

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

**DESEMPENHO OPERACIONAL E OPACIDADE DA FUMAÇA DO
TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO TIPO DE BIODIESEL
(SOJA X MURUMURU) EM OPERAÇÃO DE PREPARO DO
SOLO**

Murilo Coelho Theodoro Neves

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2012

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

**DESEMPENHO OPERACIONAL E OPACIDADE DA FUMAÇA DO
TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO TIPO DE BIODIESEL
(SOJA X MURUMURU) EM OPERAÇÃO DE PREPARO DO
SOLO**

Murilo Coelho Theodoro Neves

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2012

Neves, Murilo Coelho Theodoro
N514d Desempenho operacional e opacidade da fumaça do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (Soja X Murumuru) em operação de preparo do solo / Murilo Coelho Theodoro Neves. -- Jaboticabal, 2012
viii, 76 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientador: Afonso Lopes
Banca examinadora: Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike, Newton La Scala Junior
Bibliografia

1. Biocombustível 2. Consumo Específico 3. Ensaio de trator agrícola 4. Opacidade da fumaça I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.372

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

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. Coursou o primeiro e o segundo grau em Cristais Paulista – SP, onde residiu por toda infância e 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, bom 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 para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

"Que a tua sabedoria não seja humilhação para o teu próximo. Guarda domínio sobre ti mesmo e nunca te abandones à tua cólera. Se esperas a paz definitiva, sorri ao destino que te fere; não firas a ninguém."

Omar Khayyám, tradução: Otávio Tarquínio de Souza.

Agradeço

A *Deus* que sempre se apresentou ao meu lado.

Aos meus pais *Itamar Theodoro Neves* e *Mara Aparecida Raiz Coelho Neves*, pela educação, amor, carinho, compreensão, confiança, respeito, dedicação, luta e empenho em minha criação.

Homenageio

Meus avós e padrinhos: *João Mendonça Coelho* e *Ana Emília Raiz Coelho* por fazerem parte da minha formação e acreditarem em meu potencial.

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 e Melina Cais Jejcic de Oliveira, pela orientação, dedicação, confiança, respeito e participação na vida pessoal e acadêmica e aos amigos Dr. Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike e ao Prof. Dr. Newton La Scala Júnior pelas contribuições e auxílios.

Ao CNPQ, a Valtra do Brasil e à Coopercitrus, pelo apoio financeiro, material e logístico ao Projeto Biodiesel, o que fez a diferença para que este trabalho se concretizasse.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Sr. Davi Aparecido Trevizolli, ao Técnico Agrícola Aparecido Alves (Cido), aos operadores de Máquinas Valdecir Aparício (Maranhão) e Sebastião Francisco da Silva Filho (Tiãozim), pela participação efetiva durante a fase de coleta de dados, muitas vezes trabalhando fora do horário do expediente, sempre com empenho e dedicação.

A minha irmã Juliana Coelho Neves e meu sobrinho Guilherme Coelho Spirlandelli, pelo amor e aos meus tios Carlos Alberto Raiz Coelho, Eliana Taveira Engler Raiz Coelho, Weber Brunelli, Simone Raiz Coelho Brunelli, Luciano Galdiano Flores, Andréa Raiz Coelho Flores, por tudo que sempre fizeram.

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

A Larissa Estela Ferreira Jacó de Menezes, pelo carinho, incentivo, paciência, dedicação, amizade, ensinamentos, afeto e carinho.

Ao amigo Prof. Dr. Manoel Teixeira de Faria pela amizade e a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO DE LITERATURA	3
1 Biodiesel	3
2 Propriedades do Biodiesel	12
3 Número de cetano	13
4 Poder Calorífico	14
5 Viscosidade	15
6 Densidade	17
7 Lubricidade	17
8 Motor Diesel	18
9 Emissão de gases e fuligem.....	20
10 Desempenho operacional	22
11 Murumuru	23
12 Soja.....	29
III MATERIAL E MÉTODOS	33
1 Área Experimental	33
2 Solo	33
3 Biodiesel.....	34
4 Diesel.....	34

5 Tratores	34
6 Instrumentação do trator-teste para o ensaio de desempenho	35
6.1 Velocidade de deslocamento	35
6.2 Força na barra de tração	35
6.3 Consumo de combustível	36
6.4 Sistema de aquisição de dados	36
7 Instrumentação do trator-teste para o ensaio de opacidade da fumaça	37
7.1 Opacímetro	37
8 Condução do trabalho	39
9 Delineamento experimental	40
10 Tratamentos	41
11 Ensaio I – Desempenho do trator	41
11.1 Ensaio preliminar	41
11.2 Uso dos tratores	42
11.3 Velocidade real de deslocamento	44
11.4 Força média na barra de tração	44
11.5 Potência na barra de tração	44
11.6 Consumo de combustível	45
11.6.1 Consumo horário volumétrico	45
11.6.1 Consumo horário ponderal	45

10.6.3 Consumo específico	46
10.7 Densidade do combustível	46
12 Ensaio II – Opacidade da Fumaça do Motor do Trator	47
13 Análise estatística	48
13.1 Análise de variância e teste de médias	48
13.2 Análise de Regressão	48
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
Ensaio I – Desempenho do Trator	49
1 Velocidade de deslocamento	50
2 Força e Potência na barra de tração	50
3 Consumo de combustível	50
3.1 Consumo horário volumétrico	51
3.2 Consumo horário ponderal	52
3.3 Consumo específico	53
Ensaio II – Opacidade da Fumaça	55
V CONCLUSÕES	58
VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Características físico-químicas do biodiesel de várias espécies vegetais e do óleo diesel.	15
2 Diferentes tipos de ésteres e suas respectivas viscosidades cinemáticas.....	16
3 Perfil de composição em Ácidos Graxos de Ésteres do óleo de Murumuru	28
4 Composição do Biodiesel de Óleo de Murumuru.	28
5 Composição do Biodiesel de óleo de soja.	31
6 Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I. e II.	41
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	49
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)..	51
9 Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável consumo específico (g kW h ⁻¹)	53
10 Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça.....	55
11 Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável opacidade da fumaça (m ⁻¹).....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Matriz energética do Brasil e do Mundo.	3
2 Participação de biocombustíveis na matriz energética	4
3 Evolução dos biocombustíveis no Brasil.....	6
4 Produção de biodiesel acumulada.....	9
5 Reação de alcoólise (transesterificação) do triglicerídeo com alcoóis, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos	10
6 Sistema intercooler em trator	20
7 <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (Murumuru).	25
8 Cacho de <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (Murumuru).	25
9 Detalhe dos frutos de <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (Murumuru).	26
10 Corte dos frutos de <i>Astrocaryum murumuru</i> MART (Murumuru).	27
11 Evolução da área e da produção mundial de soja – 1987/88 a 2010/11	30
12 Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.	37
13 Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.	38
14 Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.....	39
15 Esquema das parcelas.	40
16 Dinâmica do ensaio de desempenho.....	43

17 Modelo de regressão para o consumo específico (Cesp) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel..	54
18 Modelo de regressão para opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel com diesel...	57

DESEMPENHO E OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO TIPO DE BIODIESEL (SOJA X MURUMURU) EM OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO

RESUMO - Biodiesel é um combustível obtido por meio da transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais, possui caráter renovável e biodegradável. Em crescente uso, faz-se necessário ampliar as matérias primas disponíveis em várias regiões e estudar o efeito destas novas fontes na maquinaria agrícola. Objetivou-se com o presente trabalho comparar biodiesel de soja com biodiesel de murumuru. Para tanto, avaliou-se desempenho operacional e opacidade da fumaça do trator agrícola. O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia Rural, da UNESP/Jaboticabal. As proporções de mistura 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 aumento de 15,85 e 9,59% no consumo específico de combustível comparando B0 a B100 de soja e de murumuru, respectivamente. A opacidade da fumaça reduziu 26,10% e 53,54 quando se trabalhou com biodiesel de soja e murumuru, respectivamente. A opacidade de B100 de murumuru foi 19,81% menor que B100 de soja.

PALAVRAS-CHAVE: biocombustível, consumo específico, ensaio de trator agrícola e opacidade da fumaça.

**PERFORMANCE AND OPACITY OF SMOKE IN AGRICULTURAL TRACTOR IN FUNCTION
OF TYPE OF BIODIESEL (SOYBEAN X MURUMURU) IN OPERATION OF SOIL
PREPARATION**

SUMMARY -. Biodiesel is a fuel obtained by transesterification of vegetable oils and animal fats, has renewable and biodegradable character. In growing use, it is necessary to expand the raw materials available in various regions and to study the effect of these new sources in agricultural machinery. The objective of this work was to compare soybean biodiesel and murumuru. For this, was evaluated the operational performance and smoke opacity of the tractor. The experiment was conducted at the Department of Rural Engineering, UNESP/Jaboticabal. The mixing ratios of biodiesel/diesel were B0 (0% of biodiesel and 100% of diesel), B5 (5% of biodiesel and 95% of diesel), B15 (15% of biodiesel and 85% of diesel), B25 (25% of biodiesel and 75% of diesel), B50 (50% of biodiesel and 50% of diesel), B75 (75% of biodiesel and 25% of diesel) and B100 (100% of biodiesel and 0% of diesel). The results showed an increase of 15,85% and 9,59% in specific fuel consumption compared B0 to B100 of soybean and murumuru, respectively. The opacity of the smoke decreased 26,10% and 53,54% when working with biodiesel of soybean and murumuru, respectively. The opacity of B100 of murumuru was 19.81% less than B100 of soybean.

KEYWORDS: biofuel, specific consumption, tractor test and opacity of smoke

I INTRODUÇÃO

Em evidente linha de expansão, o mercado de combustíveis encontra-se no patamar em que procura e oferta crescem em ritmos acelerados. Tal fato, aliado ao caráter finito e praticamente não renovável das reservas de combustíveis fósseis, levará a possível redução na disponibilidade com conseqüente elevação gradual dos preços. Nesse contexto, o biodiesel apresenta-se como fonte promissora para suprir as necessidades do mercado consumidor e também como marco regulatório na segurança do abastecimento.

O uso do biodiesel reduz a emissão de poluentes para a atmosfera, para produzi-lo utiliza-se óleo vegetal, gordura animal ou óleo residual. A transesterificação de óleo residual de frituras minimiza o efeito deste sobre o solo e cursos d'água. O biodiesel é visto como possível solução para as incertezas e dúvidas do futuro energético, principalmente dos países em desenvolvimento. Devido a grande semelhança com o diesel, em termos de estrutura química e conteúdo de energia, o biodiesel é compatível com os motores diesel, por este motivo não necessitam de modificações.

Conceitua-se biodiesel como biocombustível renovável, biodegradável, obtido através do processo de transesterificação de gorduras e óleos na presença de um álcool anidro e um catalisador. Dependendo do processo de produção, o biodiesel pode ser filtrado ou destilado, metílico ou etílico. É indicado para motores de ignição por compressão, podendo ser utilizado como aditivo ou em substituição ao diesel - desde que atendas os padrões de qualidade exigidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

No Brasil utiliza-se gordura animal, óleo residual e inúmeras espécies vegetais para produção do biodiesel, como soja, dendê, girassol, babaçu, murumuru, amendoim, mamona, pinhão-manso, entre outros, sendo a soja a mais utilizada. A disponibilidade das matérias primas varia de acordo com a região e com a sazonalidade da produção, de forma que em algumas épocas do ano é preciso transporta-la por longos trechos

para suprir a demanda. É importante para cadeia produtiva que haja o maior número de fontes disponíveis em todo território para atender a demanda durante o ano.

