

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA
FUNCIONANDO COM BIODIESEL ETÍLICO DESTILADO
DE BABAÇU E DIESEL B S10 EM PERÍODOS DO DIA**

Thyago Augusto Medeiros Lira

Bacharel em Agroecologia

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA
FUNCIONANDO COM BIODIESEL ETÍLICO DESTILADO
DE BABAÇU E DIESEL B S10 EM PERÍODOS DO DIA**

**Thyago Augusto Medeiros Lira
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).

2015

L768o Lira, Thyago Augusto Medeiros
Opacidade da fumaça do trator agrícola funcionando com biodiesel etílico destilado de babaçu e Diesel B S10 em períodos do dia / Thyago Augusto Medeiros Lira. – – Jaboticabal, 2015
xiii, 72 p.: il.; 28 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Afonso Lopes
Banca examinadora: Daniel Junior de Andrade, Leomar Paulo de Lima

Bibliografia

1. Motor ciclo diesel. 2. Propriedades do biodiesel. 3 Energia renovável. 4. Emissões de poluentes. 5. Regulamentações do Biodiesel. 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.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

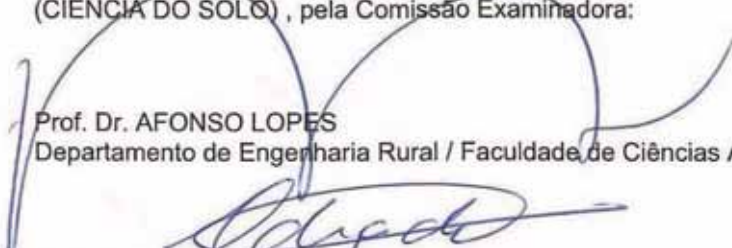
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA FUNCIONANDO COM BODIESEL
ETÍLICO DESTILADO DE BABAÇU E DIESEL B S10 EM PERÍODOS DO DIA

AUTOR: THYAGO AUGUSTO MEDEIROS LIRA

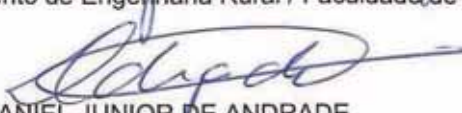
ORIENTADOR: Prof. Dr. AFONSO LOPES

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



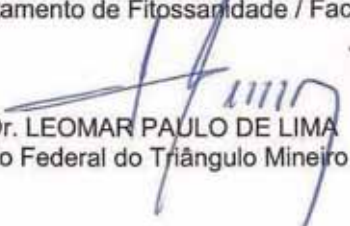
Prof. Dr. AFONSO LOPES

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE

Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. LEOMAR PAULO DE LIMA

Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberlândia/MG

Data da realização: 20 de fevereiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Thyago Augusto Medeiros Lira – Filho de Iraquiton Paiva Lira e Maria do Socorro Medeiros Lira, nasceu em Campina Grande, Paraíba, em 5 de abril de 1989. Coursou o primeiro e o segundo grau em Campina Grande – PB, onde residiu por toda infância e juventude. Em 2008, iniciou o curso de Bacharelado em Agroecologia na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, em Lagoa Seca – PB, concluindo-o em julho de 2012. Durante a vida acadêmica, desempenhou funções de Monitor de disciplinas e, concomitantemente, foi bolsista do PIBIQ/CNPq e membro do grupo de pesquisa em Manejo agroecológico dos recursos naturais dos principais biomas nordestinos. Em março de 2013, 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, concluindo-o em fevereiro de 2015.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo, fará coisas admiráveis.”

José de Alencar.

À amada mãe Maria do Socorro Medeiros Lira
e ao amigo Ângelo Márcio Formiga de Almeida
aos meus amados irmãos

Thayna Medeiros Lira

Manoel Lourenço de Almeida Neto e

Matheus Medeiros de Almeida

DEDICO

Ao meu querido pai
Iraquitan Paiva Lira e
Bizavó Francisca Belarmina,
Que se encontram ao lado de Deus
e aos bondosos avós Francisco Lino de Medeiros e
Maria da Guia de Medeiros.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Nosso Senhor Jesus Cristo, companheiro em todos os momentos. Sempre dando força, equilíbrio e sabedoria para concluir mais esta jornada da vida.

À minha mãe, a quem devo a minha vida e todo o meu caminho profissional, sem os quais eu não chegaria até aqui, obrigado por todo o amor, carinho e incentivo.

Aos grandes amigos Yuri Rodolpho Fernandes Costa, Leomar Paulo de Lima e Suenildo Jósemo Costa Oliveira, agradeço pelos ensinamentos, paciência, companheirismo, confiança, pela grande amizade e todos os conselhos, profissionais e pessoais, sem os quais teria sido impossível concluir esta jornada, obrigado por todos esses anos de convívio.

Ao Prof. Dr. Afonso Lopes, do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, grande responsável pela minha formação intelectual e moral, pela orientação, atenção, dedicação, compreensão, sinceridade e espontaneidade para o trabalho. Amigo a quem tenho muito carinho.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - SP, em especial aos servidores do Departamento de Engenharia Rural, o Secretário Davi Aparecido Trevizolli, o Técnico Agropecuário Aparecido Alves e os Operadores de Máquinas Agrícolas Valdecir Aparício e Sebastião Francisco da Silva Filho, que sempre estiveram dispostos a contribuir para a melhoria dos trabalhos realizados.

Aos Professores do programa de Pós-Graduação, Prof. Dr. José Marques Júnior, Prof. Dr. Eduardo Angeli Furlani e Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por repassarem os conhecimentos que contribuíram para minha formação e preparação para a conclusão, com sucesso, de mais essa jornada.

Aos demais professores e amigos do Departamento de Engenharia Rural, pela amizade, bom convívio, conselhos, preocupações, oportunidades profissionais e, principalmente, pela confiança. Muito devo a todos os professores e amigos, os quais terão minha amizade e gratidão eterna.

