensaios com vários tipos ou misturas de combustíveis sem contaminar o tanque original do trator.



Figura 10. Vista lateral do trator-teste com instrumentação completa.

Fonte: Lopes (2006)

6.4 Sistema de aquisição de dados

Todos os transdutores e sensores foram alimentados a partir de uma bateria auxiliar, montada junto ao sistema de aquisição de dados. Os dados referentes ao consumo de combustível, à temperatura do combustível, à força na barra de tração,

à rotação dos rodados, à rotação da tomada de potência e à velocidade de deslocamento foram monitorados e armazenados em um sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific, modelo Microllogger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232) para um computador, a fim de serem processados.

7 Instrumentação do trator-teste para o ensaio de opacidade da fumaça

7.1 Opacímetro

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

Em motores diesel, o gás de escapamento contém partículas suspensas que, ao serem atravessadas por um fecho de luz, obscurecem, refletem ou refratam a luz. A diferença de luminosidade é processada pelo equipamento, enviada ao controlador serial da marca Tecnomotor, modelo TM 616, que recebe os sinais do sensor e converte-os em unidade de medida. Tal equipamento exporta os dados convertidos para computadores, por meio de conexão serial, cuja interface é especificamente o *software* denominado IGOR, versão 2.0, que gerencia os dados. Os equipamentos estão apresentados nas Figuras 11 e 12.

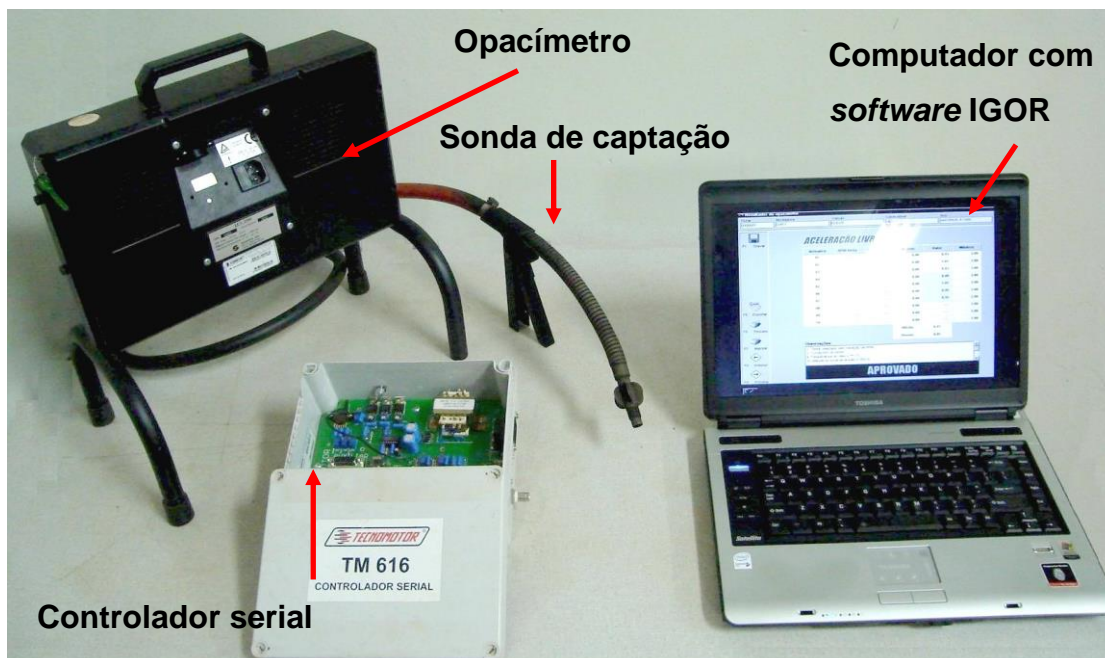


Figura 11. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.

Fonte: Lopes (2006)



Figura 12. Vista do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.

Fonte: Lopes (2006)

8 Condução do trabalho

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

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

9 Delineamento experimental

Ambos os ensaios foram realizados com delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo os dados analisados em esquema fatorial $5 \times 7 \times 4$, totalizando 140 observações. As combinações foram cinco tipos de combustíveis (soja, murumuru, 90S10M, 80S20M e 70S30M) e sete proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100, em que a letra indica a presença de biodiesel e o número a percentagem de biodiesel no diesel). No ensaio de desempenho, cada parcela experimental possuía 40 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, havia reservado um espaço de 15 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização do conjunto motomecanizado em cada tratamento. A localização e a distribuição das repetições de cada tratamento na área do ensaio de desempenho encontram-se ilustradas na Figura 13.

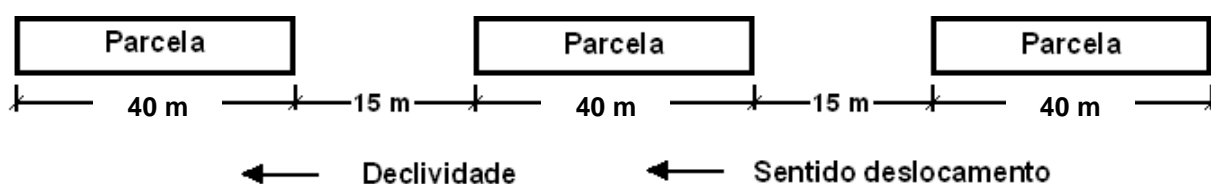


Figura 13. Esquema das parcelas.

10 Tratamentos

As combinações e qualificações dos tratamentos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I e II.

| Tratamentos | Biodiesel | Proporção (%) | | Designação |
|-------------|-----------|---------------|--------|------------|
| | | Biodiesel | Diesel | |
| P1 | Soja | 0 | 100 | B0 |
| P2 | | 5 | 95 | B5 |
| P3 | | 15 | 85 | B15 |
| P4 | | 25 | 75 | B25 |
| P5 | | 50 | 50 | B50 |
| P6 | | 75 | 25 | B75 |
| P7 | | 100 | 0 | B100 |
| P1 | Murumuru | 0 | 100 | B0 |
| P2 | | 5 | 95 | B5 |
| P3 | | 15 | 85 | B15 |
| P4 | | 25 | 75 | B25 |
| P5 | | 50 | 50 | B50 |
| P6 | | 75 | 25 | B75 |
| P7 | | 100 | 0 | B100 |
| P8 | 90S10M | 0 | 100 | B0 |
| P9 | | 5 | 95 | B5 |
| P10 | | 15 | 85 | B15 |
| P11 | | 25 | 75 | B25 |
| P12 | | 50 | 50 | B50 |
| P13 | | 75 | 25 | B75 |
| P14 | | 100 | 0 | B100 |
| P15 | 80S20M | 0 | 100 | B0 |
| P16 | | 5 | 95 | B5 |
| P17 | | 15 | 85 | B15 |
| P18 | | 25 | 75 | B25 |
| P19 | | 50 | 50 | B50 |
| P20 | | 75 | 25 | B75 |
| P21 | | 100 | 0 | B100 |
| P22 | 70S30M | 0 | 100 | B0 |
| P23 | | 5 | 95 | B5 |
| P24 | | 15 | 85 | B15 |
| P25 | | 25 | 75 | B25 |
| P26 | | 50 | 50 | B50 |
| P27 | | 75 | 25 | B75 |
| P28 | | 100 | 0 | B100 |

11 Ensaio I - Desempenho do trator

11.1 Ensaio preliminar

Com a finalidade de definir a carga na barra de tração do trator-teste correspondente ao esforço máximo, tecnicamente viável, que o trator-teste pôde tracionar, realizou-se um ensaio preliminar, também denominado experimento-piloto. O ensaio consistiu na operação de escarificação em área anexa à área experimental. Utilizou-se de escarificador de arrasto Marchesan, modelo AST/MATIC 7, com massa total de 1.400 kg. Esse equipamento constitui-se de cinco hastes espaçadas de 45 cm entre si, ponteiros com 8 cm de largura, sem asa, discos de corte de palha para cada haste, sistema de segurança de desarme automático e rolo destorroador. O equipamento foi regulado para trabalhar à profundidade média de 30 cm e relação espaçamento/profundidade de 1,5. A força de tração necessária para realizar essa operação foi mensurada em aproximadamente 23 kN. Para a força mensurada, a patinagem ficou em torno de 10%, conforme recomendada pela ASAE (2006).