O Brasil possui aproximadamente 60 milhões de hectares com lavouras, permanentes e temporárias, para cultivar tamanha área são empregados inúmeros tratores e outras máquinas autopropelidas que utilizam óleo diesel como combustível, atribuindo ao setor agrícola grande parte das emissões de poluentes para atmosfera.

Inúmeras pesquisas têm estudado a viabilidade técnica do uso de biodiesel em tratores agrícolas, estes estudos têm demonstrado viabilidade técnica, entretanto a grande maioria dos trabalhos evidencia aumento no consumo de combustível, pressupondo-se que tal fato seja relacionado ao menor poder calorífico do referido produto comparado ao diesel.

Nos tratores agrícolas que possuem motores com mais de 73 kW (100 cv) tem-se adicionado turbocompressores e permutadores de calor para aperfeiçoar a combustão. Alguns autores observam que a presença destes equipamentos promove decaimento no lançamento de gases poluentes no meio ambiente, melhora o desempenho dos motores e reduz o consumo de combustível.

Para avaliar a viabilidade do biodiesel, torna-se fundamental o conhecimento das características do funcionamento das máquinas com o combustível ou mistura dele com diesel, as quais podem ser conhecidas através de ensaios de desempenho. Com base em outros trabalhos, pressupõe-se que uso de biodiesel de soja e murumuru não acarrete em diferença no desempenho, bem como não comprometa o funcionamento do trator e a opacidade da fumaça.

O presente trabalho teve objetivo de comparar biodiesel de soja com biodiesel de murumuru em trator agrícola. Para tanto, avaliou-se o desempenho operacional em operação de preparo de solo e opacidade da fumaça do trator.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 Biodiesel

As reservas mundiais de petróleo totalizam 1.383,2 bilhões de barris, sendo o consumo próximo a 87.382 mil barris/dia (BP, 2011). Seguindo o mesmo padrão de consumo, haveria petróleo disponível até 2054, entretanto, para esta estimativa não se leva em conta as tendências de crescimento no consumo nem novas reservas que eventualmente possam ser descobertas. Aproximadamente 87% da energia consumida no mundo provêm de fontes não renováveis (petróleo, gás e carvão mineral) (BP, 2011). A Figura 1 exibe a matriz energética do Brasil e do Mundo.

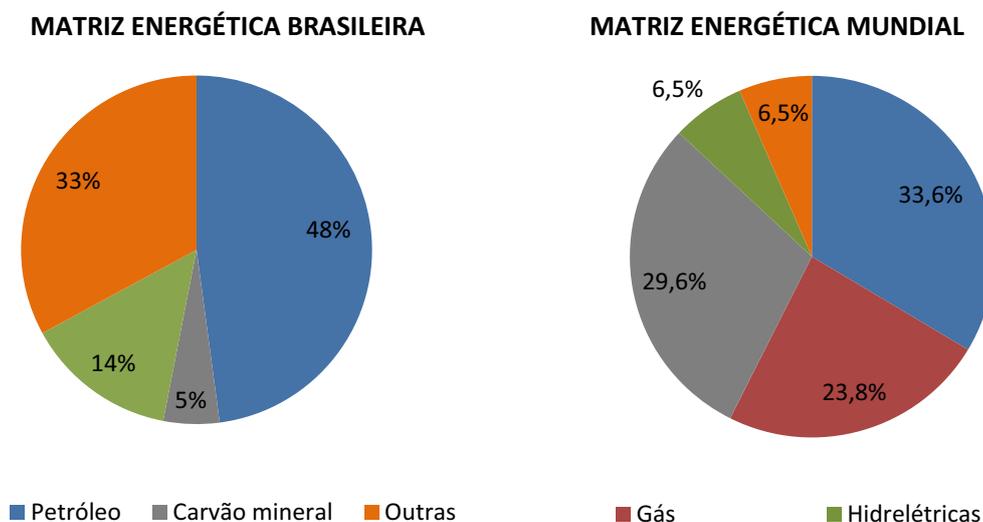
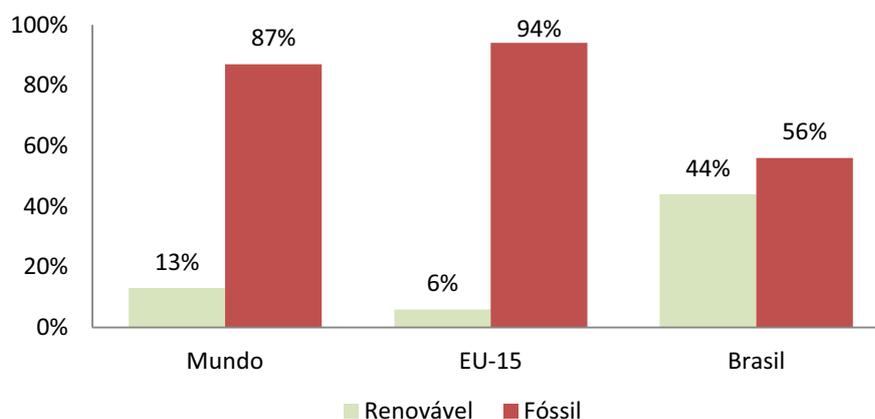


Figura 1. Matriz energética do Brasil e do Mundo.

Fonte: BP (2011), EPE (2011).

O Brasil se destaca entre as economias emergentes pela elevada participação das fontes renováveis na matriz energética (Figura 2). Isso se explica por alguns privilégios da natureza como hidrografia com vários rios de planalto, fundamental a

produção de eletricidade, e o fato de ser o maior país tropical do mundo com diferencial positivo para obter energia a partir da biomassa (NOGUEIRA, 2010).



EU-15: Europa dos 15

Figura 2. Participação de biocombustíveis na matriz energética.

Fonte: VON LAMPE (2006)

A primeira iniciativa ocorrida no Brasil para adoção de fontes renováveis de combustível ocorreu em 1925, através de testes utilizando álcool combustível (etanol) adicionado à gasolina (UNICA, 2007). O 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” (BRASIL, 1938). Com adjunto da primeira crise do petróleo, em 14 de novembro de 1975 o Decreto nº 75.593 “Instituiu o Programa Nacional do Álcool” – Proálcool, visando reduzir a dependência de importação, que em 1975 era de 80% do consumo interno (874.000 barris/dia) (BRASIL, 1975; UNICA, 2007).

As primeiras pesquisas voltadas 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, 2002a).

No dia 24 de setembro 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 13 de janeiro de 2005, introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira e ampliou a competência administrativa da ANP, que passou, desde então, 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 óleo diesel-biodiesel (ANP, 2012a).

Segundo a Lei nº 11.097/2005 “Art. 2º - Fica introduzido o biodiesel na matriz energética brasileira, sendo fixado em 5% (cinco por cento), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional”. Além da obrigatoriedade, foi determinado o prazo para cumprimento. “Art. 2º, § 1º - O prazo para aplicação do disposto no caput deste artigo é de 8 (oito) anos após a publicação desta Lei, sendo de 3 (três) anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual intermediário de 2% (dois por cento), em volume”. A referida Lei define biocombustível e biodiesel. “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, 2012a).

A partir de julho de 2008, a mistura obrigatória passou a ser de 3%, em julho de 2009, 4% de biodiesel. A partir de primeiro de janeiro de 2010, a Resolução CNPE, nº 6/2009 permitiu a adição de 5% biodiesel no diesel, publicado no Diário Oficial de 18 de fevereiro de 2009 (ANP, 2012b). Em 11 de maio de 2012 foi publicada a Resolução

ANP nº 14 que estabelece as especificações do biodiesel comercializado no Brasil. A figura 3 ilustra a evolução do mercado de biocombustíveis no Brasil.

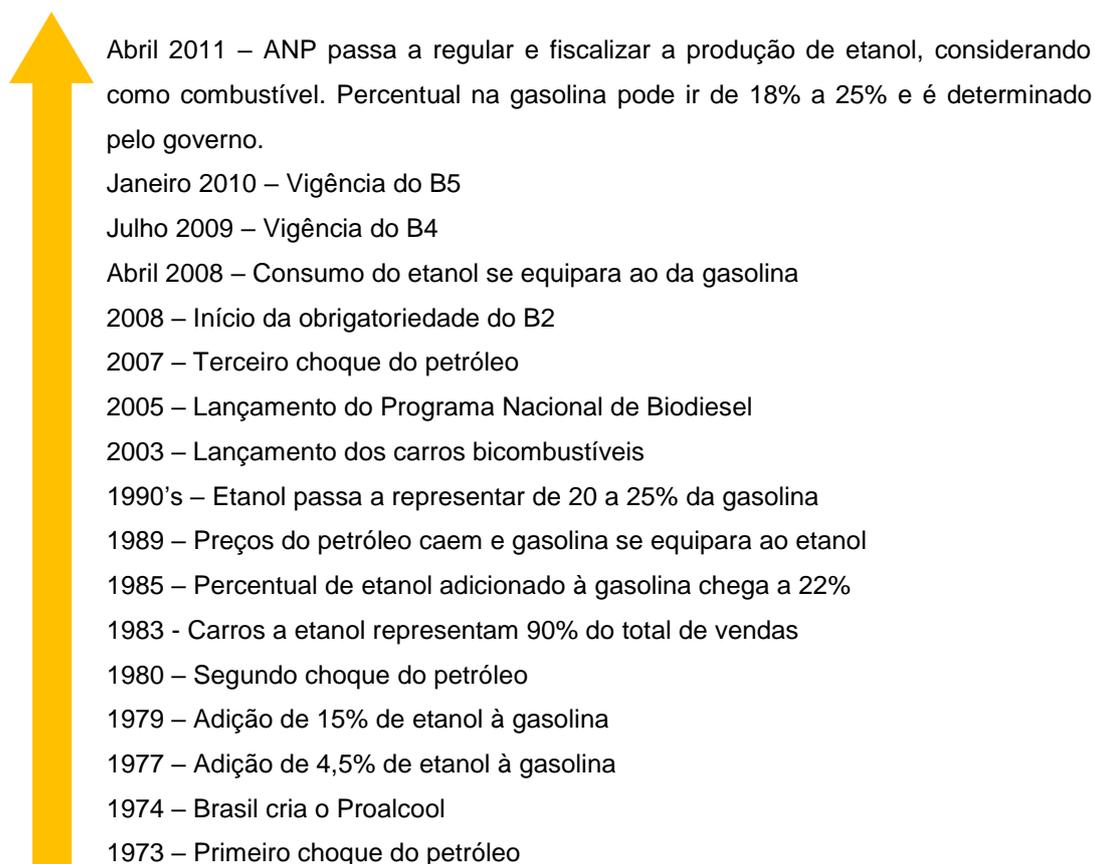


Figura 3. Evolução dos biocombustíveis no Brasil.

Fonte: Modificado de ANP (2012b).

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, a implantação, produção e 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).

A produção e uso do biodiesel no Brasil propicia o desenvolvimento de uma fonte energética sustentável sob aspecto ambiental, econômico e social, além de trazer perspectiva de redução das importações de óleo diesel, gerando divisas para o País. Além da diminuição da dependência do diesel importado, o biodiesel traz outros efeitos indiretos na produção e uso, como incremento a economias locais e regionais, tanto na etapa agrícola como na indústria de bens e serviços (ANP, 2012a).