À AGCO – Valtra do Brasil e à Coopercitrus, pela parceria que resultou na disponibilidade do trator de teste, em especial aos Senhores Rogério Zanotto e José Geraldo da Silveira Mello, respectivamente.

À FAPESP e CNPq, pelo apoio financeiro para a execução do projeto.

Ao Laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas – BIOEM, pertencente ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia – IPBEN, FCAV/UNESP/Jaboticabal – SP, pelo apoio e suporte técnico, e em especial aos colegas: Doutorando Murilo Coelho Theodoro Neves, Doutoranda Melina Cais Jejcic de Oliveira, Doutoranda Priscila Sawasaki Iamaguti, Dr. Ariston Pinto Santos, Doutoranda Thaísa Calvo Fugineri Moreti, Dr. Rogério Abreu, pela efetiva participação neste projeto, pela amizade, apoio e companheirismo.

Ao LADETEL (Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas), da Universidade de São Paulo-USP, em Ribeirão Preto - SP, pela parceria que resultou na transformação do Óleo de babaçu em biodiesel, para a execução deste trabalho, e em especial ao Prof. Dr. Miguel Joaquim Dabdoub Paz, responsável pelo laboratório.

À equipe da Seção Técnica de Pós-Graduação: Moysés Vicari, Diego Henrique Mafra, Edna Aparecida Martins, Gabriela Morello da Silva Marçal Oliveira, Fernanda dos Santos Raymundo, Izabel Cristina Gerbasi Beraldo, Maria da Consolata Mulotto Nunes, Branca Rochidali José, Gibson Caetano Pádua e, em especial, à Supervisora da Seção Márcia Luciana Natareli dos Santos pela tolerância e o acompanhamento até o final desta jornada.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Ciência do Solo, por acreditar em minha capacidade.

Ao Prof. Vitório Barato Neto, pela revisão gramatical.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xii
SUMMARY	xiii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1 Introdução e Justificativa.....	1
1.2 O Biodiesel.....	1
1.3 Matéria-prima e produção do biodiesel	4
1.4 Propriedades Físico-químicas do biodiesel	7
1.4 Emissão de gases e fuligem	10
1.5 Referências.....	13
CAPÍTULO 2 – POLÍTICAS BRASILEIRAS DO BIODIESEL E PESPECTIVAS NOS MARCOS REGULATÓRIOS NO BRASIL	22
2.1 Introdução.....	23
2.2 Biodiesel e impacto ambiental.....	24
2.3 Principais vantagens e desvantagens da inserção do biodiesel	26
2.4 Políticas brasileiras de biocombustíveis	27
2.4.1 O Proálcool.....	27
2.4.2 Programa nacional do óleo	28
2.4.3 Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB).....	30
2.5 Qualidade do biodiesel	35
2.6 Matriz energética brasileira	36
2.7 Conclusões	40
2.8 Referências.....	40

CAPÍTULO 3 – OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA FUNCIONANDO COM BIODIESEL DE BABAÇU E DIESEL B S10 EM PERÍODOS DO DIA.....	46
3.1 Introdução.....	47
3.2 Material e métodos	52
3.2.1 Local do experimento	52
3.2.2 Óleo diesel.....	52
3.2.3 Biodiesel	53
3.2.4 Trator de teste	53
3.2.5 Depósito externo de biodiesel no trator de teste	54
3.2.6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça.....	56
3.2.7 Delineamento experimental	58
3.2.8 Determinação da temperatura ambiente e umidade relativa do ar	58
3.2.9 Procedimento experimental para a determinação da opacidade	59
3.2.10 Análise estatística.....	59
3.3 Resultados e discussão	59
3.3.1 Tipo de combustível em cada horário de execução do ensaio	61
3.3.2 Horário de execução do ensaio em cada tipo de combustível	62
3.4 Conclusões	65
3.5. Referências.....	65

OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA FUNCIONANDO COM BIODIESEL ETÍLICO DESTILADO DE BABAÇU E DIESEL B S10 EM PERÍODOS DO DIA

RESUMO – A busca por fontes renováveis de energia remota há mais de um século, benefícios e desvantagens advindos de sua utilização são alvo de discussões e estudos que viabilizem seu uso. Este trabalho teve por objetivo avaliar os aspectos diversos sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira a partir de regulamentações e leis brasileiras e a viabilidade do uso do Biodiesel em motores ciclo diesel, comparando com os resultados obtidos nos ensaios de campo, influenciados pelo uso do biodiesel de babaçu em proporções de mistura com o diesel B S10, no funcionamento de motor ciclo diesel de trator agrícola, em períodos do dia. Os resultados indicaram que o biodiesel se apresenta com grande potencial na substituição ao combustível fóssil (Diesel), uma vez que não necessita de adaptação no motor, e a opacidade da fumaça foi reduzida no horário de menor temperatura ambiente e maior umidade relativa do ar, diminuindo em 51,82%, quando comparado B0 com B100, destacando-se o biodiesel de babaçu. A adição de biodiesel de babaçu no diesel B S10 mostrou-se como procedimento eficiente para reduzir a opacidade da fumaça em motor de trator agrícola.

Palavras-chave: energia renovável, emissões de poluentes, meio ambiente, motor ciclo diesel, propriedades do biodiesel, regulamentações do biodiesel

SMOKE DENSITY OF THE FARM TRACTOR WORKING WITH DISTILLED ETHYL BABASSU BIODIESEL AND DIESEL B S10 IN PERIODS OF THE DAY

SUMMARY – The search for renewable power sources remotes for more than one century, benefits and disadvantages arising from their use are subject for discussions and studies that allows its use. This study aimed to evaluate the various aspects of the introduction of biodiesel in the Brazilian energy matrix from brazilian regulations and laws, and the feasibility of using biodiesel in diesel engines, compared to the results obtained in field trials, influenced by the use of babassu biodiesel in blends ratios with diesel B S10, in the running of diesel engine on agricultural tractor, in periods of the day. The results indicated that biodiesel presents a high potential for replacing fossil fuel (Diesel), since it does not require adaptation on engine, and smoke density was reduced in the lower ambient temperature and higher relative humidity, decreasing by 51.82% compared B0 with B100, highlighting the babassu biodiesel. The addition of babassu biodiesel in diesel B S10 proved to be an efficient procedure to reduce the smoke density in agricultural tractor engine.