11.2 Uso dos tratores

Devido à grande variabilidade observada na resistência do solo durante o experimento-piloto, o escarificador foi substituído por um segundo trator, denominado trator de frenagem. O trator de frenagem foi acoplado ao trator-teste por meio de um cabo de aço, formando um comboio, em virtude da combinação de marchas do trator de frenagem (4^o marcha, no grupo L e tração dianteira acionada), o esforço na barra de tração foi semelhante à escarificação a 30 cm de profundidade, ressaltando-se que tal carga foi obtida por meio da combinação de marchas do trator de frenagem, com tal força sendo de 23 kN, conforme obtido no teste-piloto.

No momento dos ensaios, o trator-teste operou a 2.000 RPM, com tração dianteira auxiliar (TDA) ligada, sendo a velocidade de trabalho e a carga necessária obtidas por meio da combinação do câmbio em 3ª marcha, no grupo L. A dinâmica do ensaio é ilustrada conforme Figura 14.



Figura 14. Dinâmica do ensaio de desempenho.

Fonte: Lopes (2006)

Em todas as parcelas, procurando estabilizar as determinações, o trator-teste iniciava o movimento num espaço de 15 m, antes da primeira baliza que demarcava o início da avaliação. Quando o referencial do trator, centro do rodado traseiro, coincidia com a primeira baliza, era acionado o sistema de aquisição de dados. O procedimento era interrompido quando decorriam os 40 m de comprimento da parcela, momento em que o centro do rodado traseiro coincidia com a segunda baliza.

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

- Tempo de percurso;
- Velocidade real de deslocamento;
- Força integrada;
- Volume de combustível consumido;
- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora, e
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora.

11.3 Velocidade real de deslocamento

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

11.4 Força média na barra de tração

A força média exercida na barra de tração pelo trator de teste foi determinada de forma direta pela célula de carga. Os valores fornecidos em kgf foram transformados em kN, conforme Equação 1:

$$FT = \left(\frac{Ft}{1.000} \right) * 9,81 \quad (1)$$

em que,

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

Ft = força de tração média (kgf), e

1.000 e 9,81 = fatores de conversão.

11.5 Potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi determinada de forma indireta, conforme Equação 2:

$$PB = FT * \left(\frac{Vel}{3,6} \right) \quad (2)$$

em que,

PB = potência na barra de tração (kW);

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

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

3,6 = fator de conversão.

11.6 Consumo de combustível

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

11.6.1 Consumo horário volumétrico - CHV

Com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário volumétrico, conforme Equação 3:

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

em que,

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

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

3,6 = fator de conversão.

A importância de se medir o consumo volumétrico dá-se por esta ser a informação mais utilizada entre os agricultores para a aferição do gasto de combustível, uma vez que este dado é de simples obtenção e de fácil análise.

11.6.2 Consumo horário ponderal - CHP

Para o cálculo do consumo horário ponderal, consideraram-se a influência da densidade do combustível de alimentação e a vazão de retorno no momento do teste, conforme Equação 4:

$$Chp = \frac{(Va * Dca - Vr * Dcr)}{t} * 0,0036 \quad (4)$$

em que,

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

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

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

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

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

0,0036 = fator de conversão.

O consumo horário ponderal é importante para os profissionais que trabalham na distribuição de combustíveis, na qual se leva em consideração o volume que sai da origem e a que chega ao destino. Deve-se lembrar de que, para o funcionamento do motor, existe relação ideal entre massa de ar e massa de combustível, daí outra necessidade de transformar a forma volumétrica em ponderal.

11.6.3 Consumo específico - CE

Consumo específico é o consumo de combustível expresso em unidade de massa por unidade de potência requerida na barra de tração, conforme Equação 5:

$$Ce = \left(\frac{Chp}{PB} \right) * 1.000 \quad (5)$$

em que,

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

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

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

1.000 = fator de conversão.

O Ce , é a forma mais utilizada no meio científico e para indústria fabricante de tratores, pois leva em consideração a quantidade de combustível consumida, potência desenvolvida e a densidade do produto, assim esta é a forma mais recomendada para comparar tratamentos.

11.7 Densidade do combustível

Ao longo de uma jornada de trabalho, a temperatura em ambiente protegido pode variar de 12,5 a 30,6 °C, caso particular medido em série de 30 anos em Jaboticabal, conforme UNESP (2006). Porém, em condição de ambiente não protegido, como é o caso do trabalho de tratores, pode ser observada temperatura de até 45 °C ao meio-dia. Nessas condições, ressalta-se, entretanto, que a temperatura do combustível no tanque das máquinas pode variar de 12,5 a 50 °C (LOPES, 2006). Por esse motivo, quando se avaliou o consumo de combustível, determinou-se também como a densidade do mesmo varia em função da temperatura e da proporção de mistura de diesel e biodiesel. Para essa finalidade, utilizou-se de balança de precisão, manta aquecedora e termômetro digital. No momento das avaliações, a temperatura ambiente era superior ao menor limite de temperatura do ensaio, por isso a amostra do combustível foi submersa em gelo, a fim de que a temperatura se reduzisse a 15 °C, que correspondia ao limite inferior do ensaio. A partir desse ponto, a amostra foi aquecida até atingir a temperatura de 70 °C, limite máximo do ensaio. No início da determinação, a 15 °C, mediu-se volume de 100 mL, verificou-se a massa e, depois, foi monitorada a variação volumétrica referente ao acréscimo de cada 5 °C. Tal procedimento foi repetido para as cinco proporções de misturas. Com base na análise de variância, os dados foram ajustados por meio do modelo de maior grau significativo. Esse procedimento originou um modelo quadrático, conforme a Equação 6 (LOPES et al., 2003):

$$D = -0,0095T^2 + 0,00173P^2 - 0,0124T + 0,5723P - 0,0016TP + 851 \quad (6)$$

em que,

D = densidade da mistura do diesel interior e do biodiesel (kg m^{-3});

T = temperatura do combustível (°C), e

P = proporção de biodiesel (%).

12 Ensaio II - Opacidade da Fumaça do Motor do Trator

Os ensaios foram realizados de acordo com o método da aceleração livre, que é o regime de rotação a que o motor é submetido com o acelerador em seu curso máximo, permanecendo nessa condição por 1 a 4 segundos, sendo a potência desenvolvida absorvida somente pela inércia dos componentes mecânicos do motor (embreagem, árvore primária da caixa de mudanças), uma vez que o veículo está estacionado. As medições de opacidade são feitas em K, que é o coeficiente de absorção de luz, e tem como unidade m^{-1} (SAE, 1996; TECNOMOTOR, 2012).

Ao término de cada determinação, realizou-se a drenagem completa do sistema de alimentação, evitando, com isso, a contaminação do ensaio seguinte. Além disso, depois de trocado o combustível, o motor permaneceu em funcionamento por dez minutos antes do início de cada teste.

13 Análise estatística

13.1 Análise de variância e teste de médias

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, conforme recomendação de Banzatto e Kronka (2006).

13.2 Análise de regressão

Para consumo específico e opacidade da fumaça, foi estudado modelo de ajuste de regressão que fosse mais adequado para explicar o comportamento dessas variáveis em função da proporção de biodiesel. Para o caso da densidade, procurou-se o modelo de superfície de resposta que explicasse essa variável em função da temperatura e da proporção de biodiesel.

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio I – Desempenho do trator

Os resultados de desempenho do trator estão apresentados na forma de Tabelas, Figuras e Equações. Nessas Tabelas, os dados referentes aos fatores Tipo e Proporção de biodiesel representaram médias de 28 e 20 observações, respectivamente.