O Brasil é o terceiro país com maior produção de Biodiesel no mundo, somente atrás dos Estados Unidos e Alemanha. Segundo ANP (2012c), existem 65 plantas produtoras de biodiesel autorizadas para operação no Brasil com capacidade autorizada para produzir 19.397,95 m³/dia, sendo produzido no ano de 2011 aproximadamente 16.764 mil m³, sendo a principal matéria prima para produção de óleo no Brasil encontra-se fortemente concentrada na cultura da soja. Outras oleaginosas tradicionais como algodão, girassol, canola, amendoim e mamona contribuem com pequenas quantidades de óleo. O dendê representa modelo especial, pois as produções de óleo estão acima de 3,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo que as demais oleaginosas produzem menos de 1 t.ha⁻¹.ano⁻¹, entretanto, o dendê está restrito às regiões de clima tipicamente equatorial, na Amazônia e no Recôncavo Baiano (BEZERRA, 2008).

O cultivo de matérias-primas e a produção industrial de biodiesel tem grande potencial de geração de empregos, promovendo oportunidade de inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar. No Semi Árido brasileiro e na região Norte, a inclusão social é ainda mais premente (NOGUEIRA, 2010). Segundo RAMOS et al. (2003) e RAMOS & WILHELM (2005), os óleos vegetais representam alternativa para geração descentralizada de energia, atuando como forte apoio à agricultura familiar, criando melhores condições de vida em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e socioambientais.

Estudos realizados pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Ministério da Integração Nacional (MIN) mostram que a cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel produzido, com a participação da agricultura familiar, poderia resultar em cerca de 45 mil empregos no campo, com renda média anual de R\$ 4.900,00 por emprego, gerando novos postos de trabalho (SLUSZZ & MACHADO, 2006), entretanto, considerando que a média de lucros para soja é de R\$ 1.200,00 por trabalhador (CUNHA, 2011) e a expressão desta fonte na produção de biodiesel é imprescindível que haja empenho governamental e empresarial para que se venha conquistar outras fontes para produção de biodiesel, não só avaliando as vantagens econômicas, mas também benefícios sociais, para que contribua sobremaneira com o desenvolvimento socioeconômico do País.

De acordo com PERES (2006) o potencial de produção de biocombustíveis se expande para o nordeste, onde, além da cana-de-açúcar, para produção do etanol, é possível cultivar mamona, amendoim, gergelim, babaçu e outras oleaginosas. A inserção da região do semiárido na cadeia produtiva do biodiesel é vista como solução para aumentar o valor do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (SANTANA et al. 2007).

A Amazônia oferece biodiversidade interminável, com espécies vegetais ainda não descobertas e com potencialidades as mais variadas possíveis. Dentre estas espécies, certamente existem aquelas com aptidão para a produção de biocombustíveis, além daquelas espécies promissoras já em processo de domesticação, mas, até então, não para a produção de óleo. (BEZERRA, 2008). Ainda na Amazônia, em cultivos comerciais, o dendê se afigura como a grande opção.

Soja, girassol, algodão e canola despontam como as principais alternativas para o Centro Oeste, o Sudeste e o Sul do Brasil. Apesar de todo esse potencial, é necessário avaliar a capacidade de produção de oleaginosas no país, de acordo com a vocação regional, prevendo a expansão de áreas das oleaginosas com domínio tecnológico, incentivo ao extrativismo sustentável de espécies de palmáceas nativas – que ocorrem em imensas 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 (PEREZ, 2006).

Conforme ANP (2012b), em março de 2012, “Cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. No resto do mundo, 86% da energia vêm de fontes energéticas não-renováveis”. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo. A Figura 4 ilustra a produção de biodiesel acumulada no Brasil até março de 2012.

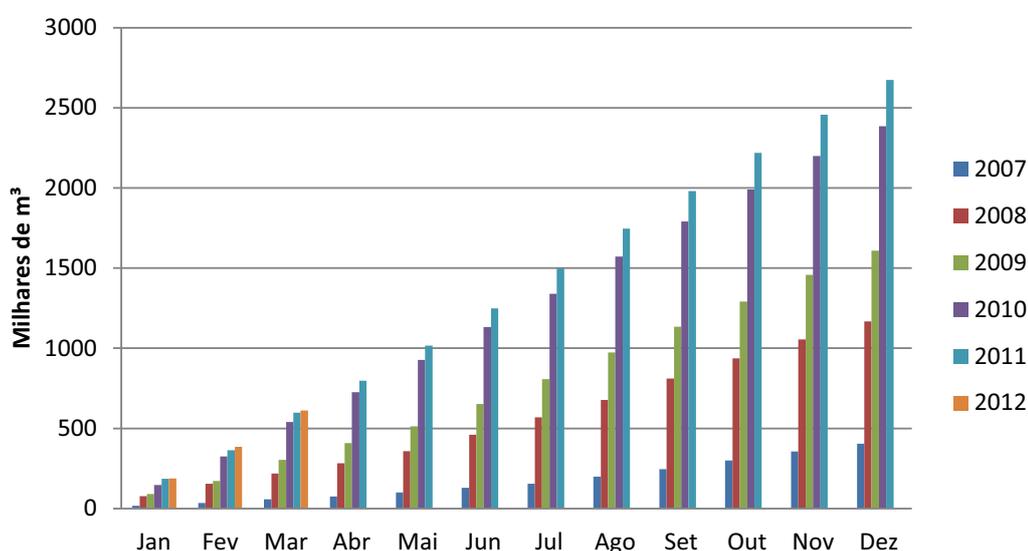


Figura 4. Produção de biodiesel acumulada. Fonte: Modificado de MME (2012).

O primeiro registro da utilização de óleos vegetais como combustível em motores de combustão interna com ignição por compressão foi no século XIX, na Feira Mundial de Paris, na França, quando o próprio criador do motor, Rudolf Diesel, utilizou óleo de amendoim para demonstração. Já no início do século 20, Diesel fez a seguinte afirmação: “O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante, mas com o tempo, irão tornar-se tão importantes quanto o petróleo e o carvão” (SANTOS, 2007).

O biodiesel constitui-se da mistura de alquilésteres comumente obtido através da reação química da alcoólise, ou transesterificação. As matérias primas utilizadas para produção do biodiesel são substâncias untuosas ao tato, hidrofóbicas, pertencem à classe química dos lipídeos. Em temperatura ambiente, independente da sua origem podem se apresentar no estado líquido (óleos) ou em estado semi-líquido, pastoso ou sólido (gorduras). Diretrizes do Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos define em 20 °C a temperatura limite, inferior, para o ponto de fusão das gorduras, classificando como óleo aquelas substâncias cujo ponto de fusão encontra-se abaixo de tal temperatura (CÂMARA, 2006; REGITANO-D'ARCE, 2006).

Pode ser utilizada como matéria prima gordura animal, óleos vegetais, como os extraídos da mamona, soja, dendê, entre outros. A reação para produção do biodiesel ocorre na presença de um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, estimulado por um catalisador, da qual também se extrai a glicerina, utilizada na indústria química. O processo de produção é sempre o mesmo, independente da origem, 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 5 apresenta a reação de alcoólise, ou transesterificação, de biodiesel.

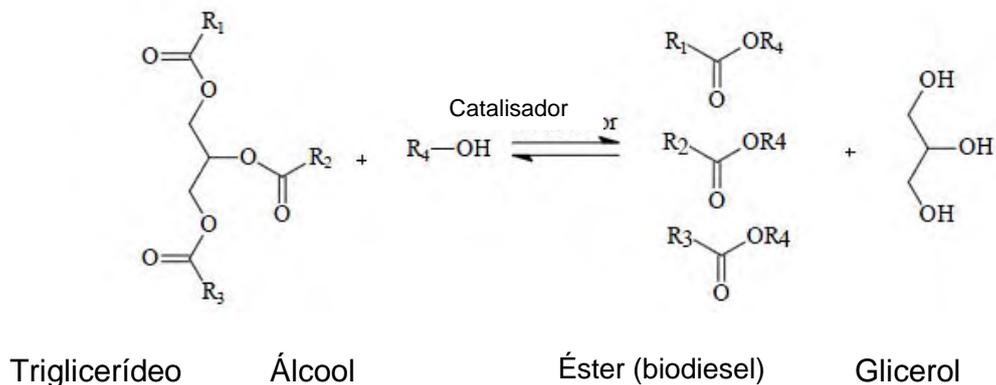


Figura 5. Reação de alcoólise (transesterificação) do triglicerídeo com alcohóis, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos.

Estruturalmente, os óleos e gorduras são, com pouquíssimas exceções, compostos por triglicerídeos, ou seja, triésteres de glicerina com ácidos graxos. Após a reação, a glicerina, solúvel em água, é removida para a fase polar permitindo a separação do biodiesel (REGITANO-D'ARCE, 2006).

A transesterificação pode ser catalisada tanto por ácidos como por bases (FERRARI et al. 2005). No entanto, a reação catalisada por bases (utilizando hidróxido ou alcóxido de sódio ou potássio) apresenta 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).

Além de óleos vegetais, gorduras animais e microrganismos, pode-se utilizar óleo residual de fritura como matéria prima para produção de biodiesel. De acordo com LOPES et al. (2004), grande parte da produção mundial de óleo é utilizada no processo de fritura; entretanto, após o uso, tal produto torna-se resíduo indesejável. Os métodos usuais de descarte desses resíduos geralmente contaminam o meio ambiente, principalmente os rios e pequenos cursos d'água, sendo a destinação para produção de combustível muito interessante.

As matérias-primas produtoras de biodiesel expressam basicamente a constituição e natureza dos ácidos graxos presentes nos triglicerídeos, podendo apresentar relações diferentes entre os compostos glicéricos e não-glicéricos, assim como, os ácidos graxos constituintes podem ter menor ou maior número de carbonos; nenhuma, uma ou mais duplas ligações (insaturações), dessa maneira as propriedades do combustível obtido apresenta relação direta com a natureza, qualidade da matéria-prima e condições em que este foi produzido (FAGUNDES et al. 2005).

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% 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).

Uma das vantagens relevantes do biodiesel é dispensa de adequações nos motores de ciclo diesel, diferentemente dos outros combustíveis limpos, como o gás natural ou o biogás que necessitam de adaptação dos motores. Sendo o biodiesel apropriado de atender à frota movida a óleo diesel (D'AGOSTO, 2004). O biodiesel é miscível ao óleo diesel, podendo ser utilizado na forma 100% (B100) ou em misturas binárias, designadas pela abreviação BX, em que X é a porcentagem de biodiesel adicionada à mistura e o B (*Blend*) é a abreviação da palavra “mistura” na língua inglesa. De modo geral, B100 corresponde ao uso de biodiesel puro, considera-se mistura de B20 a B30, B5 é aditivo e B2 aditivo de lubricidade (PARENTE, 2003; COSTA & HOESCHL, 2006).

A obrigatoriedade do uso de 2% de biodiesel no diesel acarretou demanda de 1 bilhão (L/ano). Já em julho de 2009, esse percentual passou para 4%, necessitando de 1,8 bilhão (L/ano). Para adição de 5% de biodiesel no diesel houve uma previsão de 2,4 bilhões (L/ano), passando para 2,8 bilhões (L/ano) para 2013. (DANTAS, 2010; GOES et al., 2010).

2 Propriedades do biodiesel

Algumas propriedades físicas dos óleos vegetais *in natura* limitam e inviabilizam seu uso direto como combustível. Alta viscosidade, baixa volatilidade e caráter poliinsaturado (baixo índice de cetano), prejudica o funcionamento do motor,

provocando combustão incompleta (FERRARI et al, 2005). É preciso adequar os óleos vegetais para que este possa ser usado como combustível. O biodiesel possui algumas características que representam vantagem sobre os combustíveis derivados do petróleo, tais como, virtualmente livre de enxofre e de compostos aromáticos; alto número de cetano; teor médio de oxigênio; maior ponto de fulgor; menor emissão de partículas, CO e CO₂; caráter não tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis (HAAS et al., 2001; PETERSON et al., 2002).