Keywords: renewable energy, pollutant emissions, environment, diesel engine, biodiesel properties, biodiesel regulations

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1.1 Introdução e Justificativa

O trabalho está estruturado com uma breve introdução sobre o assunto abordado e conceitos fundamentais que envolvem o objeto de estudo desta pesquisa, que servem de referencial para os procedimentos e análises efetuados, compondo-se de 3 capítulos, sumarizados a seguir:

No Capítulo 1, são expostos panoramas mundiais relacionados às reservas totais provadas de petróleo, interligando-as com os importantes aspectos do biodiesel, fontes de matéria-prima, propriedades e características físico-química, tendo vista justificar a importância do desenvolvimento de tecnologias e a utilização em motores ciclo diesel.

No Capítulo 2, é apresentada uma meta de análise, das legislações, normas e regulamentações adentradas ao biodiesel no Brasil.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada no trabalho e as informações necessárias para a análise e a obtenção dos dados da pesquisa, abrangendo-as para os tipos de combustíveis utilizados, bem como os fatores e diretrizes avaliados durante a execução da pesquisa. Nesse capítulo, também são tecidas considerações sobre a avaliação e a discussão dos dados relacionados à opacidade da fumaça obtidos no momento de cada ensaio. A partir dos resultados apresentados, são abordadas as conclusões obtidas.

1.2 O Biodiesel

Em 2013, o panorama mundial de reservas de petróleo atingiu a marca de 1,69 trilhão de barris, mantendo-se no mesmo patamar de 2012, após pequeno aumento de 0,04%. Por outro lado, o consumo mundial de petróleo totalizou 91,3 milhões de barris/dia, após aumento de 1,6% (aproximadamente 1,4 milhão de barris/dia) em comparação a 2012, acima da média de crescimento de 1,1% dos últimos 10 anos (ANP, 2014a).

Seguindo o padrão de consumo, as reservas provadas de petróleo no final de 2013, são suficientes para atender a 52,9 anos de produção global, em que não se levam em consideração as tendências de crescimento no consumo nem novas reservas que possam ser descobertas. Entretanto, o crescimento das fontes de energia com baixas emissões de carbono, os recursos energéticos não renováveis e não sustentáveis, os chamados combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural, petróleo e derivados) continuam a dominar a matriz energética global, apoiado por um total de quase 87% (BP, 2013).

Nas últimas décadas, a dependência e o consumo de petróleo têm aumentado gradativamente devido ao crescimento da população e da industrialização, o que tem limitado as reservas de combustíveis fósseis, o aumento do preço do petróleo e, principalmente, a elevada poluição ambiental resultantes da utilização do petróleo como combustível. Por esses motivos e pelo aumento do rendimento agrícola, desenvolvimento rural e diversificação, a busca por combustíveis alternativos renováveis, a fim de substituir gradualmente os combustíveis fósseis vem ganhando força (BALAT; BALAT, 2010; GOG et al., 2012; RAKOPOULOS, 2012; LABECKAS; SLAVINSKAS; MAZEIKA, 2014; WEI et al., 2015).

O Brasil destaca-se entre as economias emergentes pela elevada participação das fontes renováveis na matriz energética, com pequena redução em relação a 2013, devido à menor oferta de energia hidráulica (Figura 1). Isso deve-se à possibilidade do País em incorporar novas áreas à agricultura de energia sem competir com a de alimentos; a possibilidade de múltiplos cultivos anuais; e sua localização geográfica, com intensa radiação solar, que é a fonte primária da produção dos biocombustíveis (MAIA, 2012).

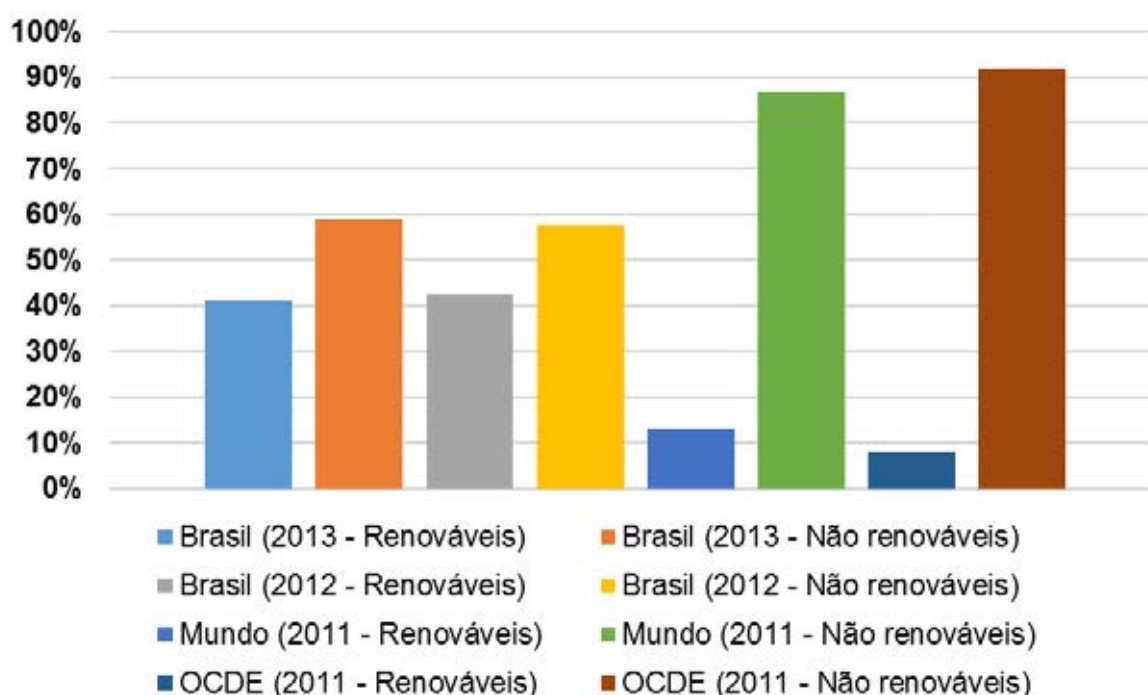


Figura 1. Participação de fontes de energia na matriz energética (EPE, 2014).