Tabela 7. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis força média na barra, potência média na barra e velocidade de deslocamento.

| Fatores | Força kN | Potência kW | Velocidade km.h ⁻¹ |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Tipo de Biodiesel (TB) | | | |
| Murumuru | 25,79 a | 40,5 a | 5,7 a |
| Soja | 25,79 a | 40,5 a | 5,7 a |
| 90S10M | 25,77 a | 40,4 a | 5,7 a |
| 80S20M | 25,77 a | 40,5 a | 5,7 a |
| 70S30M | 25,75 a | 40,1 a | 5,7 a |
| Proporção de Biodiesel (Bn) | | | |
| B0 | 25,80 a | 40,4 a | 5,7 a |
| B5 | 25,75 a | 40,4 a | 5,7 a |
| B15 | 25,77 a | 40,5 a | 5,7 a |
| B25 | 25,80 a | 40,3 a | 5,7 a |
| B50 | 25,77 a | 40,5 a | 5,7 a |
| B75 | 25,74 a | 40,4 a | 5,7 a |
| B100 | 25,80 a | 40,5 a | 5,7 a |
| TESTE F | | | |
| TB | 0,19 ^{NS} | 1,05 ^{NS} | 0,68 ^{NS} |
| B _n | 0,29 ^{NS} | 0,96 ^{NS} | 0,64 ^{NS} |
| TBxB _n | 1,60 ^{NS} | 1,05 ^{NS} | 1,08 ^{NS} |
| C.V.(%) | 0,83 | 2,13 | 2,32 |

** significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: 7coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.1.1 Velocidade de deslocamento

Verifica-se, na Tabela 7, que o tipo de biodiesel ou de proporções de mistura não influenciou na velocidade de deslocamento do trator. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Soranso et al. (2008) e Camara (2009).

4.1.2 Força e Potência na barra

Verifica-se, na Tabela 6, que os fatores tipo de biodiesel e proporção de biodiesel não influenciaram na força e na potência na barra de tração, cuja média foi 25,7 kN e 40,4 kW, respectivamente. Tal comportamento é explicado por ser a referida variável produto da força, que fora mantida invariavelmente próxima a 25 kN. Os resultados observados corroboram Camara (2009). Estes resultados comprovam que o uso de biodiesel em trator agrícola não afeta a força e a potência disponível na barra de tração mesmo que este tenha menor poder calorífico que o óleo diesel. Para que não haja comprometimento na força e na potência disponível na barra de tração, a diferença do poder calorífico dos combustíveis é compensada por maior demanda de combustível (LIMA, 2012).

4.1.3 Consumo de combustível

Na Tabela 8, encontram-se a síntese da análise de variância e o teste de médias, para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.

Tabela 8. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce).

| Fatores | Chv L h ⁻¹ | Chp kg h ⁻¹ | Ce g kW h ⁻¹ |
|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de Biodiesel (TB) | | | |
| Murumuru | 13,9 b | 11,0 b | 282 |
| Soja | 14,0 b | 12,2 a | 305 |
| 90S10M | 14,6 a | 12,1 a | 287 |
| 80S20M | 14,3 ab | 12,3 a | 291 |
| 70S30M | 14,3 ab | 12,1 a | 297 |
| Proporção de Biodiesel (Bn) | | | |
| B0 | 14,4 a | 11,8 bc | 275 |
| B5 | 14,0 a | 11,6 c | 277 |
| B15 | 14,2 a | 11,9 bc | 283 |
| B25 | 14,1 a | 11,8 c | 287 |
| B50 | 14,1 a | 11,9 bc | 296 |
| B75 | 14,4 a | 12,3 ab | 308 |
| B100 | 14,2 a | 12,5 a | 321 |
| TESTE F | | | |
| TB | 5,23 ** | 18,36 ** | 23,57 ** |
| B _n | 1,15 NS | 5,80 ** | 59,22 ** |
| TBxB _n | 1,23 NS | 0,57 NS | 1,69 * |
| C.V.(%) | 4,03 | 5,00 | 2,92 |

** significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.1.3.1 Consumo horário volumétrico

O consumo horário volumétrico (CHV) é a diferença entre o volume admitido pelo sistema de alimentação e o montante que retorna ao tanque de armazenamento. Para esta variável, como pode ser observado na Tabela 8, a diferença entre o menor consumo (murumuru) e o maior (90S10M) foi de 4,79%. Não houve diferença estatística entre murumuru, soja, 80S20M e 70S30M. Os dados obtidos corroboram aqueles de Neves et al. (2013) e Lima et al. (2012), que ao estudarem tipos de biodiesel em trator agrícola observaram diferentes CHVs ao utilizar biodiesel produzido por meio de matérias-primas distintas. Segundo estes autores, a diferença de consumo entre diferentes tipos de combustíveis pode estar relacionada ao número de cetano.

Com relação à proporção de mistura, não houve diferença estatística entre as médias observadas (Tabela 8). Lopes (2006), Soranso et al. (2008) e Oliveira (2015) obtiveram resultados diferentes, estudando diferentes proporções de mistura de biodiesel e diesel, em tratores agrícolas desprovidos de sistema *intercooler*. Tais autores observaram relação diretamente proporcional entre o aumento de biodiesel na mistura e CHV, sendo este comportamento atribuído ao menor poder calorífico do biodiesel utilizado.

No caso aqui apresentado, atribui-se o comportamento diferenciado em relação ao CHV a dois fatores: presença de intercooler no trator-teste e o poder calorífico do biodiesel de soja e de palmeiras. De acordo com Uzun (2010), o consumo de combustível de um motor diesel reduz entre 3 e 12% quando ele possui sistema *intercooler*, sendo admissível que o efeito diminutivo observado para o diesel se aplique também para o biodiesel, dada as semelhanças químicas e físicas entre os dois combustíveis. Ademais, biodiesel derivado de palmeiras e soja possui poder calorífico maior que demais fontes de biodiesel, como mamona, podendo dessa forma não ser possível observar diferença significativa para esta variável. Sánchez (2011), estudando a adição de biodiesel de palma no diesel, observou que a redução do poder calorífico de B0 e B30 é 2,5%.

4.1.3.2 Consumo horário ponderal

Pelos resultados expressos na Tabela 8, observa-se diferença significativa para Chp na variável tipo de combustível. Comparado com biodiesel de murumuru, o aumento no consumo foi de 10,9; 10; 11,8 e 10% para biodiesel de soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M, respectivamente. Analisando a proporção de biodiesel, nota-se que o consumo ponderal foi semelhante entre as proporções B0, B5, B15, B25 e B50, sendo B0, B15 e B50 semelhantes a B75, e B75 e B100, não apresentando diferença estatística significativa. Os resultados observados para Chp podem ser explicados devido a esta variável levar em consideração a densidade do combustível, que por sua vez está diretamente ligada à sua estrutura molecular. Os compostos presentes no biodiesel apresentam maiores cadeias carbônicas que os do óleo diesel; portanto, quanto maior a concentração de biodiesel na mistura, maior será a concentração de alquísteres com cadeia carbonônica mais longa, sendo maior a densidade, reduzindo a eficiência do combustível.

4.1.3.3 Consumo específico

Devido à interação ocorrida, os dados de Consumo específico (Ce) foram desdobrados e apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável Consumo específico (g kW h⁻¹).

| Tipo de combustível | Proporção de Biodiesel | | | | | | |
|---------------------|------------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|---------|
| | B0 | B5 | B15 | B25 | B50 | B75 | B100 |
| Murumuru | 275 Abc | 272 Ac | 269 Bc | 274 Bc | 280 Bbc | 296 Cab | 306 Ba |
| Soja | 275 Ad | 288 Acd | 306 Abc | 312 Aab | 309 Abc | 316 ABab | 330 Aa |
| 90S10M | 275 Acd | 269 Ad | 277 Bcd | 283 Bbcd | 291 ABbc | 300 BCab | 315 ABa |
| 80S20M | 275 Ad | 276 Ad | 279 Bcd | 283 Bcd | 298 ABbc | 307 ABCab | 322 ABa |
| 70S30M | 275 Ac | 282 Abc | 283 Bbc | 286 Bbc | 300 Ab | 323 Aa | 333 Aa |

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

O Consumo específico é a relação entre a massa de combustível utilizada por unidade de potência durante o regime de trabalho. Pela Tabela 9, para proporção de mistura (linha), o Consumo específico do biodiesel de murumuru foi semelhante a B0, nas proporções B5, B15, B25, B50 e B75. B75 e B100 não diferiram entre si. Para o biodiesel de soja, B0 e B5 apresentaram consumos semelhantes. B15, B25, B50 e B75 não apresentaram diferença entre si, e B100, B75 e B25 também foram estatisticamente semelhantes para esta variável.