3 Número de cetano

O número de cetano é a expressão adimensional da qualidade de ignição do óleo diesel, determinado em motores especiais (padrão), sendo normalmente adotado o motor C.F.T. diesel. 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, C₁₆H₃₄). Da mesma forma, ao final da escala, foi atribuído o valor 100, correspondente à ignição do hexadecano (hidrocarboneto de cadeia linear, C₁₆H₃₄, conhecido popularmente como cetano). No entanto, as características moleculares influenciam na qualidade da ignição, em que a 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 valor médio do número de cetano pode variar conforme a matéria-prima utilizada na produção do biodiesel, maiores números de cetanos são encontrados quando a matéria prima provém de palmeiras e menores quando se utiliza óleo de soja, mamona, óleo de girassol e óleo de semente de uvas (BANGBOYE, 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).

4 Poder calorífico

Conforme Regulamento Técnico ANP nº 3, anexo da Portaria ANP nº 128, de 28 de agosto de 2001, 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). Ressalta-se que o poder calorífico do biodiesel é, em média, 90% do poder calorífico do diesel, a Tabela 1 apresenta características físico-químicas do biodiesel de algumas espécies vegetais e do óleo diesel.

O valor de poder calorífico (MJ.kg^{-1}) difere pouco entre as matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel, conforme observado por PERES et al. (2007), com valores de 39,11 (soja), 39,00 (mamona), 39,08 (pinhão-manso), 40,1 (óleo de frango) e 39,33 (sebo bovino), enquanto $42,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ do diesel.

Tabela 1. Características físico-químicas do biodiesel de várias espécies vegetais e do óleo diesel.

Características	Origem do biodiesel					
	Mamona	Babaçu	Dendê	Algodão	Soja	Diesel
Poder calorífico (MJ.kg ⁻¹)	37,87	39,52	39,90	39,85	-	45,31
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 (2000)

5 Viscosidade

Viscosidade é a medida da resistência interna ao escoamento de um líquido, ou seja, a propriedade responsável pela resistência à deformação. Diz-se também que viscosidade é à fricção ou 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. 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, 2005b).

Em relação ao diesel convencional, 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 o biodiesel seja utilizado, espera-se que a viscosidade seja semelhante ao diesel de petróleo (KNOTHE, 2005c). ALBUQUERQUE et al. (2006) demonstra no trabalho que o óleo de canola, com temperatura de 25 °C, antes do processo de transesterificação, apresentava valores de viscosidade dinâmica de 58,9 mPa.s⁻¹, e após o processo, este valor foi reduzido para

5,68 mPa.s⁻¹, similar ao diesel, cuja viscosidade foi de 4,16 mPa.s⁻¹. A Tabela 2 apresenta a viscosidade para diferentes tipos de biodiesel.

Tabela 2. Diferentes tipos de biodiesel e suas respectivas viscosidades.

BIODIESEL	VISCOSIDADE (mPa. s ⁻¹) a 40 °C
90% soja + 10% sebo	3,9754
Biodiesel de sebo	4,2989
Biodiesel de soja	3,9498
Diesel	3,4755

Fonte: Adaptado de Abreu (2011)

Conforme observado por BROCK et al. (2008) a viscosidade dinâmica do óleo de canola apresentava queda à medida que se aumentava a temperatura, com o óleo apresentando valores de 73,1 e 14,9 mPA.s⁻¹ quando estava com temperatura de 20 e 70 °C, respectivamente. Além da temperatura, outro fator que pode interferir na viscosidade é a porcentagem de catalisador utilizada, conforme observado por RINALDI et al. (2007) que, trabalhando com hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, observaram que biodiesel preparado com diferentes quantidades de catalisador apresentou viscosidades ligeiramente diferentes, devido a distintos teores de sabão, mono e diglicerídeos presentes no produto final.

A viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para o diesel fóssil, que pode variar entre 3,0 e 6,0 mm².s⁻¹, para biodiesel (B100), conforme determinado na Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2012 (ANP, 2012d).

Conforme MACHADO (2008), o biodiesel possui, em geral, independentemente da fonte, viscosidade superior ao diesel. Viscosidade excessiva promove pressão demasiada no sistema de injeção, compromete a pulverização do óleo no interior da

câmara de combustão prejudicando a combustão, aumenta a emissão de poluentes e reduz a vida útil do motor. Viscosidade abaixo da especificação pode comprometer a atomização do jato de combustível no momento da injeção e, em razão disso, afetar a combustão e reduzir a potência do motor. Outro problema causado pela baixa viscosidade é o desgaste acelerado do conjunto em função de vazamentos decorrentes do comprometimento da propriedade lubrificante do combustível.

6 Densidade

Em relação à densidade, deve-se salientar a estreita relação entre esta e o poder calorífico do combustível. Altas densidades podem acarretar no aumento de material particulado, enquanto menores podem causar perda de desempenho (BOSCH, 2005). 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).

7 Lubricidade

Lubricidade é a habilidade de uma substância em interpor uma película entre dois corpos com movimento relativo, cuja função é reduzir atrito e, conseqüentemente, desgaste (LILJEDAHN et al., 1989). A redução da concentração de enxofre no óleo diesel acarreta problemas de lubrificação nas partes móveis das bombas injetoras. Por apresentar maior viscosidade, o biodiesel proporciona maior lubricidade que o diesel e tem-se observado redução no desgaste das partes móveis do motor. 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).

8 Motor Diesel

Rudolf Diesel desenvolveu o motor de ignição por compressão que leva seu nome: um motor de combustão interna, de pistão, alternativo, com formação da mistura dentro câmara do cilindro e autoignição (BOSCH, 2005). Inicialmente Rudolf 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). Logo a popularidade do motor de ignição por compressão cresceu, sendo sua aceitação em virtude do uso do óleo diesel, até então tratado como resíduo do refino da gasolina (VAN GERPEN, 2004).

Eficiência, durabilidade, capacidade de gerar torque em baixa rotação e o baixo nível de monóxido de carbono emitido na combustão fizeram com que o motor diesel se destacasse. Motores de ignição por compressão podem ser encontrados nos mais distintos ambientes. São aplicados no transporte público, transporte de cargas, veículos leves, geradores de energia elétrica, indústria naval, mineração, etc. REIS et al. (1999) ressaltam que a importância dos motores diesel como fonte de potência no meio rural, equipando tratores, fica evidente quando se estima que quase a metade do consumo final de combustível do setor agropecuário deve-se ao uso destes equipamentos.

A utilização de motores diesel na agricultura é indiscutível devido à robustez, confiabilidade, maiores desempenhos e vida útil, apresentando menor consumo e rendimento superior quando comparados aos motores ciclo Otto. O ciclo Diesel se realiza 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 totalidade são quatro tempos (MIALHE, 1980).

Para REIS et al. (1999), o motor diesel encontra-se estabelecido como fonte de potência para tratores e colhedoras, sendo este a fonte de potência padrão para tratores agrícolas por longo período. De maneira geral os motores diesel utilizados em tratores e colhedoras têm como características predominantes o uso do ciclo de 4 tempos, com alimentação de ar natural (aspirado), injeção direta de combustível, três, quatro ou seis cilindros dispostos em linha e com arrefecimento líquido.

Das emissões veiculares, cerca de 70% de monóxido de carbono, 50% de óxido nítrico e 42% dos VOC's (sigla na língua inglesa de "compostos orgânicos voláteis") são provenientes de motores de combustão interna. Para reduzir a contaminação do ambiente e se enquadrar nas novas regras de emissão de poluentes, as indústrias de motores investem em modificações estruturais nos motores e adição de novos componentes que acarrete na melhoria do desempenho, reduza o consumo de combustível e emissão de contaminantes. A adição de sobrealimentadores (*turbocharger, turbo*) e permutadores de calor (*intercooler*) tem-se mostrado método eficaz para resolver estes problemas (CANLI, 2010).

Ao fornecer mais oxigênio, através da turbina sobrealimentadora, os motores lançam menor carga de contaminantes no ar, reduz o consumo específico de combustível e os pistões trabalham com velocidade reduzida, com potência satisfatória, resultando em melhor eficiência mecânica (DARICI et al., 2010). Nos motores turbinados, especialmente em maiores rotações e com maior carga, o *turbo* tende a elevar a temperatura do ar admitido, conseqüentemente à quantidade de ar introduzida na câmara de combustão diminui. Para evitar a redução da qualidade e da potência do motor utiliza-se o *intercooler* (UZUN, 2010).

O permutador de calor do ar (*intercooler*) é montado na frente do sistema de arrefecimento da água (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). A Figura 6 ilustra a posição do sistema intercooler em trator.

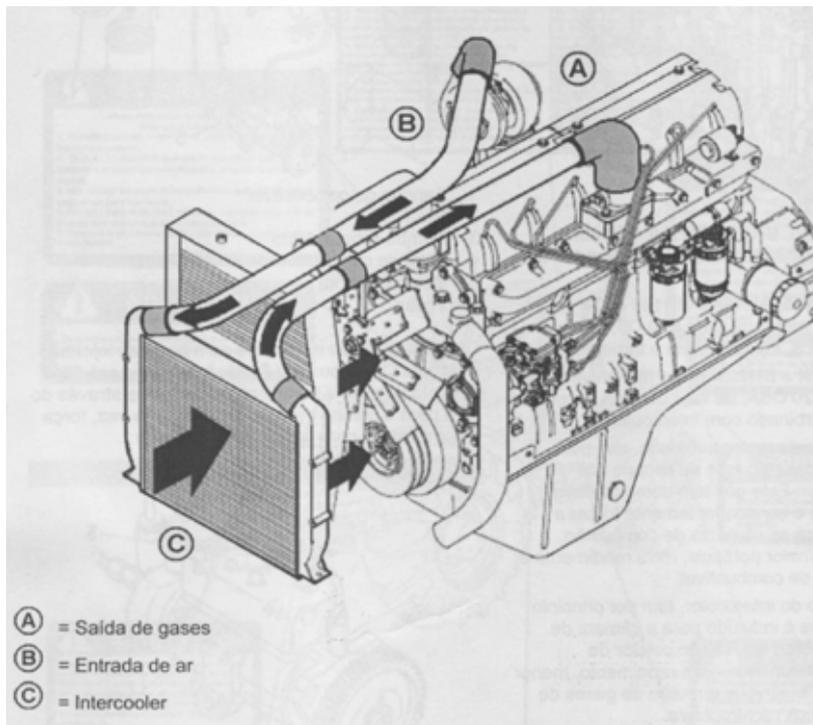


Figura 6. Sistema intercooler no trator BM 125i.

Fonte: VALTRA, 2012.

9 Emissão de gases e fuligem

Poluição consiste na emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos em quantidade superior à capacidade de depuração do meio ambiente. O desequilíbrio resultante interfere na vida dos animais, vegetais e nos mecanismos de proteção do planeta. Os poluentes atmosféricos, quando em altas concentrações, podem afetar a saúde das populações, além de danificando estruturas e o próprio ambiente (PEREIRA & DANTAS 2007).

As emissões do motor diesel estão ligadas à qualidade da queima do combustível, com diversas propriedades do óleo diesel, influenciando 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 quando ocorre sobrealimentação, quando a quantidade de ar fornecida é menor do que o ar teórico necessário, pode-se incluir entre os produtos resultantes 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. Para uma reação de combustão real nem sempre é tão direto e simples de se obter a equação química balanceada (PIANOVSK JUNIOR, 2002a).