Os motores de ciclo diesel são amplamente utilizados na agricultura, transporte e indústria devido à elevada eficiência de combustão, confiabilidade, adaptabilidade e custo-efetividade; porém, o aumento crescente da frota veicular tem resultado em aumento significativo das emissões de dióxido de carbono (CO_2). Visto a reduzir a emissão deste e atender aos regulamentos para material particulado (MP) e emissões de NO_x dos motores diesel, é contemplado o uso de fonte de combustíveis renováveis por emitirem CO_2 em quantidades menores, em contraste ao petrodiesel (DAWODY; BHATTI, 2014; LABECKAS; SLAVINSKAS; MAZEIKA, 2014; RASHEDUL et al., 2014).

Dentre os combustíveis renováveis, destaca-se o biodiesel, que tem uma série de vantagens técnicas em relação aos combustíveis fósseis, tais como menor emissão de exaustão geral e toxicidade, menor opacidade, biodegradabilidade, derivação a partir de matéria-prima renovável, teor de enxofre insignificante, ponto de fulgor superior e maior eficiência de combustão, podendo este combustível contribuir para o ciclo do carbono (MOSER, 2009; KOIKE et al., 2010; SILITONGA et al., 2011; MOFIJUR et al., 2012; ZHOU et al., 2012; KANG; GUO; YOU, 2015).

O biodiesel é um combustível oxigenado que consiste em ácido graxo de cadeia longa que contém 10-15% de oxigênio, abrangendo uma gama de combustíveis alternativos que podem ser obtidos a partir de sementes vegetais e óleos vegetais, bem como gorduras de origem animal, podendo ser usado como combustível na proporção de 100% ou em mistura com diesel de petróleo, sem qualquer modificação nos motores de ciclo diesel (MOSER, 2009; BUNCE et al., 2010; LIM; TEONG, 2010; SHAHABUDDIN et al., 2012; CAN, 2014; SORATE; BHALE, 2015).

1.3 Matéria-prima e produção do biodiesel

O Brasil é o terceiro país com maior produção de Biodiesel no mundo, somente atrás dos Estados Unidos e Alemanha. Em 2013, a capacidade nominal para produção de biodiesel (B100) no Brasil era de aproximadamente 8 milhões de m³ (22 mil m³/dia). Entretanto, a produção nacional foi de 2,9 milhões de m³, o que correspondeu a 36,4% da capacidade total, e em comparação a 2012, a produção de biodiesel (B100) foi 7,4% maior (ANP, 2014a).

Dentre as fontes autorizadas a produzir biodiesel, a soja continua sendo a oleaginosa mais utilizada em escala industrial, ainda com os problemas gerados nas usinas de biodiesel, devido à baixa estabilidade à oxidação e ao teor de fósforo, que pode potencializar a formação de sabões e ácidos graxos, responsáveis pelo entupimento dos filtros e depósitos em injetores de motores (ANP, 2014b).

Atualmente no ano de 2015, existem 59 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 22 m³/dia. Há ainda uma nova planta de biodiesel autorizada para construção e três plantas autorizadas para o aumento da capacidade de produção. Com a finalização das obras e posterior autorização para operação, a capacidade total de produção de biodiesel autorizada poderá ser aumentada em 1.025 m³/dia, que representa um acréscimo de 5% na capacidade atual (ANP, 2015).

Existem várias possíveis fontes de matéria-prima que podem contribuir com pequenas quantidades de óleo para a produção do biodiesel. Globalmente, há mais de 350 culturas identificadas como matéria-prima com potencial para a indústria de biodiesel (KARMAKAR; KARMAKAR; MUKHERJEE, 2010; ATABANI et al., 2012).

Dentre estas fontes, apresentam-se o amendoim, milho, polpa do dendê, amêndoa do coco-de-dendê, amêndoa do coco-da-praia, caroço de algodão, amêndoa do coco-de-babaçu, semente de girassol, baga de mamona, semente de maracujá, semente de pinhão-manso, polpa de abacate, caroço de oiticica, semente de linhaça, semente de tomate, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas (TAPANES et al., 2013).

A Figura 2 ilustra a capacidade nominal e a produção de biodiesel (B100), segundo grandes regiões do Brasil (mil m³/ano).