Para 90S10M, as proporções B0, B5, B15, B25 e B50 não diferiram entre si estatisticamente, e as médias de B50 e B75 foram semelhantes, assim como B75 e B100. Não houve diferenças significativas entre as proporções B0, B5, B15 e B25 de 80S20M e 70S30M. B50 de 80S20M apresentou resultados semelhantes a B15, B25 e B75, assim como B75 e B100. Já B50 de 70S30M não diferiu de B5, B15 e B25, assim como as médias de B75 e B100 não foram diferentes entre si.

O incremento médio no Consumo específico, comparando B0 com B100, foi de 11,3%, 20%, 14,5%, 17,1% e 21,1% para murumuru, soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M. Valores similares foram encontrados por Lopes et al. (2009) e Grabiski e McCormick (1998). Estas diferenças ocorrem devido à maior densidade e ao menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, conforme Castellaneli et al. (2008) e Murugesan et al. (2009).

Observa-se o aumento do consumo de combustível com incremento da proporção de biodiesel na mistura. Geralmente misturas de biodiesel têm maior Consumo específico, e este comportamento segue a taxa de incremento de biodiesel na mistura. Uma razão para isso é o aumento da necessidade de combustível para manter a mesma potência necessária para realizar determinado trabalho, devido ao menor poder calorífico do biodiesel. Outra razão para o aumento do C_e refere-se à atomização pobre de misturas de biodiesel. O biodiesel e suas misturas possuem maior densidade e viscosidade cinemática em comparação com o diesel (ALPTEKIN; CANAKCI, 2008). Quando comparado, o Chv das misturas de biodiesel foi semelhante, porém o C_e foi maior, pois a maior densidade do biodiesel compensa a diferença em poder calorífico, ou seja, em fluxo de combustível, o consumo manteve-se igual, mas ao avaliar massa de combustível, o sistema de alimentação fornece mais combustível.

Pela Tabela 9, observa-se que o Consumo específico para tipos de combustíveis (na coluna) não foi estatisticamente diferente nas proporções B0 e B5. Para as misturas B15 e B25, o combustível derivado do óleo de soja diferiu dos demais. Nas proporções B50, B75 e B100, murumuru, 90S10M e 80S20M não se diferenciaram estatisticamente, assim como Soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M foram semelhantes entre si nas proporções B50 e B100. Comparando B100 de murumuru, a diferença no Consumo específico foi 8%, 3%, 5%, e 9% maior, para soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M, respectivamente.

Diferentes fontes de combustível possuem diferentes propriedades físicas e químicas, e a diferença de consumo entre dois tipos distintos de combustível pode ser explicada, em parte, pelo número de cetano. Maior número de cetano está relacionado ao biodiesel que tem palmeiras como matéria-prima e menor número para biodiesel de soja (PERES et al., 2007; RAMOS et al., 2009; TONG e JIANG, 2011; KNOTHE, 2014).

O consumo específico médio em função do tipo de biodiesel e a proporção de mistura foram ajustados, resultando em modelos lineares, conforme ilustrado na Figura 15.

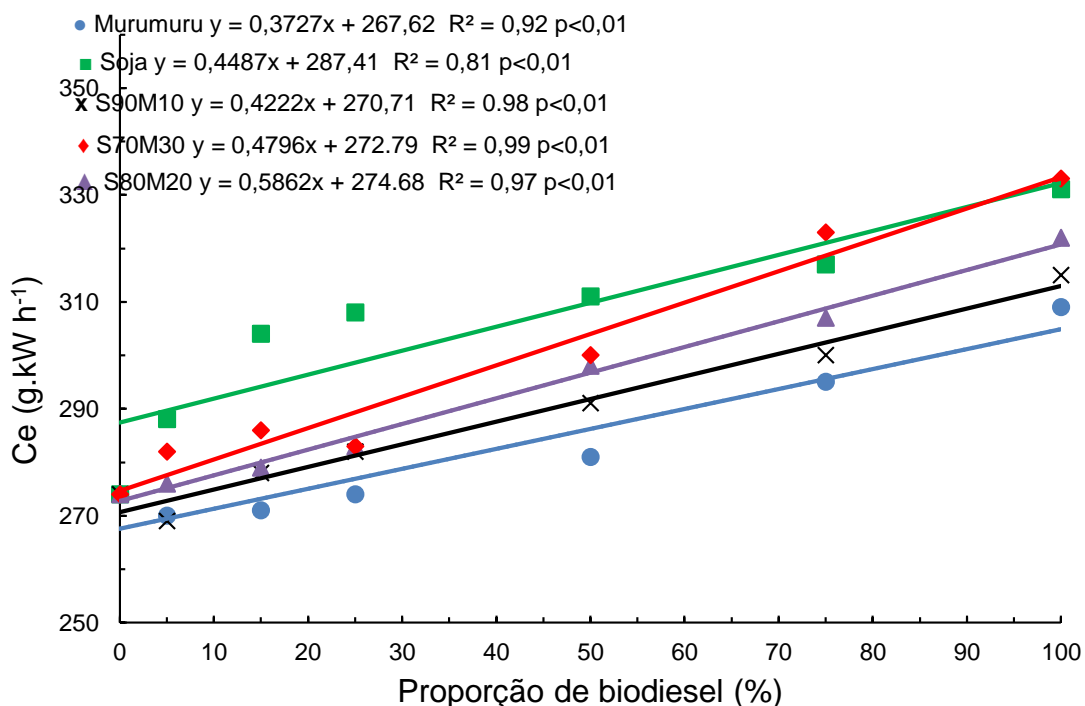


Figura 15. Modelo de regressão para o Consumo específico (Ce) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel.

4.2 Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator

Na Tabela 10, encontram-se os resultados da opacidade da fumaça. Devido à interação ocorrida, os dados foram desdobrados e apresentados na Tabela 9.

Tabela 10. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça.

| Fatores | Opacidade (m ⁻¹) |
|------------------------------------|----------------------------------------|
| Tipo de Biodiesel (TB) | |
| Murumuru | 1,75 |
| Soja | 2,14 |
| 90S10M | 1,97 |
| 80S20M | 1,91 |
| 70S30M | 2,04 |
| Proporção de Biodiesel (Bn) | |
| B0 | 2,17 |
| B5 | 2,24 |
| B15 | 2,18 |
| B25 | 2,16 |
| B50 | 1,93 |
| B75 | 1,66 |
| B100 | 1,39 |
| TESTE F | |
| TB | 488,23 ** |
| B _n | 1717,60 ** |
| TBxB _n | 25,65 ** |
| C.V.(%) | 3,09 |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 11. Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).

| Tipo de Combustível | Proporção de Biodiesel | | | | | | |
|---------------------|------------------------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
| | B0 | B5 | B15 | B25 | B50 | B75 | B100 |
| Murumuru | 2,17 Aa | 2,04 Cb | 1,98 Cbc | 1,93 Cc | 1,70 Dd | 1,39 De | 1,05 Df |
| Soja | 2,17 Ab | 2,36 Aa | 2,34 Aa | 2,33 Aa | 2,16 Ab | 1,95 Ac | 1,67 Ad |
| 90S10M | 2,17 Aab | 2,24 Ba | 2,15 Bb | 2,10 Bb | 1,98 Bc | 1,66 Bc | 1,51 Be |
| 80S20M | 2,17 Aab | 2,21 Ba | 2,15 Bab | 2,14 Bb | 1,79 Cc | 1,59 Cd | 1,35 Ce |
| 70S30M | 2,17 Ac | 2,39 Aa | 2,29 Ab | 2,34 Aab | 2,03 Bd | 1,71 Be | 1,37 Cf |

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

Na Tabela 11, encontram-se os resultados da opacidade da fumaça. Avaliando proporções de misturas, quando comparadas com B0, a opacidade da fumaça reduziu crescentemente, segundo a adição de biodiesel na mistura a partir da proporção B5 de murumuru, B75 de soja, B50 de 90S10M, 80S20M e 70S30M. Comparando-se B0 e B100, a redução da opacidade da fumaça foi de 52%, 23%, 30%, 38% e 37% para murumuru, soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M, respectivamente. Confrontando os tipos de biodiesel, observa-se que a opacidade da fumaça proveniente do biodiesel de murumuru foi menor que os demais combustíveis em todas as proporções. Soja e 70S30M apresentaram resultados semelhantes nas proporções B5, B15 e B25. O mesmo comportamento foi observado para 90S10M e 80S20M. Comparando-se a opacidade da fumaça de B100 de murumuru com os demais combustíveis, foi maior em 59%, 44%, 29% e 30% para soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M.