Nos últimos 250 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 31%, atingindo o nível mais alto já registrado. Ressalva-se que 75% desses gases são oriundos da queima de combustíveis fósseis e produção de cimento. A mudança de uso da terra, devido ao desmatamento, tem contribuído também com 25%, sendo altamente significativa (BRASIL, 2006).

Vários trabalhos tem 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).

De acordo com MENDONÇA (2007) para cada 1 tonelada de biodiesel de soja produzido, sequestra-se 1,124 toneladas de CO₂ equivalente, já para cada 1 tonelada de óleo diesel produzido e utilizado ocorre emissão de 3,55 toneladas do mesmo gás.

Segundo OLIVEIRA & 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.

O grupo éster e a presença de oxigênio na molécula fazem com que a queima do biodiesel resulte em menor quantidade de fuligem, favorecendo a queima mais completa. 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).

Para verificar a intensidade de material particulado presente na fumaça, utiliza-se a opacidade da fumaça, que indica a impenetrabilidade da luz, sendo quanto mais escura for a fumaça, maiores serão a opacidade e a quantidade de material particulado. O opacímetro determina a opacidade da fumaça do gás expelido, este aparelho coleta somente parte do fluxo de gás, através da sonda e do tubo de captação acoplados no cano de escape do veículo. Verificou-se que, utilizando-se de biodiesel de dendê, ocorreu redução de 48,73% na opacidade da fumaça quando comparado com o diesel (OLIVEIRA, 2012).

KOIKE et al. (2010) avaliaram a emissão dos gases de combustão em motor de ignição por compressão e perceberam que, quando se injetou álcool no diesel, a opacidade da fumaça reduziu-se em 17,4% em virtude da maior eficiência da combustão, e para tratamento com biodiesel e biodiesel com injeção de etanol, a opacidade teve redução a ponto de as medidas serem menores do que o limite de sensibilidade do equipamento.

10 Desempenho operacional

GAMERO & LANÇA (1996) citam algumas variáveis que devem ser mensuradas para avaliação do desempenho operacional de máquinas, dentre eles encontram-se: força de tração, consumo horário de combustível, consumo específico e velocidade de deslocamento. De acordo com MIALHE (1996), a mensuração da quantidade de combustível consumida é de extrema importância na avaliação do rendimento do motor, ou seja, do desempenho como máquina térmica conversora de energia. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo ($L \cdot h^{-1}$; $kg \cdot h^{-1}$, etc.) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico = $g/cv \cdot h^{-1}$; $g/kW \cdot h^{-1}$, etc.).

Trabalhando com trator agrícola na operação de escarificação com biodiesel produzido a partir de óleo residual de fritura B100 (50% metílico e 50% etílico), SORASO (2008) observou que o combustível testado aumentou em 15,5% o consumo horário volumétrico, 18,1% o consumo horário ponderal, 16% o consumo operacional (ha/h) e 18% no consumo específico de combustível em relação ao diesel (B0).

CASTELLANELLI et al. (2008) avaliaram o desempenho do motor de ignição por compressão da marca CUMMINS, modelo 4BTA 3.9, funcionando com diferentes misturas de biodiesel etílico de óleo de soja no diesel. As misturas, B2, B5 e B10, resultaram em desempenho semelhante ao do diesel (B0). Confrontando B0 e biodiesel puro (B100), observou-se que o motor apresentou desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico, quando utilizaram 100% de biodiesel. A proporção B20 destacou-se, apresentando melhor desempenho que B0.

LOPES et al. (2009) avaliaram o consumo de biodiesel etílico de soja residual em trator, e os resultados evidenciaram que o uso de biodiesel até a proporção de 50% de mistura não alterou o consumo; entretanto, quando o trator funcionou com 100% de biodiesel o consumo de combustível tenha aumentado 11%, embora não se observou anomalia no funcionamento do motor.

11 Murumuru

Os estados do norte do Brasil possuem grande diversidade de matéria 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, 2008). O bioma amazônico destaca-se pela enorme diversidade de espécies fontes de óleos vegetais. Explorar esta diversidade de oleaginosas nativas, para a produção de biodiesel, pode contribuir para o abastecimento de micro unidades 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 na Colômbia, Venezuela, Guianas, Equador, Peru, Bolívia e Brasil (FERREIRA, 2012). Especificamente no Brasil, encontra-se no estuário do rio Amazonas (SILVA, 1996) e afluentes (ALTMAN, 1958), assim como no alto e baixo Amazonas (BALICK, 1979). São comuns frequências próximas a 100% nas florestas de várzea e na foz do Amazonas, sendo usual localizar-se entre as primeiras espécies em densidade nos inventários fitossociológicos (QUEIROZ, 2004; ALMEIDA, 2004).

QUEIROZ et al. (2005) apontam que no estuário amazônico, entre os estados do Amapá e Pará, a família Arecaceae é muito abundante nas florestas de várzea, sendo o açaí representado por 207 plantas por hectare e o murumuru 160 plantas por hectare. BENTES-GAMA et al. (2002) observaram que o murumuru apresentou a maior densidade relativa ao estudarem uma floresta de várzea baixa no Pará, sendo o padrão de dispersão das plantas aleatório, sendo 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), entretanto provavelmente foi incipientemente domesticada na época dos primeiros contatos, ou seja, foi modificada pela seleção e intervenção humana (no mínimo sendo promovida), com redução da variância genética (SOUZA et al., 2004).

Segundo FERREIRA (2011) a palmeira do murumuru é palmeira cespitosa, fortemente armada com longos espinhos negros, de pequeno a médio porte. Pode atingir até 15 m de altura, apresentam 8 a 15 folhas pinadas, rígidas, com até 6 m de comprimento e 38 a 133 pinas lineares em cada lado da raque. As pinas estão regularmente arranjadas e dispostas em um plano. Os frutos maduros são amarelados, oblongos a obovóides, com 3,0 a 8,5 cm de comprimento e 2,0 a 4,5 cm de diâmetro, o epicarpo é espinuloso ou piloso e o mesocarpo carnoso e oleoso.



Figura 7. *Astrocaryum murumuru* MART (Murumuru).

Fonte: QUEIROZ et al., 2008.

Os frutos ficam disposto nos cachos voltados para a copa da planta, tendo em média 4 ou 5 cacho por ano, com média de 300 frutos por cacho, com média de 8,81 kg de frutos por cacho (SOUSA et al. 2004; QUEIROZ et al. 2008).



Figura 8. Cacho de *Astrocaryum murumuru* MART (Murumuru).

Fonte: BEZERRA, 2008.

Os frutos não possuem homogeneidade na forma, tamanho ou coloração (BEZERRA, 2008). Frutos maduros são identificados pelo formato oblongo e ovóide, quando cocos possuem formato comprido, redondo e aboelado com 63,4 mm de comprimento longitudinal, de forma que a base possui 42 mm e a extremidade 34 mm com massa média de 35,2 g (QUEIROZ et al. 2008)



Figura 9. Detalhe dos frutos de *Astrocaryum murumuru* MART (Murumuru).

Fonte: BEZERRA, 2008.

CASTRO (2006) afirma que não há certeza da produtividade dos frutos, entretanto o rendimento de óleo na amêndoa é de 40%. O produto extraído das amêndoas é semelhante a do tucumã, do palmiste e do coco, porém possui maior consistência, e melhor qualidade, devido o ponto de fusão (32,5°C) superior ao do palmito africano (25°C) e do coco (22,7°C). Segundo PESCE (1941) 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, as amêndoas possuem de 40 a 42% de óleo. A coloração da polpa do murumuru pode variar de marrom-claro a amarelo-ouro, sendo o caroço de forma cônica contendo casca lenhosa de cor cinzenta e amêndoa com forma pouco cônica, constituída de massa branca, dura.



Figura 10. Corte dos frutos de *Astrocaryum murumuru* MART (Murumuru).

Fonte: QUEIROZ et al., 2008.

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 cocos, totalizando 189 kg de cocos. 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.

Após a extração, o óleo é manufaturado em “gordura semi-sólida”, denominada manteiga de murumuru, que devido à concentração de ácidos graxos láuricos (54,60%) pode ser utilizada na indústria de cosméticos para fabricação de sabonetes, cremes, xampus, como secativo, emulsificantes, sabões e tensoativos. 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 oléico ($\geq 57\%$ ácido oléico) e o óleo da amêndoa o grupo láurico ($\geq 77\%$ 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 NASCIMENTO et al. (2007) o óleo extraído do endosperma do murumuru detêm potencial de produção em escala industrial para síntese de biodiesel, devido o grande índice de correlação entre os parâmetros normalmente estudados para tal finalidade. TEIXEIRA et al. (2010) também apontam à 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	M (g/gmol)	RF	Biodiesel de Murumuru (%massa)
Laurato de Etila (eC-12:00)	228,38	1,15	48,24
Maristato de Etila (eC-14:00)	256,42	1,18	32,22
Palmitato de Etila (eC-16:00)	284,48	1,21	6,56
Estearato de Etila (eC-18:00)	312,00	1,23	3,07
Oleato de Etila (eC-18:1)	310,00	1,24	7,39
Linoleato de Etila (eC-18:2)	308,00	1,39	2,52

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

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).

LOPES et al. (2007) analisaram a viabilidade do uso de murumuru como matéria prima para produção de biodiesel. Estes autores afirmam que óleos ricos em ácidos graxos saturados, principalmente láurico e mirístico, têm boas perspectivas de fornecerem alquil ésteres indicados como aditivos de mistura com diesel ou para serem utilizados como combustível puro. Mas para que isto aconteça, estes óleos devem apresentar características específicas para serem utilizados em máquinas de ignição por compressão e devem atender as normas vigentes.

12 Soja

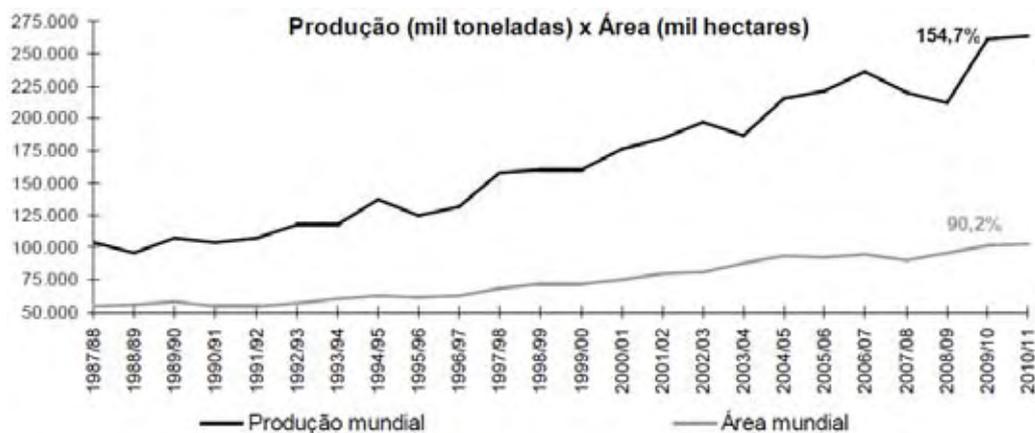
A soja (*Glycine Max* L.) é leguminosa de ciclo anual (90 a 160 dias) originária do extremo Oriente, cultivada a milhares de anos na China. É planta subtropical, entretanto, devido o melhoramento genético, pode ser cultivada até a latitude de 52°N (CAVALETT, 2008). Apesar de ser cultivada no Oriente 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 data 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 concentrava-se na região Sul. Após o ano 2000 o cultivo avançou por todo Cerrado e chegou até a região Norte do país.