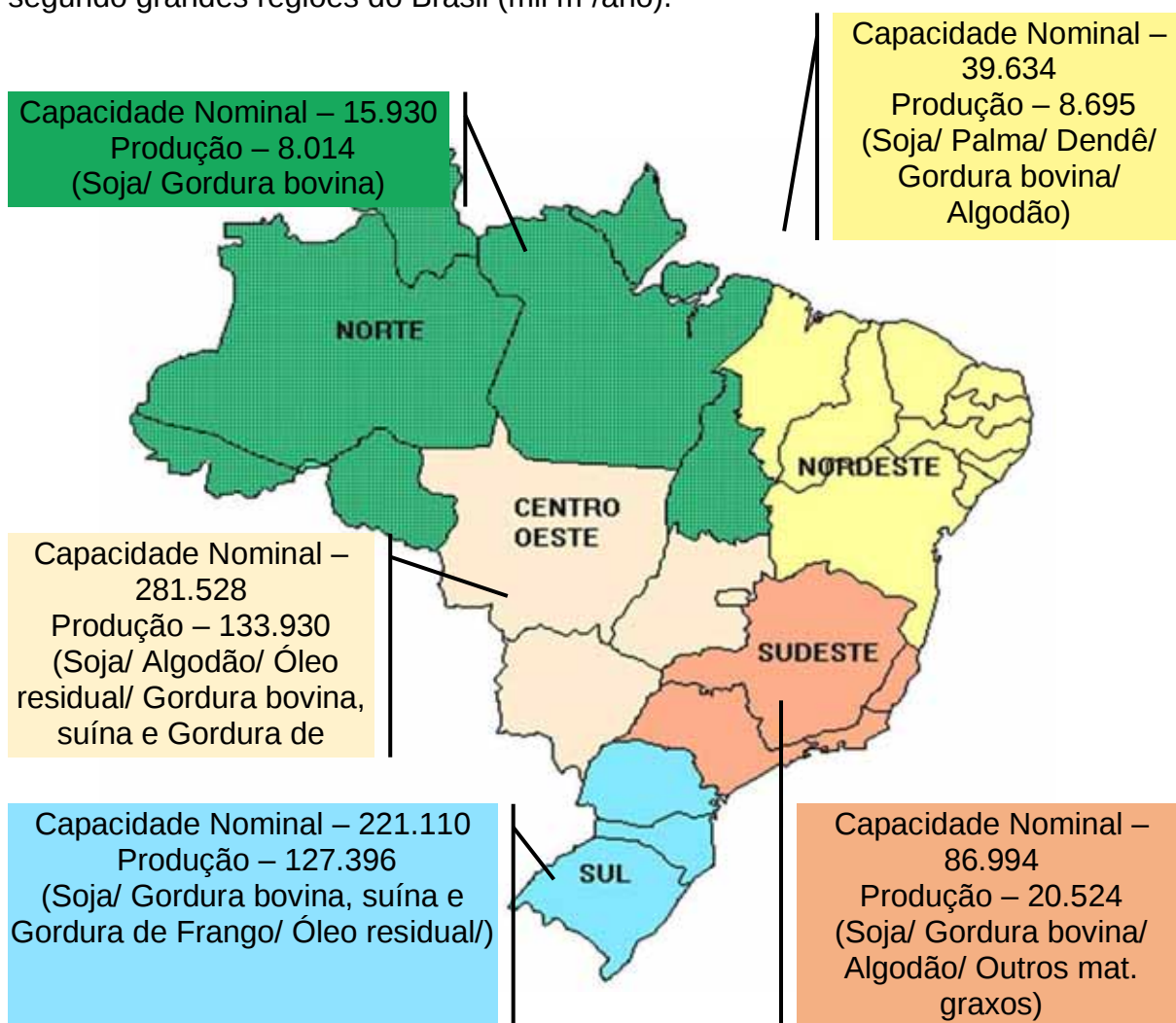


Figura 2. Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100 - mil m³/ano) por região brasileira (adaptado de ANP, 2015).

Para a produção e a obtenção do biodiesel, a transesterificação é o processo mais utilizado, a partir de óleos vegetais e gordura animal. Na reação de transesterificação, a gordura (triglicerídeo) reage com um álcool simples (Etanol ou

metanol) em cadeia curta, estimulado por catalisador, dando origem ao produto na forma de ésteres (biodiesel) e glicerol, utilizada na indústria química (SHAH; SHARMA; MOSER, 2010; BORGES et al., 2014; GOG et al., 2012).

O processo de produção é o mesmo, independentemente 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 (R1, R2 e R3) (CÂMARA, 2006; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007). A Figura 3 apresenta a reação de alcoólise, ou transesterificação, de biodiesel.

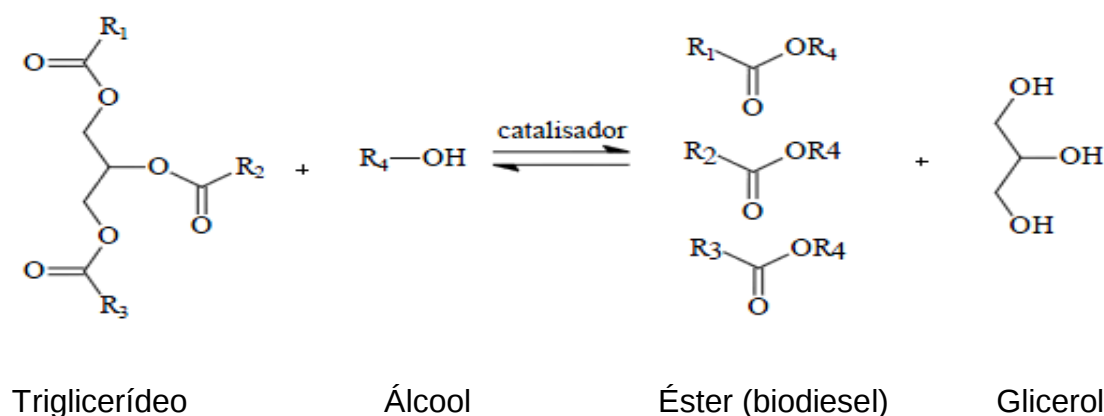


Figura 3. Reação de alcoólise (transesterificação) de um triglicerídeo com alcoóis, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos (LEE et al., 2014).

A reação de transesterificação leva à redução da viscosidade, da densidade e do ponto de fulgor do combustível. A transesterificação pode ser catalisada tanto por ácidos como por bases; no entanto, a reação catalisada por bases (utilizando hidróxido ou alcóxido de sódio ou potássio) apresenta a vantagem de poder ser realizada à temperatura ambiente e, ainda assim, ser mais rápida que a transesterificação catalisada por ácidos, a qual necessita ser realizada em temperaturas elevadas (170 °C). Vale ressaltar que esta reação é uma forma barata para a obtenção do biodiesel (ALBURQUEQUE et al., 2009; LEUNG; WU; LEUNG, 2010; SHU, 2010).