A eficácia da combustão em motores ciclo diesel guarda relação com o número de cetano do combustível. Quanto maior o número de cetano, mais curto será o tempo de ignição, que resulta em melhor queima do combustível. Maior número de cetano é encontrado quando a matéria-prima provém de palmeiras e menor quando se utiliza óleo de soja (BAMGBOYE, 2008; RAMOS, 2009). Atribui-se ao número de cetano a diferença observada entre os tipos de biodiesel.

Já a diferença na opacidade das proporções de mistura dá-se pela presença de aproximadamente 11% de oxigênio no biodiesel. Por haver maior disponibilidade

de comburente na câmara de combustão, a queima do combustível dá-se á de maneira mais uniforme e completa, reduzindo as emissões de diversos gases poluentes, tais como monóxido de carbono, hidrocarbonetos, enxofre e material particulado (PIANOVSKI JÚNIOR; VELÁSQUEZ, 2002; GRABOSKI; McCORMICK, 1998; OLIVEIRA et al., 2015). Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes (2006), Camara (2009) e Koike et al. 2010.

Após analisados, os dados da opacidade da fumaça foram ajustados, resultando em modelos lineares, conforme ilustrado na Figura 16.

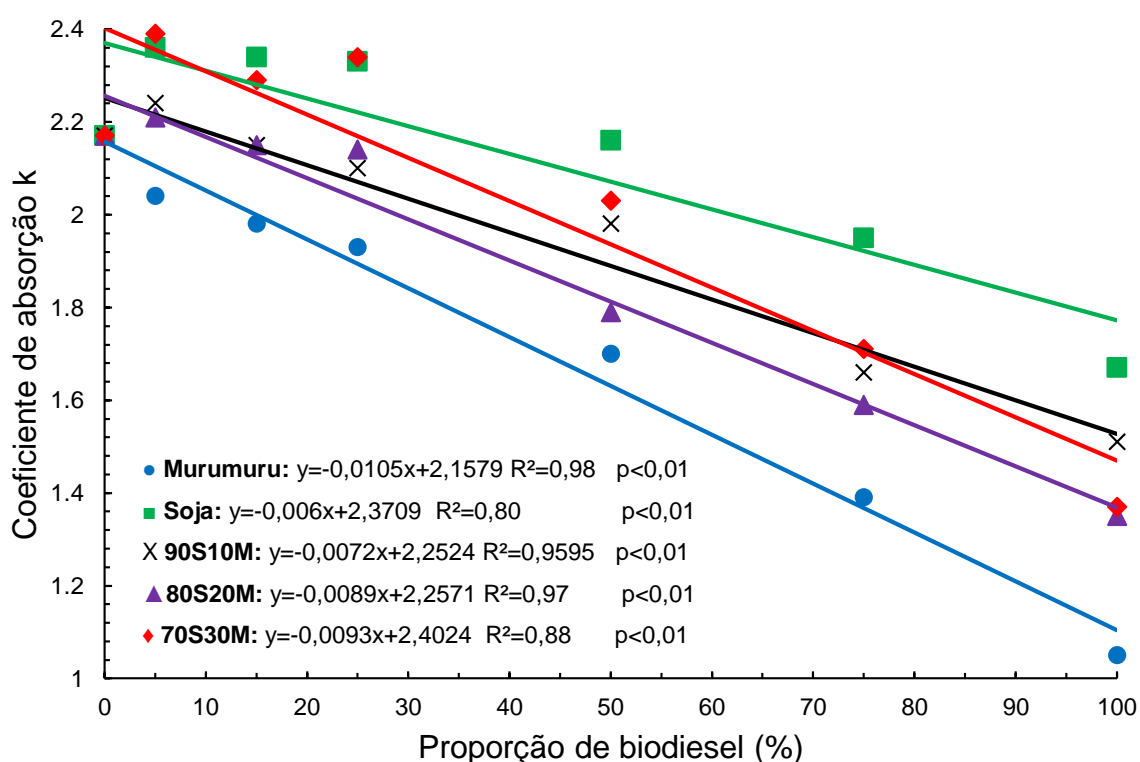


Figura 16. Modelo de regressão para opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel com diesel.

7 CONCLUSÕES

1. As proporções de biodiesel testadas não comprometeram o desempenho do motor durante os testes.

2. Não houve diferença significativa para os resultados observados entre os parâmetros de velocidade de deslocamento, força e potência na barra de tração.

3. O consumo horário volumétrico foi maior trabalhando com 90S10M em relação ao biodiesel de murumuru e soja. Para os demais combustíveis não houve diferença estatística. As proporções de mistura não resultaram em diferença significativa.

4. O consumo horário ponderal do biodiesel de murumuru foi menor que os demais combustíveis que, por sua vez, não diferiram entre si estatisticamente. Não houve aumento no consumo entre as proporções de mistura B0, B5, B15, B25 e B50. B0, B15, B50 e B75, assim como B75 e B100, não houve diferença significativa.

5. O consumo específico de murumuru foi menor que os demais combustíveis em todas as proporções em que houve adição de biodiesel. Comparando B100 de murumuru, a diferença no consumo específico foi 8%, 3%, 5% e 9% maior, para soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M, respectivamente.

6. Para os 5 combustíveis testados, o consumo específico aumentou com o incremento de biodiesel na mistura. Comparando B0 com B100, o acréscimo foi de 11,2%, 20%, 14,5%, 17% e 17,1% para murumuru, soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M, respectivamente.

7. Confrontando B0 com B100, a opacidade da fumaça reduziu-se em 52%, 23%, 30%, 38% e 37% para murumuru, soja, 90S10M, 80S20M e 70S30M, respectivamente. A opacidade de B100 de murumuru foi 19,81% menor que B100 de soja.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, F. R.; LIMA, D. G.; HAMÚ, E. H.; WOLF, C.; SUAREZ, A. Z. Utilization of metal complexes as catalysts in the transesterification of Brazilian vegetable oils with different alcohols, **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, Volume 209, Issues 1–2, 16 February 2004, Pages 29-33. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1381116903005818>>. Acesso em 21 jan. 2016.

AGRICULTURA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO. **Projeções do Agronegócio Brasil 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília. 2011. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20-%20_0.pdf>. Acesso em: 20 fevereiro 2012. Acesso em 12 jan. 2016

ALPTEKIN, E., CANAKCI, M. Determination of the density and the viscosities of biodiesel– diesel fuel blends. **Renewable Energy**, v. 33, p. 2623–2630, 2008

ALMEIDA, S.S. de; AMARAL, D.D. do; SILVA, A.S.L. da. Análise florística e estrutura de floresta de várzea no estuário amazônico. **Acta Amazônica**, v.34, n. 4, p. 513-524. 2004.

ALTMAN, R.F.A. **A exploração industrial de sementes oleaginosas amazônicas**. Rio de Janeiro: INPA, 1958. 24p. (INPA. Publicação, 04).

AMBIOVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. Referências para o mercado de biodiesel. Brasília. 2013. <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Oleaginosas_e_biodiesel/17RO/App_Abiove_Biodiesel.pdf>. Acesso em 4 abr. 2016

ANDREOLI, I., CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. **Anais...**, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM).