Dados do IBGE (2010), com referência ao ano de 2006, a área cultivada representava pouco mais de 7% da área agropecuária brasileira. 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. Entretanto a abertura de novas áreas no Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia respondem por 13% da produção brasileira (AGRICULTURA, 2011).

No cenário mundial, 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. Entre 1987/1988 e 2010/2011 a área cultivada no planeta cresceu 90,2%, já a produção expandiu em 154,7%, Figura 11, (USDA, 2011).

A expressividade do crescimento da produção, em relação à área, deve-se, em grande parte, aos avanços tecnológicos ocorridos no referido período que fizeram com que a produtividade média evoluísse de aproximadamente $1.900 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para mais de $2.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Essa afirmativa é confirmada ao se comparar as taxas anuais de crescimento da área, produção e produtividade mundiais de soja, no período, que foram, respectivamente, de 3,17%, 4,57% e 1,36% (EMBRAPA, 2011).

Figura 11. Evolução da área e da produção mundial de soja – 1987/88 a 2010/11.



Fonte: USDA (2011).

O grão da soja é constituído principalmente por proteínas, lipídios, carboidratos, cinzas e aminoácidos, com teor de óleo nas sementes entre 15 a 20%, composto

majoritariamente por triacilglicerídeos, como os ácidos graxos palmítico (11%), esteárico (4%), oleico (24%), linoleico (54%) e linolênico (7%) (CANDEIA, 2008). 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 et al., 2006, CAVALETT, 2008).

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, observou-se 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 (%massa)
Mirístico	0,1
Palmítico	10,5
Esteárico	3,2
Oleico	22,3
Linoleico	54,5
Linolênico	8,3
Eicosanóico	0,2
Eicosenóico	0,9

Fonte: Modificado de CALDERARI (2011)

Segundo ANP (2012b) 71,10% do biodiesel produzido no Brasil tem como fonte a soja. A perspectiva do governo é de que a soja seja responsável por até 60% da matéria-prima utilizada na produção de biodiesel. Todavia, os grandes empresários da soja esperam manter a participação em cerca de 90% do mercado (ASSIS & ZUCARELLI, 2007).

III MATERIAL E MÉTODOS

1 Área experimental

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola - LAMMA, 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, 2011). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, 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.

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 Biodiesel

Foram utilizados dois tipos de biodiesel, soja refinado e murumuru refinado. As misturas de biodiesel no diesel foram realizadas no momento de cada ensaio.

4 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.

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 2300 RPM (ISO1585), equipado com turbo compressor e *intercooler*, massa total de 7.000 kg, distribuídos 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 2400 rpm, massa total de 7310 kg, distribuídos 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 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 de teste, fazendo ângulo de 45° com a superfície do solo, conforme recomendação do fabricante. Considerou-se a velocidade real de deslocamento, aquela obtida pelo radar no momento em que o trator-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 acomodação e proteção. Tal estrutura foi fixada no trator de 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 em 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 a 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 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.

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



Figura 12. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.

Fonte: LOPES (2006)

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 13 e 14.

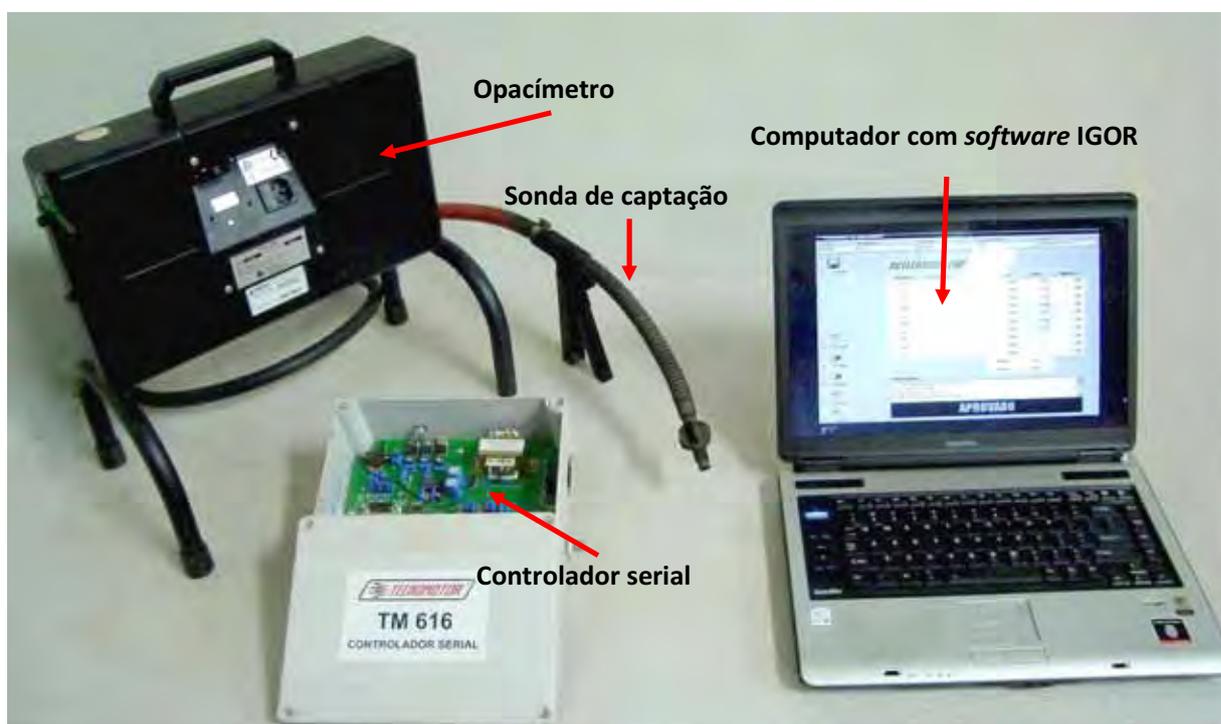


Figura 13. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.

Fonte: LOPES (2006)



Figura 14. 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 6×2 , com três repetições, totalizando 36 observações. As combinações dos fatores forma seis proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 e B100, em que a letra indica 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 distribuição das repetições de cada tratamento na área do ensaio de desempenho encontram-se ilustradas na Figura 15.

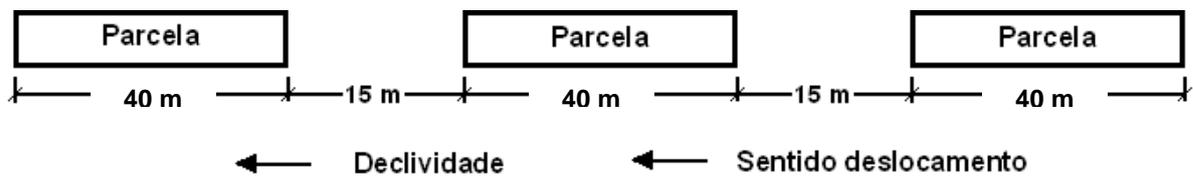


Figura 15. Esquema das parcelas.

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		0	100	B0
P2		5	95	B5
P3	Soja	25	75	B25
P4		50	50	B50
P5		75	25	B75
P6		100	0	B100
P7		0	100	B0
P8		5	95	B5
P9	Murumuru	25	75	B25
P10		50	50	B50
P11		75	25	B75
P12		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 a área experimental.

Utilizou-se escarificador de arrasto Marchesan, modelo AST/MATIC 7, com massa total de 1.400 kg. Esse equipamento constituí-se de cinco hastes espaçadas de 45 cm entre si, ponteiros de 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 (1997).

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, 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) ativada, sendo a velocidade de trabalho e a carga necessária obtida por meio da combinação do câmbio em 4ª marcha, no grupo L. A dinâmica do ensaio é ilustrada conforme Figura 16.



Figura 16. Dinâmica do ensaio de desempenho.

Fonte: LOPES (2006)

Em todas as parcelas, procurando estabilizar as determinações, o trator de teste iniciava o movimento num espaço de 15 m, antes da primeira baliza que demarcava o início da 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;
- 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:

$$FT = \left(\frac{Ft}{1000} \right) * 9,81 \quad (1)$$

em que,

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

Ft = força de tração média (kgf), e

1000 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 consumo horário (volumétrico e ponderal) e consumo específico.

11.6.1 Consumo horário volumétrico

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.

11.6.2 Consumo horário ponderal

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.

11.6.3 Consumo específico

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

$$Ce = \left(\frac{Chp}{PB} \right) * 1000 \quad (5)$$

em que,

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

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

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

1000 = fator de conversão.

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 diesel interior e biodiesel (kg m^{-3});

T = temperatura do combustível (°C);

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 no seu curso máximo, permanecendo nessa condição por tempo máximo de 3 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} (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 & 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.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio I – Desempenho do trator

Os resultados de desempenho do trator estão apresentados na forma de Tabelas, Figuras e Equações. A síntese das análises estatísticas foi apresentada para grupos de variáveis nas Tabelas 7 e 8. Nessas tabelas, os dados referentes aos fatores Tipo de biodiesel e Proporção de mistura representaram médias de 12 e 6 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)			
Soja	24,3 a	38,1 a	5,6 a
Murumuru	23,9 a	37,5 a	5,6 a
Proporção de Biodiesel (Bn)			
B0	24,0 a	37,6 a	5,6 a
B5	23,8 a	37,2 a	5,6 a
B25	24,1 a	37,7 a	5,6 a
B50	24,3 a	38,3 a	5,6 a
B75	24,2 a	38,9 a	5,6 a
B100	24,2 a	37,9 a	5,6 a
TESTE F			
TB	2,4421 ^{NS}	2,4529 ^{NS}	0,0032 ^{NS}
B _n	0,4710 ^{NS}	0,6514 ^{NS}	2,5252 ^{NS}
TBxB _n	2,4031 ^{NS}	2,4030 ^{NS}	1,0774 ^{NS}
C.V.(%)	3,31	3,31	0,44

** 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.

1 Velocidade de deslocamento

Verifica-se, na Tabela 7, que o tipo de biodiesel e proporções de mistura não influenciou na velocidade de deslocamento do trator. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por SORANSO et al. (2008) trabalhando com biodiesel de óleo residual de soja, com força média na barra de tração de 20 kN.

2 Força e Potência na barra

Verifica-se, na Tabela 7, que os fatores tipo de biodiesel e proporção de biodiesel não influenciaram na força e potência na barra de tração, cuja média foi 24,1 kN e 37,7 kW, respectivamente. Esse comportamento é explicado em função de a referida variável ser produto da força, mantida próxima a 23 kN. Estes resultados evidenciaram que o uso de biodiesel não afeta a potência disponível na barra de tração, pois a forma de compensação do menor poder calorífico do biodiesel, em relação ao diesel, é o aumento no consumo de combustível para que a potência na barra de tração não seja comprometida.

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)			
Soja	14,1 a	12,2 a	320
Murumuru	12,8 b	11,1 b	301
Proporção de Biodiesel (Bn)			
B0	13,7 a	11,7 ab	291
B5	13,0 a	11,1 a	296
B25	13,3 a	11,4 ab	307
B50	13,2 a	11,4 ab	312
B75	13,9 a	12,1 b	322
B100	13,7 a	12,2 b	335
TESTE F			
TB	51,0447 **	45,3165 **	40,9097 **
B _n	2,3067 ^{NS}	4,8091 **	19,1601 **
TBxB _n	1,2280 ^{NS}	0,8385 ^{NS}	2,6199 *
C.V.(%)	4,81	4,84	3,33

** 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.

3.1 Consumo horário volumétrico

Verifica-se na Tabela 8 que o tipo de combustível influenciou o consumo horário volumétrico. O biodiesel de murumuru apresentou menor consumo que o biodiesel de soja, sendo a diferença de 9,22%. Analisando a proporção de mistura, os resultados demonstraram que não houve diferença significativa.