1.4 Propriedades Físico-químicas do biodiesel

Para garantir a padronização e a identidade do biodiesel é necessário estabelecer padrões de qualidade, que permitam o monitoramento e evitem prejudicar a qualidade das emissões da queima, de desempenho e a integridade do motor, assim como a segurança no transporte e de manuseio (LÔBO; FERREIRA, 2009). O biodiesel, para ser utilizado e comercializado no Brasil, precisa atender a normas e especificações consideradas na resolução ANP n. 45, de 25 de agosto de 2014, e quando enquadrado nesses limites (número de cetano, ponto de fluidez, poder calorífico, viscosidade, densidade e lubricidade), o biodiesel poderá ser usado na maioria dos motores modernos sem modificação e manterá o mecanismo, a durabilidade e a confiabilidade do motor (ANP, 2014c).

Uma das propriedades mais influentes do combustível (diesel/biodiesel) é o número de cetano adimensional (CN), que representa a capacidade de ignição do combustível, particularmente crítico em condições de arranque a frio. Baixo número de cetano atrasa consideravelmente o ponto de ignição, ou seja, muito tempo entre a injeção de combustível e o início da combustão (GIAKOUMIS et al., 2012).

A combustão de boa qualidade ocorre com ignição rápida, seguida de combustão suave e mais eficiente do combustível. O número adequado de cetano no combustível favorece o bom funcionamento do motor (ALVES, 2014). Assim, quanto maior for o número de cetano do combustível, melhor será sua combustão em motor diesel (ZUNIGA et al., 2011). O índice de cetano do biodiesel é geralmente maior do que o do diesel convencional. Os índices de cetano variam de 50,4 a 61,2, sendo 8 a 10% maior do que o do petrodiesel (GIAKOUMIS, 2013). O número de cetano médio do biodiesel produzido no Brasil é 60, enquanto para o diesel mineral ocorre variação entre 48 e 52.

O ponto de fluidez pode ser definido como a mais baixa temperatura em que o líquido escoar livremente, sendo esta propriedade usada para caracterizar o escoamento do combustível. Como o ponto de fluidez do biodiesel é mais elevado devido à maior quantidade de ácidos graxos saturados, em baixas temperaturas ocorre a cristalização dos componentes saturados, chegando a solidificar este material e interferir na operacionalidade no escoamento do combustível, resultando

na insuficiência de combustível e no entupimento do sistema de alimentação de combustível (mangueiras, filtros, bomba injetora e bicos).

É estabelecido que a presença de maior quantidade de componentes saturados aumenta o ponto de turvação e o ponto de fluidez do biodiesel. As soluções potenciais para este problema incluem o uso de aditivos específicos misturados ao biodiesel administrado juntamente com outros combustíveis, como o etanol ou o querosene (BOSHUI et al., 2010).

O poder calorífico (MJ/kg) determina a quantidade de energia que está disponível no combustível e que é liberada na câmara de combustão, mediante reação química. Quanto maior o poder calorífico, maior é a energia do combustível. O poder calorífico divide-se em poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS). A água formada no PCI encontra-se em forma de vapor, enquanto no PCS, a água encontra-se na fase líquida. A diferença em valores entre os dois resume-se na quantidade de calor necessária para evaporar a água contida nos gases de exaustão. Ressalta-se que o poder calorífico do biodiesel é, em média, 90% do poder calorífico do diesel, por terem de estar presente em sua constituição compostos oxigenados em bio-óleo (ERTAŞ; ALMA, 2010).

A viscosidade é expressa em (mPa. s⁻¹) e caracterizada como sendo uma medida do atrito interno ou resistência de uma substância a fluir. Quando a temperatura da substância aumenta, diminui a viscosidade e, portanto, é capaz de fluir mais facilmente. A viscosidade afeta o funcionamento dos equipamentos de injeção de combustível, especialmente em baixas temperaturas. Viscosidade elevada dificulta a atomização do jato de combustível e há uma operação menos precisa dos bicos injetores de combustível (DEMIRBAS, 2008). Dessa forma, os combustíveis devem possuir valores apropriados para funcionar nos motores disponíveis.

Os óleos vegetais têm alta viscosidade (uma ordem de grandeza maior do que os valores de combustível diesel aceitáveis), o que significa que eles não podem ser utilizados *in natura* como combustíveis em motores de ignição por compressão, pelo menos, não sem aquecimento prévio (a viscosidade diminui exponencialmente com o aumento da temperatura), e apenas para pequenas proporções de mistura. O

processo de transesterificação, por outro lado, reduz consideravelmente a viscosidade para níveis comparáveis aos do diesel de petróleo (GIAKOUMIS, 2013).

A densidade é uma propriedade fluido-dinâmica de um combustível, sendo esta importante no que diz respeito ao funcionamento de motores de injeção por compressão (motor diesel), sendo expressa por (kg/m^3). Tal propriedade exerce grande influência na circulação e na injeção do combustível, podendo afetar diretamente as características de desempenho do motor. Diversas destas características de performance, como número de cetano e calor de combustão, estão intimamente relacionadas à densidade (ALPTEKIN; CANAKCI, 2008).

A densidade do biodiesel é ligeiramente superior à do óleo diesel convencional, o que significa que as bombas de combustível volumetricamente operacionais irão injetar maior massa de biodiesel que o diesel convencional. No entanto, valores de densidades acima das faixas de regulação podem afetar a relação de mistura ar/combustível, o que aumenta a emissão de poluentes, como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado. Valores baixos para a densidade podem favorecer a formação de mistura pobre de ar/combustível, levando à perda de potência do motor e ao aumento de consumo de combustível (FOLQUENIN, 2008; GIAKOUMIS, 2013).