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 42 de 16 de dezembro de 2009**. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/dezembro/ranp%2042%20-%202009.xml>. Acesso em 2 de mar. 2016

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Biodiesel**. 2012a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=46827&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1337375776973>>. Acesso em 15 dez 2015.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Biocombustíveis**. 2012b .Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?id=470> >. Acesso em 15 dez 2015.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 45 de 25 de agosto de 2014**. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/dezembro/ranp%2042%20-%202009.xml>. Acesso em 15 dez 2015.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. SUPERINTENDÊNCIA DE REFINO E PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL - SRP. **Boletim mensal, Fevereiro de 2016**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=79733>>. Acesso em 24 mar 2016.

ASAE EP 496.2 DEC98. Agricultural Machinery Management. In: ASAE **Standards: standards engineering practices data**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers; 2006:1-6.

ASSIS, W.F.T.; ZUCARELLI, M.C. **Despoluindo Incertezas: impactos territoriais da expansão de agrocombustíveis e perspectivas para uma produção sustentável**. Editora e Gráfica O Lutador, Belo Horizonte, MG. 2007.

ATABANI, A.E., SILITONGA, A.S., BADRUDDIN, I.A., MAHLIA, T.M.I., MASJUKI, H.H., MEKHILEF, S. **A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics**. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 16 (4) (2012), pp. 2070–2093

AZEVEDO, F.F.M. ; FRANÇA, L.F. ; MACHADO, N. T., MACHADO, NELIO ; CORRÊA, N.C.F. . AZEVEDO, F. F. M. ; FRANÇA, L. F. ; ARAÚJO, M. E. ; CORREA, N. C. F. ; MACHADO, N. T. Perfil de composição do biodiesel obtido dos óleos de dendê e murumuru. **Anais do Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel**, 2007, Brasília.

BAHADUR, N. P., BOOCOOCK, D. G. B., KONAR, S. K. Liquid Hydrocarbons from Catalytic Pyrolysis of Sewage Sludge Lipid and Canola Oil: Evaluation of Fuel Properties. **Energy & Fuels**, v. 9, p. 248-256, 1995.

BALAT, M.; BALAT, H., Progress in biodiesel processing. **Applied Energy**. 2010, 87, (6), 1815-1835.

BALICK, M.J. Amazonian oil palms of promise: a survey. **Economy Botany**. v.33, n.1, p.11-28. 1979.

BAMGBOYE, Al.; Hansen AC Prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition. **Int Agrophys** 22:21–29, 2008.

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

BAUMERT, K.A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Change Policy. World Resources Institute, 2005.

BEHAR, M. (Ed.). **Motores diesel**. Tradução de Joshuah de Bragança Soares et al. 4 ed. São Paulo: Hemus, 1978.

BELMIRO, T.; FURLAN, J. J.; NODARI, A. Riqueza para a Amazônia, **Agroanalysis**, São Paulo, v. 27, n. 7, p 27- 28, jul. 2007.

BENTES-GAMA, M. de M.; SCOLFORO J.R.S.; Gama, J.R.V. Potencial produtivo de madeira e palmito de uma floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.26, n.3, p.311-319, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S01007622002000300006&script=sci_arttext&tlng=en>. Acesso em 21 out. 2015.

BEZERRA, V. S. Aspectos do estado da arte, da produção e pesquisa com a palmeira murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5.; CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BIODIESEL, 2., 2008, Lavras. **Biodiesel: tecnologia limpa: anais completos**. Lavras: UFLA, 2008. 1 CD-ROM.

BEZERRA, V. S. Considerações Sobre a Palmeira Murumuruzeiro (*Astrocaryum murumuru* Mart.). **Comunicado Técnico 130**. p. 1–6, 2012.

BOSH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. 25 ed. São Paulo: Ed. Blücher, 2005. 1232p.

BP. BRITISH PETROLEUM. **Statistical Review of World Energy June 2015**. n. Junho, p. 48, 2015.

BRADY, R.N. **Modern Diesel Technology**. Prentice Hall, New Jersey, Columbus, Ohio. 1996.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 737, de 23 de Setembro de 1938**. Torna obrigatória a adição de álcool anidro à gasolina produzida no País, qualquer que seja o método ou processo de sua fabricação, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Rio de Janeiro, Seção 1, p. 19269, 26 set. 1938.

BRASIL. **Decreto nº 75.593, de 14 de novembro de 1975**. Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras Providências. Diário Oficial da União. Brasília, 14 nov. 1975.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Portaria nº 128, de 28 de agosto de 2001**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis>. Acesso em 21 jan. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 42, de 24 de setembro de 2004**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em 21 jan. 2016.

BRASIL. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. **Diário Oficial da União**. Brasília, 24 set. 2014.

CALDERARI, V. H. **Avaliação das propriedades físico-químicas do biodiesel de soja, algodão e mamona e das misturas de biodiesel de soja e algodão**. Dissertação (mestrado), Rio de Janeiro, RJ. 2011.

CALIXTO, C. D. **Óleo de quiabo como fonte alternativa para produção de biodiesel e avaliação de antioxidantes naturais em biodiesel etílico de soja**. Dissertação (mestrado). João Pessoa, PB. 2011.

CÂMARA, G. M. S. **BIODIESEL BRASIL - ESTADO ATUAL DA ARTE**. Piracicaba, 2006.

CAMARA, F. T. **Biodiesel de dendê em trator agrícola: desempenho em função do tempo de armazenamento e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**. Tese (doutorado). Jaboticabal, 2009.

CAMPO, JACOBO e SARMIENTO, VIVIANA. THE RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY CONSUMPTION AND GDP: EVIDENCE FROM A PANEL OF 10 LATIN AMERICAN COUNTRIES. **Lat. Am. J. Econ.** [online]. 2013, vol.50, n.2, pp. 233-255. ISSN 0719-0433. <<http://www.scielo.cl/pdf/laje/v50n2/art04.pdf>>. Acesso em 11 jan. 2016

CANDEIA, R. A. **Biodiesel de Soja: Síntese, Degradação e Mistura Binárias**. Tese (doutorado). João Pessoa, PB. 2008.

CANDEIA, R. A., SILVA, M. C. D., CARVALHO FILHO, J. R., BRASILINO, M. G. A., SANTOS, I. M. G., SOUZA, A. G. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. **Fuel** 2009, 88, (4), 738-743.

CANLI, E. **Supercharging and Intercooling Systems in Internal Combustion Engines**, Selcuk University Natural and Applied Sciences Institute, Konya (in Turkish). 2010.

CARVALHO, R. D. de; SOUZA, R. U. de; JUNIOR, A. S. C. **Motores Diesel MWM: conceitos básicos**. São Paulo, MWM, 2000. 100 p. (Apostila de Treinamento).

CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S.N.M.; SILVA, S.L.; KAILER, E.K. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, 2008.

CASTRO, J. C. Produção sustentável de biodiesel a partir de oleaginosas amazônicas em comunidades isoladas. **Congresso Brasileiro de Biodiesel**. 2006.

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. Tese (doutorado). Campinas, SP. 2008.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Estatístico – CNT**, março de 2015. <<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%20C3%ADstico/201504%20-%20Boletim%20Estatistico%20CNT%20-%20Abril.pdf>>. Acesso em 14 de ago. 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira**, Grãos. V.3. Brasília. 2016.

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**, Curitiba, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DARICI, S.; CANLI, E.; OZGOREN, M. **Theoretic analysis of turbocharging effect on engine performance at internal combustion engines**, 2. National Konya Eregli Kemal Akman Vocational College Bulletin Days, Konya TURKEY (in Turkish). 2010.

DELTACO2 – **Pegada de Carbono na Produção de Biodiesel de Soja**. Janeiro de 2013. [online] <http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/07022013-121853-relatorio_acv_do_biodiesel.pdf>. Acesso em 5 jan. 2016

EMBRAPA SOJA. Soja – Outros Produtos. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/html/outros.htm>. Acesso em 21 jan. 2016

EMPRABA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo da Soja**. Sistema de Produção. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/literatura.htm>>. Acesso em 21 mar. 2016

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **Short-Term Energy Outlook**. March 2016.