Com relação à proporção de mistura os resultados contradizem os dados encontrados por CAMARA (2009) que trabalhou com trator VALTRA BM 100 turbo, contrapondo B0 e B100, observaram incremento no consumo horário volumétrico (Chv) de 10,7%. Segundo este autor, o aumento no consumo horário volumétrico (Chv) ocorre em função do menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, desta forma, é necessário desprender maior quantidade de combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho. De acordo com UZUN (2010) quando o motor possui *intercooler* o consumo de combustível de um motor diesel decai entre 3 e 12%, sendo admissível que o efeito diminutivo observado para o diesel aplique-se também para o biodiesel dada as semelhanças químicas e físicas entre os dois combustíveis.

Faz-se justo mencionar que o consumo volumétrico é a informação mais utilizada entre os agricultores para aferição do gasto de combustível, uma vez que este dado é de simples obtenção e fácil análise.

3.2 Consumo horário ponderal

Os resultados expressos na Tabela 8 evidenciam diferença significativa na análise do tipo de combustível. Quando se utilizou biodiesel de murumuru o consumo de combustível foi 9,02% menor que quando se fez uso de biodiesel de soja. Comparando B0 e B100 observa-se que não houve diferença significativa para consumo horário ponderal.

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. Lembra-se 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.

3.3 Consumo específico

Devido à interação ocorrida, os dados de consumo específico 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 Biodiesel	Proporção de Biodiesel					
	B0	B5	B25	B50	B75	B100
Soja	292 Aa	302 Aab	323 Abc	326 Acd	332 Acd	347 Ad
Murumuru	292 Aab	291 Aa	291 Ba	298 Bab	313 Bbc	323 Bc

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

Observa-se na Tabela 9 que o tipo biodiesel apresentou diferença para consumo específico. Utilizando-se biodiesel de soja o trator consumiu 6,92% a mais de combustível que quanto trabalhou com biodiesel de murumuru. De acordo com TONG et al. (2012) o biodiesel derivado de soja possui de 45 a 60 cetanos, enquanto aqueles derivados de palmeiras, podem ter de 58,3 a 70 cetanos. Explicando, assim, esta diferença, tanto para consumo específico (Ce), quanto para consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp).

Conforme a Tabela 9, para proporção de mistura quando comparado B0 e B100 observa-se incremento de 15,85 e 9,6% para de biodiesel de soja e biodiesel de murumuru, respectivamente. Estas diferenças ocorrem devido a maior densidade e menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel conforme CASTELLANELLI et al. (2008) e MURUGESAN et al. (2009).

O consumo específico 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 densidade do produto, assim esta é a forma mais recomendada para comparar tratamentos.

O consumo específico médio em função do tipo de biodiesel e a proporção de mistura foram ajustados, resultando em modelos lineares para o biodiesel de murumuru e biodiesel de soja, conforme ilustrado na Figura 17.

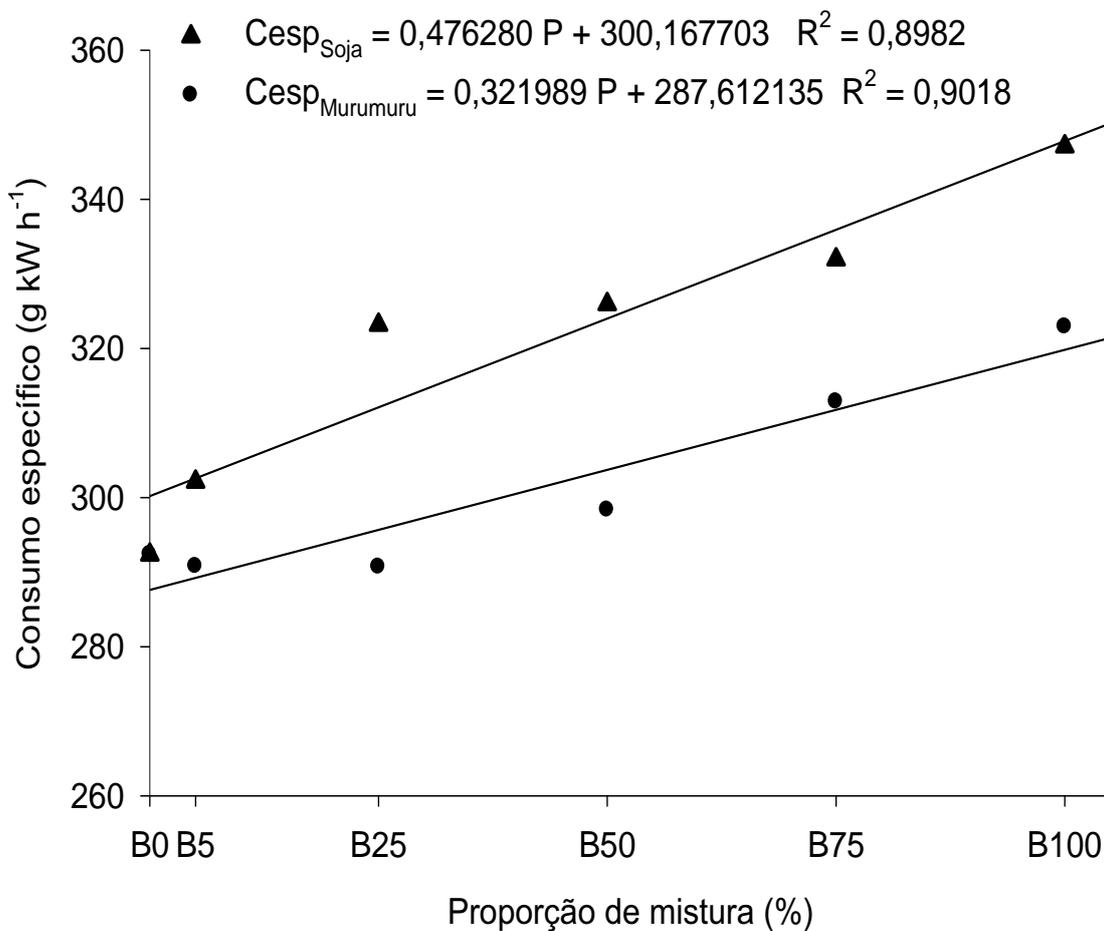


Figura 17. Modelo de regressão para o consumo específico (Cesp) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel.

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 11.

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)	
Soja	2,12
Murumuru	1,70
Proporção de Biodiesel (Bn)	
B0	2,26
B5	2,19
B25	2,12
B50	1,93
B75	1,67
B100	1,36
TESTE F	
TB	1844,2320 **
B _n	974,7652 **
TBxB _n	94,1066 **
C.V.(%)	2,87

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 Biodiesel	Proporção de Biodiesel					
	B0	B5	B25	B50	B75	B100
Soja	2,26 Aa	2,36 Aa	2,32 Aab	2,16 Ac	1,95 Ad	1,67 Ae
Murumuru	2,26 Aa	2,02 Bb	1,93 Bb	1,70 Bd	1,39 Be	1,05 Bf

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. Quando se avaliou proporções de misturas observa-se redução na opacidade da fumaça quando houve adição de 50% de biodiesel de soja no diesel (B50), comparando B0 e B100 o decréscimo na opacidade foi de 26,1%. O biodiesel de murumuru reduziu a emissão quando houve adição de 5% de biodiesel (B5) no diesel, sendo observada redução de 53,54% na opacidade da fumaça comparando B0 e B100. Em todas as proporções a fumaça do biodiesel de murumuru apresentou menor opacidade. Confrontando os tipos de biodiesel observa-se que trabalhando com B100 de murumuru a opacidade da fumaça foi 37,12% menor que B100 de soja.

A eficácia da combustão em motores ciclo diesel guarda relação com o número de cetanos do combustível. Atribui-se ao número de cetano a diferença observada entre os dois tipos de biodiesel. Os dois biocombustíveis proporcionaram redução significativa na opacidade da fumaça. Esse fato é devido à presença de oxigênio no biodiesel, que melhora a qualidade da queima do combustível. Por haver maior disponibilidade de comburente na câmara de combustão a queima do combustível se dá de maneira mais uniforme e completa, reduzindo as emissões de diversos gases poluentes, tais como Monóxido de Carbono, hidrocarbonetos e material particulado (BRASIL, 2002; RABELO, 2001; PIANOVSKI JÚNIOR, 2002b; GRABOSKI & McCORMICK, 1998). Resultados semelhantes foram encontrados por LOPES (2006) e CAMARA (2009).

Após analisados os dados da opacidade da fumaça foram ajustados, resultando em modelos lineares para o biodiesel de murumuru e biodiesel de soja, conforme ilustrado na Figura 18.

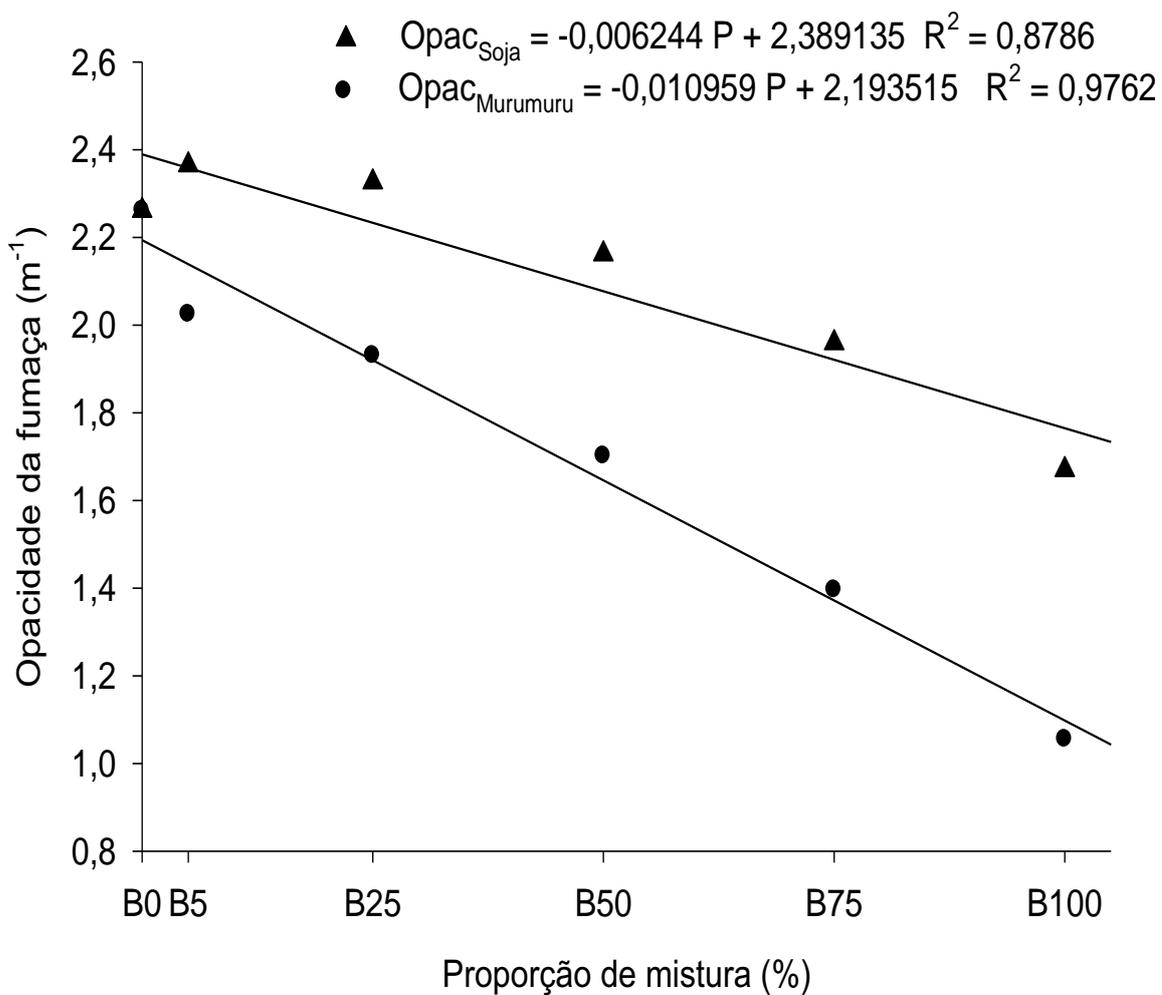


Figura 18. Modelo de regressão para opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo e das proporções de mistura de biodiesel com diesel.