A medida do poder de lubrificação de uma substância é dada por lubricidade, sendo esta função de várias de suas propriedades físicas, destacando-se, nos fluidos, a viscosidade e a tensão superficial. Diferentemente dos motores movidos a gasolina, os motores de ignição por compressão exigem que o combustível tenha propriedades lubrificantes, isto é, em escoamento, pode lubrificar as peças em movimento relativo (POSSIDONIO, 2008).

A qualidade dos combustíveis é considerada afetada pelo nível de lubricidade. Os componentes do óleo combustível que aumentam a lubricidade são os hidrocarbonetos e os compostos de enxofre. Estes aditivos podem afetar adversamente a estrutura dos materiais do combustível e do sistema de lubrificação (SULEK; KULCZYCKI; MALYSA, 2010).

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; FERREIRA, 2009).

Pesquisas relacionadas à melhoria no uso de tipos de biocombustíveis e emissões de escape em motores de combustão interna, bem como os tipos de matéria-prima para produção do biodiesel, continuam a ser um desafio. É importante ressaltar que o biodiesel, por ser originado de diferentes fontes de matéria-prima, possui diferentes propriedades físicas e químicas, que podem afetar a injeção de combustível e combustão em motores a diesel (ZHU et al., 2010; CAN, 2014).

1.4 Emissão de gases e fuligem

As emissões de gases de efeito estufa provenientes de combustíveis fósseis constituem um problema ao longo das décadas. No setor de transporte terrestre, os motores diesel são os maiores responsáveis pelos crescentes níveis de emissões. No Brasil, o transporte de cargas é realizado, majoritariamente, por veículos pesados que utilizam motores de ignição por compressão (ANP, 2014).

Nos últimos 250 anos, as concentrações de alguns gases, como o dióxido de carbono, aumentaram a níveis críticos. Desta maneira, 75% dos gases emitidos são oriundos da queima de combustíveis fósseis. As emissões dos motores a diesel estão diretamente relacionadas com a qualidade da queima do combustível, com diversas propriedades do óleo diesel, influenciando na combustão (CNT, 2012).

De forma genérica, a reação de combustão dentro de um motor faz-se da seguinte forma: $\text{Combustível} + \text{Ar} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{CO} + \text{NO}_x + \text{HC} + \text{MP} + \text{SO}_x + \text{Fuligem} + \text{Aldeídos} + \text{Outros} + \text{Energia}$ (CAPANA, 2008).

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 JÚNIOR, 2002).

Para os veículos a diesel, óxidos de azoto e partículas são o risco mais significativo para a saúde, bem como a visível fumaça que compreende geralmente partículas maiores, sendo considerada como questão de indicação de um veículo poluente. O material particulado (PM) é emitido por ambos os motores a gasolina e diesel, embora dominantes nos motores diesel (BARI, 2014).

Quando comparado aos motores de ignição por fagulha, os motores de ignição por compressão são conhecidos pela alta eficiência e baixos índices de consumo de combustível e que, conseqüentemente, possuem baixos índices de emissões de CO₂. Além disso, as emissões de hidrocarbonetos não queimados (HC) e monóxido de carbono (CO) são, em geral, muito menores que os níveis de emissões dos motores do ciclo Otto. Entretanto, os motores do ciclo diesel são capazes de produzir altos índices de emissões de particulados (PM) e de óxidos nitrosos (NO_x) (MELLO, 2012).

A formação do material particulado gerado na combustão do diesel é bastante complexa e envolve sequência de etapas reacionais (pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação). Além disso, depende de vários fatores, como tipo de motor, condições de operação e composição do combustível (MENEZES et al., 2008).

A substituição de diesel por misturas com biodiesel e as plantações de oleaginosas, como dendê e babaçu, permite ao País obter créditos de carbono, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (BELMIRO; FURLAN; NODARI, 2007). A Tabela 1 representa o ciclo do carbono (C) a partir da queima de derivados de petróleo e de novas matrizes combustíveis derivadas da biomassa.

Tabela 1. Unidades de energia produzidas por diferentes combustíveis.

Combustível	Rendimento energético*	Ganho em Energia Líquida
Gasolina	0,805	-19,5%
Diesel	0,843	-15,7%
Etanol	1,34	34,0%
Biodiesel	3,20	220,0%

(*) unidades de energia produzida para cada 1 unidade de energia consumida (FONTANA, 2011).

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 (SAHOO et al., 2009; CHAUHAN et al., 2012). 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 que, 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, e este aparelho coleta somente parte do fluxo de gás, através da sonda e do tubo de captação acoplados no cano de escape do veículo (LIMA et al., 2012).

Dados publicados na literatura científica apontam benefícios advindos do uso de biodiesel em motores de combustão interna por compressão, seja em misturas de proporções ao diesel, seja em seu uso na qualidade B100 (100% de biodiesel). Bari (2014), em ensaio com motor de ciclo diesel e Chassis-dinamômetro, utilizando-se de diesel (B0) e 20% de biodiesel de canola em mistura a 80% de diesel (B20), aferiu que, em termos de emissões de CO e HC, foi reduzido quando utilizado B20, mas para NOX aumentou em média de 4,4%, principalmente devido à presença inerente de oxigênio no biodiesel. Foi verificado também que, com B20, a emissão de material particulado foi de 19% e 47% inferior ao B0 em velocidades mais baixas e mais altas, respectivamente. A opacidade aferida também foi menor do que o diesel em todas as velocidades. Pesquisa realizada pela Hulwan e Joshi (2011)

também relataram diminuição da opacidade quando utilizado biodiesel como combustível em motor diesel.

Oliveira (2012), utilizando-se de biodiesel de dendê em trator agrícola, verificou redução de 48,73% na opacidade da fumaça quando comparado com o diesel. Já Louzeiro (2012), avaliando a emissão dos gases de combustão em motor de ignição por compressão, utilizando microemulsões formadas por substâncias oxigenadas (óleo vegetal de babaçu), aguardente e álcool isobutílico, percebeu diminuição da emissão de CO e NOx, comparando as misturas ao diesel, em virtude de os compostos oxigenados serem mais suscetíveis a sofrer oxidação que os hidrocarbonetos.