FALCÃO, P. W. C. **Produção de biodiesel em meio supercrítico**. 2011. p. 315. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 201.

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**, Curitiba, v. 28, n. 9, p. 19, 2005.

FERREIRA, E. J. L. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DAS PINAS FOLIARES DE *Astrocaryum murumuru* Mart. (ARECACEAE). **63ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**. 2011.

FREITAS, C.; PENTEADO, M. Biodiesel- Energia do Futuro. Ed. **Letra Boreal**, São Paulo, 2006.

GONZALEZ, W. A. Biodiesel e óleo vegetal in natura. **Ministério de Minas e Energia**, Brasília, 2008.

GRABOSKI, M.S., McCORMICK, R.L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. **Progress in Energy and Combustion Science** 1998; 24-2:125-164.

HIN, C. J. A. **Perspectivas de mercado para soja sustentável na Holanda**. CLM Onderzoek en Advies BV (Centro de Pesquisa para a Agricultura e Meio Ambiente) Utrecht, Holanda, 2002. Disponível em:<<http://www.bothends.org/strategic/soy10.pdf>>. Acesso em 12 fev. 2016

HOUGHTON, J.T. **Global warming: The complete briefing**. Cambridge University Press, UK, 1997.

IEA – International Energy Agency. **Key World Energy Statistics 2015**. 2015.

IFM. Update January 2016. **World Economic Outlook**, v. 1, n. 1, p. 6, 2016.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

IMF Annual Report 2015. **IMF Annual Reports**, v. 1, p. 109, 2015.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Road vehicles -- Engine test code -- Net power**. 2010 <http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=6179>. Acesso em 5 abr. 2016

KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B, RUBEL F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol Z**. 2006;15:259-263.

KNOTHE, G. Fuel properties. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) **The biodiesel handbook**. Illinois: AOCS PRESS, 2005a. cap. 6.

KNOTHE, G. STEIDLEY, K.R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparisons to petrodiesel fuels components. **Fuel**. v.84, p.1059-1065, 2005b

KNOTHE, G. Oxidative stability of biodiesel. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) **The biodiesel handbook**. Illinois: AOCS PRESS, 2005c. cap. 6.4.

KNOTHE, G. STADLEY, K. R. Lubricity of Componentes of Biodiesel and Petrodiesel. The Origin of Biodiesel Lubricity. **Energy and Fuels**, v.19, p. 1192-1200. 2005d.

KNOTHE, G.; Krahl, J.; Gerpen, J. V.; Ramos, L. P., **Manual de Biodiesel**. Blucher ed.; 2006; Vol. 1.

KOIKE GHA, LOPES A, PASSARINI LC, CAMARA FT, JÚNIOR HL, DAL BEM AJ. Emissão dos gases de combustão em motor de ignição por compressão: ensaio comparativo entre diesel, biodiesel, e biodiesel com injeção de etanol. **Minerva Pesquisa e Tecnologia** 2010;7(1):11-18.

KRAUSE, L. C. **Desenvolvimento do Processo de Produção de Biodiesel de Origem Animal**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LILJEDAHL, J. B.; TURQUIST, P. K.; SMITH, W. D.; HOKI, M. **Tractor and their power units**. 4. ed. New York: AVI, 1989. 463 p.

LIMA, L.P. **Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um trator agrícola na operação de preparo do solo**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista. 119 f. Jaboticabal, 2012.

LOBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000600044&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 21 jan. 2016

LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, v.5, n.1, p.24-31, 2003.

LOPES, A. **Biodiesel em trator agrícola: desempenho e opacidade**. 2006, 158 f. Tese (Livre Docência em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

LOPES, J. P. N.; CORREA, N. C. F. ; FRANÇA, L. F. Transesterificação do óleo de murumuru (*Astrocaryum murumuru*) para a produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007.

LOPES A, DABDOUB MJ, GROTTA DCC, CAMARA FT, FURLANI CEA, SILVA RP. Consumo de biodiesel etílico de óleo residual em trator agrícola variando o percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. **Revista da ANPG** 2009;1:10-15.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres Combustíveis em Motor de Ciclo Diesel sob Condições de Pré-Aquecimento e Variação no Avanço de Injeção**. Santa Maria: ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011 Pág. 163 Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2008. Tese (Doutorado).

MAMBRIM, M.C.T.; BARRERA-ARELLANO, D. Caracterización de aceites de frutos de palmeras de la región amazónica del Brasil. **Grasas y aceites**, Sevilla,

v.48,n.3,p.154_158,.1997.Disponível.em:.<<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsi dt=2133739>>. Acesso em 21 dez. 2015.

MARTINS, O. A. **Motores Diesel Eletrônicos contribuição ambiental e confiabilidade**. 2007. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MEIRELLES, F.S., Biodiesel, Federação de Agricultura de Estado de São Paulo, Brasília, p. 22, 2003;

MENDONÇA, R. M. L. **Avaliação do Ciclo de Vida do Carbono na Queima de Biodiesel à Base de Óleo de Soja**. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 111p. 2007.

MDA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria da Agricultura Familiar. **Biodiesel**. 2012 Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286217>>. Acesso em 22 jan. 2016

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU, 1980. v.1.

MIRANOWSKI, J.A. **Energy consumption in U.S. agriculture**. Pp. 68-95 in Agriculture as a producer and consumer of energy. J. Outlaw, K. Collins, and J. Duffield, editors. CABI Publishing, Cambridge, MA, 2005.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. P. 31. 2015.

MURUGESAN, A.; UMARANI, C.; SUBRAMANIAN, R.; NEDUNCHEZHIAN, N. Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Uttaranchal, v.13, n.3 ,p.653-662, 2009.

NASCIMENTO, J. F.; FERREIRA, E. J. L; CARVALHO, A. L.; REGIANI, M. A. POTENCIAL DA PALMEIRA MURUMURU NATIVA DO ACRE. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 90-92, jul. 2007.

NEVES, M. T.; LOPES, A.; LIMA, L. P.; OLIVEIRA, M. C. J.; KOIKE, G. H. A. Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 21 n. 4, p. 351-360, 2013.

NOGUEIRA, N.S. **Análise Delphi e SWOT das Matérias-primas de Produção de Biodiesel: Soja, Mamona e Microalgas**. Dissertação (mestrado). Rio de Janeiro, 177p. 2010.

OBERT, E. F. **Motores de Combustão Interna**. 2ª ed. Editora Globo. Porto Alegre, 1971.

OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. da. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2002. v.1, p.445-53.

OLIVEIRA, Melina Cais Jejcic de ; LOPES, Afonso ; LIMA, L. P. ; NEVES, M.C.T. ; IAMAGUTI, P. S. ; LIRA, T. A. M. ; MORETI, T. C. F. ; Koike, Gilberto Hirotsugu Azevedo . **Tractor performance in function of storage period and different proportions of biodiesel and diesel**. Australian Journal of Crop Science (Online), v. 9, p. 909-914, 2015.

PARENTE, E. J. S. et al. **Biodiesel**: uma aventura tecnológica num País engraçado. Fortaleza: Tecbio 2003. 66 p.

PEREIRA, S. S. C.; BEZERRA, V. S.; FERREIRA, L. A. M.; LUCIEN, V. G.; CARIM, M. de J. V.; GUEDES, M. C. Avaliações físico-químicas do fruto do urumuruzeiro [i.e. murumuruzeiro] (*Astrocaryum murumuru* Mart.). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 3, 2006, Varginha. Artigos. Varginha, 2006. p. 576-580.

PEREIRA, D. P.; DANTAS, A. A. A. Potencial de redução da poluição do ar causada pelas emissões de motores diesel, com a implementação do biodiesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO”, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 383-397.

PERES, J.R.R. Oleaginosas para biodiesel: situação atual e potencial. In: **O Futuro da Indústria: Biodiesel**, 2006, Brasília. Coletânea de Artigos. Brasília, 2006. p. 67-82.

PERES S, SCHULER A, ALMEIDA C.H.T., SOARES M.B., CAMPOS R, LUCENA A. Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através da cromatografia. Congresso Da Rede Brasileira De Tecnologia De Biodiesel 2007.