V CONCLUSÕES

1. As proporções de biodiesel no diesel não comprometeram o funcionamento do motor durante os testes.

2. Não houve diferença estatística para os resultados observados de velocidade de deslocamento, força e potência na barra.

3. Trabalhando com biodiesel de murumuru o consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico, de combustível, foram respectivamente, 9,22, 9,02 e 6,92% menor que quando se trabalhou com soja.

4. As proporções de mistura não resultaram diferença significativa no consumo horário volumétrico e consumo horário ponderal

5. Para consumo específico houve acréscimo de 15,85 e 9,6% para de biodiesel de soja e biodiesel de murumuru, respectivamente, quando comparado B0 e B100.

6. Confrontando B0 com B100 a opacidade da fumaça reduziu 53,54 e 26,1% quando se trabalhou com murumuru e soja respectivamente. A opacidade de B100 de murumuru foi 19,81% menor que B100 de soja.

VI REFERÊNCIAS

ABREU, F. L. B. de; SANTOS FILHO, D. M. E.; PEREIRA, R. G.; BALDNER, BARBOSA, A. P. F.; RODRIGUES, C. R. C.; SANTOS JÚNIOR, J. J. P. dos; SIQUEIRA, J. R. R. Avaliação da viscosidade dinâmica de biodiesel – Rota Etílica – e outros óleos utilizando-se duas abordagens. Avaliação da viscosidade dinâmica de biodiesel – rota etílica – e outros óleos utilizando-se duas abordagens. Trabalho apresentado no II Congresso Internacional de Metrologia Mecânica, Natal, 2011.

ALBUQUERQUE, G. A; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, M. C. D.; SANTOS, I. M. G.; FERNANDES Jr., V.J. Avaliação Reológica e Caracterização Físico-Química do Biodiesel de Canola e Misturas. In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, 2006, p. 175 – 180.

AGRICULTURA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLIMENTO. **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-%202_0.pdf>. Acesso em: 20 fevereiro 2012.

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).

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 12 de fev. 2012

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍV EIS. **Biodiesel**. 2012a .Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?pg=46827&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1337375776973>>. Acesso em 18 maio 2012.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍV EIS. **Biocombustíveis**. 2012b .Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?id=470>>. Acesso em 18 maio 2012.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. SUPERINTENDÊNCIA DE REFINO E PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL - SRP. Boletim mensal, Março de 2012c. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?dw=60128>>. Acesso em 17 maio 2012.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº14, de 11 de maio de 2012**. 2012c. Disponível em: < http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2012/maio/ranp%2014%20-%202012.xml>. Acesso: 23 maio 2012.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: ASAE, **Standards 1997**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1997. p. 254-275.

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.

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. In: II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 2007, Brasília. Anais do II Congresso da RBTB, 2007. v. Unico.. In: II Congresso da RBTB, 2007., 2007, Brasília. II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 2007, Brasília, 2007. v. 1.

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

BAMGBOYE, AI.; 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.

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: 01 jul. 2006.

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.

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

BP. **BP Statistical Review of World Energy**. Junho, 2011.

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. **Resolução nº 42, de 24 de setembro de 2004**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em: 7 jan. 2012.

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 fev. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 07, de 19 de março de 2008**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em: 12 abr. 2012.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA. Relatório de Perspectivas do Meio Ambiente Mundial – GEO Brasil 2002. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em 12 março 2012.

BROCK, J.; NOGUEIRA, M.R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F.C.; CORAZZA, M.L.; OLIVEIRA, J.V. de. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 564-570, 2008.

CALIXTO, C. D. Óleo de quiabo como fonte alternativa para produção de biodiesel e avaliação de antioxidantes naturais em biodiesel etílico de soja. Tese (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.

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, J.R. FILHO.; BRASILINO, M.G.A.; BICUDO, T.C.; SANTOS, I.M.G.; SOUZA, A.G. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. *Fuel*. 88:738, 2009.

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

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.

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

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

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.

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

CUNHA, M. P. da. **Avaliação de Impactos e Indicadores Socioeconômicos e Ambientais de Rota de Produção de Biodiesel no Brasil, Baseada em Análise de Insumo-Produto**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas.

D'AGOSTO, M. A. **Análise da eficiência da cadeia energética para as principais fontes utilizadas em veículos rodoviários no Brasil**. 2004 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

DANTAS, M. B. **“Blendas de Biodiesel: Propriedades de Fluxo, Estabilidade Térmica e Oxidativa e Monitoramento Durante Armazenamento”**. 2010. 118 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

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.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Evolução e Perspectiva de Desempenho Econômico Associados com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. 2011. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc319_3ED.pdf>. Acesso em: 16 maio 2012.

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: 15 de janeiro 2012.

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas do Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. 2011. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Ingls_-_Completo.pdf>. Acesso em 14 fev. 2012.

FAGUNDES, F. P. et al. **Avaliação das propriedades do óleo de mamona na produção de biocombustível**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador.

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 realizada em Goiania-GO. 2011.

FERREIRA, E. J. L. F. Manual das palmeiras do Acre, Brasil. Disponível em: <http://www.nybg.org/bsci/acre/www1/manual_palmeiras.html>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

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

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K.P. Ensaio & Certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In. MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. P. 463-514.

GOES, T.; ARAÚJO, M.; MARRA, R. Biodiesel e sua Sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010>>. Acesso em: 23 de maio de 2012.

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

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

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

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 fevereiro 2012

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11>>. Acesso em: 27 set 2010.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I Report, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em 17/07/2012.

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.

KOIKE, G. H. A.; LOPES, A.; PASSARINI, L. C.; CAMARA, F. T.; JÚNIOR, H. L.; DALBEM, A. J. 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**, v. 7, n. 1, p. 11-18, jan a abr. 2010.

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

LÔBO, I.P., FERREIRA, S.L.C. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. Revista Química Nova, vol.32, nº6, p. 1596-1608, 2009.

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. et al. Potencialidades do biodiesel no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 1., 2004, Varginha. **Anais...** Varginha: UFLA, 2004. 1 CD-ROM.

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 BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007.

LOPES, A. ; DABDOUB, M. J.; GROTTA, D. C. C.; CAMARA, F. T.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Consumo de biodiesel etílico de óleo residual em trator agrícola variando o percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. **Revista da ANPG**, v. 1, n. 1, p.10-15, 2009.

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**, Sevilha, v.48, n.3,p.154_158, 1997. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2133739>>. Acesso em 10 janeiro de 2012.

MDA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria da Agricultura Familiar. Biodiesel. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286217>>. Acesso: 13 maio 2012.

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.

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

MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. **Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz**, Piracicaba. 1996. 723 p.

MME. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. **Boletim mensal**. Edição nº 51. Abril, 2012.

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.

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.

OLIVEIRA, M. C. J. Biodiesel de mamona em trator agrícola: Desempenho em função do período de armazenamento e da proporção biodiesel\diesel. Dissertação (mestrado). Jaboticabal, 2012.

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.

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: UFLA, 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 implmentação 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. **Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior**. Disponível em www.biodiesel.gov.br, 2006.

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** In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, 2007. 1 CD-ROM.

PESCE, C. **Oleaginosas da Amazonia**. Editora Revista da Veterinaria. Belém – PA 1941.

PETERSON, C. L.; COOK, J. L.; THOMPSON, J. C.; TABERSKI, J. S. Continuous flow biodiesel production. **Applied Engineering in Agriculture**. 2002, 18, 5.

PIANOVSKI Jr., G. Utilização de misturas de óleo diesel e ésteres etílicos de óleo de soja como combustíveis alternativos: Análise do desempenho e do processo de combustão no motor diesel. Dissertação (Mestrado). Curitiba, PR. 2002a.

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. 9., 2002. Proceedings of the ENCIT 2002. Caxambú, MG: ABCM, 2002b. (Paper CIT 02-0053).

PLA, J. V. J. A. ; PADULA, A. D.; RATHMANN, R.; SANTOS, O. I. B.. Biodiesel:

Uma Alternativa Estratégica na Matriz Energética Brasileira?. In: **II Seminário de Gestão de Negócios**. Curitiba. UNIFAE, v. 1, 2005.

QUEIROZ, J. A. L. de; Fitossociologia e distribuição diamétrica em floresta de várzea do estuário do rio Amazonas no Estado do Amapá. Dissertação de 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.

RABELO, I.D. Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). 2001.

RAMOS, L. P. Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo ao diesel convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Londrina, 1999. **Anais**. Londrina: Embrapa-Soja, 1999, p.233-236.

RAMOS, L. P.; DOMINGOS, A.K.; KUCEK, K.T.; WILHELM, H.M. **Biodiesel**: um projeto de sustentabilidade econômica e socioambiental para o Brasil. *Biotechnology: Ciência e Desenvolvimento*, 2003, v.31, p. 28-37.

RAMOS, L.P.; WILHELM, H.M. Current status of biodiesel development in Brazil. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 121-124, p. 807-820, 2005.

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.

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.

SANTOS, M. A. **Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira**: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão. 2007 f. 34-40. Dissertação (Mestrado em Energia) – Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo. São Paulo. Disponível em:

<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2007Testes/Mauro_Dissertação.pdf>.

Acesso em: 22 mar 2012.

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

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.

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.

TABILE, R.A. **Efeito de biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola.** 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

TABILE, R. A.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J.; CAMARA, F. T.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 412-423, 2009.

TECNOMOTOR. Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda., OPACER TM 133 Opacímetro de amostragem. **Manual de Operação**. São Carlos, 2012. Ed. 07/01, 26 p.

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. 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2010. 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*. 2010. Disponível em: < <http://www.springerlink.com/content/e6277802615jn253>>. Acesso em 12 jan. de 2012.

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

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: 7 jan 2006.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” – CÂMPUS DE JABOTICABAL. **Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica. Dados normais**. 2011. Disponível em:..<http://www.exatas.fcav.unesp.br/estacao/est_tab_meteor_01_02.htm>. Acesso em 12 dez. de 2011.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 10 fevereiro 2012.

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. H. **The basics of engine and diesel fuels**. Disponível em: <<http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/BiodieselEd/publication/03.pdf>>. Acesso em 23 maio 2012.

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.

VON LAMPE, W. **Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels**. OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development* (2006).

ZUH, L.; ZHANG, W.; LIU, W.; HUANG, Z. **Experimental study on particulate and NOx 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