PESCE, C. Oleaginosas da Amazônia. **Editora Revista da Veterinária**. Belém – PA 1941.

PIANOVSKI Jr., G. VELÁSQUEZ J. A. Perspectivas de utilização de biodiesel como substituto parcial do óleo diesel em motores, automotivos. In: **congresso brasileiro de engenharia e ciências térmicas**. 2002.

QUEIROZ, J. A. L. de; **Fitossociologia e distribuição diamétrica em floresta de várzea do estuário do rio Amazonas no Estado do Amapá**. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Florestal. – UFPR. Curitiba, 2004. 101p.

QUEIROZ, J. A. L. de; MOCHIUTTI, S.; MACHADO, S. do A.; GALVÃO, F. Composição florística e estrutura de floresta em várzea alta estuarina amazônica. **Floresta**, v. 35, n. 1, p. 41-55, jan./abr. 2005.

QUEIROZ, J. A. L. de; BEZERRA, V. S.; MOCHIUTTI, S. A palmeira murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) no estuário do rio Amazonas no Estado do

Amapá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5.; CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BIODIESEL, 2., 2008, Lavras. Biodiesel: tecnologia limpa: **anais completos**. Lavras: UFLA, 2008. 1 CD-ROM.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M., Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**. 2003, 31, 28-37.

RAMOS, M.J.; FERNÁNDEZ, C.M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, A. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresour Technol* 100:261–268, 2009

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. A química dos lipídeos: fundamentos para a produção de biodiesel. In: CÂMARA, G. M. S. & HEIFFIG, L. S. (coord.): **Agronegócio de Plantas Oleaginosas: Matérias-Primas para Biodiesel**. Piracicaba: ESALQ. p. 181 – 191. 2006.

REIS, A.V.; MACHADO, A.L.T.; TILLMANN, C.A.C.; MORAES, M.L.B. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. Pelotas: UFPel, 1999. 315 p.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L.L.; ROSSI, A.V.;SCHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, Campinas, v. 30, n. 5, p. 1374-1.380, 2007.

ROCHA, M. M.; VELLO, N. A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**. Campinas, v.58, n.58, p.69-81, 1999.

SAE – Society of Automotive Engineers, J1667 Recommended Practice. **Snap Acceleration Smoke Test Procedure for Heavy-Duty Powered Vehicles**. Warrendale, PA. 1996.

SANTANA, G. C. S.; ANDRADE, T. C. Q.; FLORÊNCIO, A. Oleaginosas para a produção de biodiesel no estado da Bahia a partir da agricultura familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 1217-1226.

SÁNCHEZ, M.C. Características del Biodiésel de palma y las mezclas. Buenas Prácticas de Manejo de Biodiésel y sus Mezclas. Colômbia. 2011. <<http://www.fedebiocombustibles.com/files/Caracteristicas%20del%20Biodi%C3%A9sel%20y%20sus%20mezclas%20V1.pdf>>. Acesso em 12 jan. 2016

SCHLESINGER, S., NORONHA, S. O Brasil está nu! O avanço da monocultura de soja, o grão que cresceu demais. Fase, 148 pp. 2006.

SCHNEIDER, S.H. The changing climate. **Scientific American**, vol. 261, no. 3, 1989.

SLUSZZ, Thaisy; MACHADO, João A. Dessimon. **Características das Potenciais Culturas Matérias-Primas do Biodiesel e sua Adoção pela Agricultura Familiar**. Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. XLIV Congresso da Sober: "Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento". Fortaleza – CE, 2006.

SORANSO, A.M.; GABRIEL FILHO, A.; LOPES, A.; SOUZA, E.G. De, DABDOUB, M.J.; FURLANI, C.E.A.; CAMRA, F.T. Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 553-559, 2008.

SOUSA, J.A. de; RAPOSO, A.; SOUSA, M. de M.M.; MIRANDA, E.M. de; SILVA, J.M.M. da; MAGALHÃES, V.B. **Manejo de murmuru (*Astrocaryum spp.*) para produção de frutos**. Rio Branco, AC: Secretaria de Extrativismo e Produção Familiar, 2004. 30p.

SPEHAR, C. R.; MONTEIRO, P. M. F. O.; ZUFFO, N. L. Melhoramento genético da soja na região Centro-Oeste. In: ARANTES, N. A.; SOUSA, P. I. DE M. de (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.229-253.

STACHIW, R.; RIBEIRO, S. B.; JARDIM, M. A. G.; POSSIMOSER, D.; ALVES, W. C.; CAVALHEIRO, W. C. S. Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**. Manaus, v. 46, n. 1, 2016. p.81-90.

STATISTA. **The world's biggest biodiesel producers in 2014**. [online]. <<http://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries>>. Acesso em 23 jan. 2016

STERN, D. I.; Economic Growth and Energy. **Encyclopedia of Energy**, V. 2, p. 35-51. 2004.

SUAREZ, P.A.Z; MENEGHETTI, S.M.P. 70º Aniversário do biodiesel em março de 2007. Evolução histórica e situação atual no Brasil. **Quim. Nova**. Vol. 3, Nº 8, 2068-2071, 2007.

TEXEIRA, C. V. **Análise de Emissões e Desempenho de Motores Diesel Utilizando Óleo Diesel Comercial, Biodiesel de Palma (B100) e Mistura (BX)**. Dissertação (metrado). Rio de Janeiro, 89p. 2010.

TEIXEIRA, L. C. G.; FRANÇA, L. F. ; SOUZA, A. R. ; CORREA, N. C. F. ; SOUZA, M. M. V. M. . Investigação da viabilidade da oleaginosa Murumuru (*Astrocaryum Murumuru*) para produção de biodiesel através da avaliação do uso de catálise

heterogênea básica. In: **4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel**, 2010, Belo Horizonte. v. 02. p. 923-924.

TONG D, HU C, JIANG K, LI Y. Cetane Number Prediction of Biodiesel from the Composition of the Fatty Acid Methyl Esters. **Journal of the American Oil Chemists**. 2011;88:415-423.

TOTTEN, George E., WESTBROOK, Steven R., SHAH, Rajes J. **Fuels and Lubricant Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing**. ASTM International, 2003. 1087 p. il. ISBN 08-0312-096-6.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” – CÂMPUS DE JABOTICABAL. Departamento de Ciências Exatas: **Estação meteorológica - Dados normais**. 2006. Disponível em: <www.fcav.unesp.br>. Acesso em 25 jan. 2016.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” – CÂMPUS DE JABOTICABAL. Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica. **Dados normais**. 2016. Disponível em: <http://www.exatas.fcav.unesp.br/estacao/est_tab_meteor_01_02.htm>. Acesso em 27 jan. 2016.

UNICA. União da Indústria de Cana-De-Açúcar. Etanol Brasileiro – Evolução da Legislação e Marco Regulatório. Brasília. 2007.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service**. 2016a. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em 29 jan. 2016

USDA – United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. 2016b. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2016

UZUN, A. The effects of intercooling on performance of a turbocharged diesel engine's specific fuel consumption with neural network. **Scientific Research and Essays**. Vol. 5 (23), pp. 3781-3793, 4 December, 2010.

VALTRA. **Manual do operador**, BH 145, BH 165, BH 180, BH185i, BH205i. 2012.

VAN GERPEN, J. **Cetane Number Testing of Biodiesel**. 1996. [Online]. <http://biodiesel.org/reports/19960901_gen-187.pdf>. Acesso em 20 mar. 2016

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

WADUMESTHRIGE, K.; ARA, M.; SALLEY, O. S.; SIMON, K. Y. Investigation of Lubricity Characteristics og Biodiesel in Petroleum and Synthetic Fuel. **Energy and Fuels**, v. 23, p. 2229-22344. 2009

WUST, E. **Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos**. Mestrado, Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau-FURB, Blumenau, 2004.

ZUH, L.; ZHANG, W.; LIU, W.; HUANG, Z. Experimental study on particulate and NO_x emission of a diesel engine fueled with ultra low sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. **Science of the Total Environment**. 408. (2010) 1050–1058.