Koike et al. (2010) afirmaram que, quando injetado álcool no diesel durante a combustão em motor diesel, a opacidade da fumaça reduziu-se em 17,4%, em virtude da maior eficiência da combustão. 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 (Opacímetro).

Pressupõe-se que a variação da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente, bem como as proporções de misturas de biodiesel no diesel, influencia o comportamento da opacidade da fumaça no motor do trator agrícola.

Diante deste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a opacidade da fumaça em um trator agrícola funcionando com diesel B S10 e biodiesel etílico de babaçu em horários do dia.

1.5 Referências

ALBUQUERQUE, M. C. G.; MACHADO, Y. L.; AZEVEDO, D. C. S.; CAVALCANTE JR., C. L.; FIRMIANO, L. R.; PARENTE JR., E. J. S. Properties of biodiesel oils formulated using different biomass sources and their blends. **Renewable Energy**, New York, v. 34, n. 3, p. 857-859, 2009.

ALPTEKIN, E.; CANAKCI, M. Determination of the density and the viscosities of biodiesel– diesel fuel blends. **Renewable Energy**, New York, v. 33, n. 12, p. 2.623–2.630, 2008.

ALVES, L. **Índice de cetano**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/indice-cetano.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP Nº 45, DE 25 agosto de 2014**. 2014c. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?fn=document-frameset.htm\\$f=templates\\$3.0](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?fn=document-frameset.htm$f=templates$3.0)>. Acesso em: 3 jan. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2014**. 2014a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel, Setembro de 2014**. 2014b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=9205>>. Acesso em: 1º out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel, Fevereiro de 2015**. 2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=9205>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

ATABANI, A. E.; SILITONGA, A. S.; BADRUDDIN, I. A.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v.16, n. 4, p. 2.070–2.093, 2012.

BALAT, M.; BALAT, H. Progress in biodiesel processing. **Applied Energy**, Oxford, v. 87, n. 6, p. 1.815–1.835, 2010.

BARI, S. Performance, combustion and emission tests of a metro-bus running on biodiesel-ULSD blended (B20) fuel. **Applied Energy**, Oxford, v. 124, p. 35–43, 2014.

BELMIRO, T.; FURLAN, J. J.; NODARI, A. Riqueza para a Amazônia. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 7, p. 27-28, 2007.

BORGES, K. A.; SQUISSATO, A. L.; SANTOS, D. Q.; BORGES NETO, W.; BATISTA, A. C. F.; SILVA, T. A.; VIEIRA, A. T.; OLIVEIRA, M. F.; HERNÁNDEZ-TERRONES, M. G. Homogeneous catalysis of soybean oil transesterification via methylic and ethylic routes: Multivariate comparison. **Energy**, Rondebosch, v. 67, p. 569-574, 2014.

BOSHUI, C.; YUQIU, S.; JIANHUA, F.; JIU, W.; JIANG, W. Effect of cold flow improvers on flow properties of soybean biodiesel. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 34, n. 9, p. 600–607, 2010.

BP. **BP Statistical Review of World Energy 2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013.html>>. Acesso em: 24 nov. 2014.

BRASIL. **Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2014 – Ano base 2013: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 51 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2014.

BUNCE, M.; SNYDER, D.; ADI, G.; HALL, C.; KOEHLER, J.; DAVILA, B.; KUMAR, S.; GARIMELLA, P.; STANTON, D.; SHAVER, G. Stock and Optimized Performance and Emissions with 5 and 20% Soy Biodiesel Blends in a Modern Common Rail Turbo-Diesel Engine. **Energy & Fuels**, Washington, v. 24, p. 928–939, 2010.

CÂMARA, G. M. S. **Biodiesel Brasil - estado atual da arte**. 2006. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/biodiesel_brasil.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2014.

CAN, O. Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture. **Energy Conversion and Management**, London, v. 87, p. 676–686, 2014.

CAPANA, G. H. **Estudo do impacto do enxofre presente no diesel na emissão de poluentes e em tecnologia de pós-tratamento de gases de escape**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CHAUHAN, B. S.; KUMAR, N.; CHO, H. M. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends. **Energy**, Rondebosch, v. 37, n. 1, p. 616–622, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro**. 2012. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/rio_mais20/resources/cartilhas/Oleo_Diesel_Final.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2014.

DAWODY, M. F. A.; BHATTI, S. K. Experimental and Computational Investigations for Combustion, Performance and Emission Parameters of a Diesel Engine Fueled with Soybean Biodiesel-Diesel Blends. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 52, p. 421–430, 2014. Disponível em: <[doi:10.1016/j.egypro.2014.07.094](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.094)>.

DEMIRBAS, A. Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. **Fuel**, Oxford, v. 87, n. 8-9, p. 1.743-1.748, 2008.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

ERTAŞ, M.; ALMA, M. H. Pyrolysis of laurel (*Laurus nobilis* L.) extraction residues in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and bio-char. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 22–29, 2010.

FOLQUENIN, E. K. F. **Validação das análises físico-químicas exigidas pela ANP para misturas diesel-biodiesel**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Química de Materiais) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

FONTANA, J. D. **Biodiesel**: para leitores de 9 a 90 anos. Curitiba: UFPR, 2011. p. 117-144.

GIAKOUMIS, E. G.; RAKOPOULOS, C. D.; DIMARATOS, A. M.; RAKOPOULOS, D. C. Combustion noise radiation during the acceleration of a turbocharged diesel engine operating with biodiesel or *n*-butanol diesel fuel blends. **Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. Part D: Journal of Automobile Engineering**, London, v. 226, p. 971–986, 2012.

GIAKOUMIS, E. G. A statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation. **Renewable Energy**, New York, v. 50, p. 858-878, 2013.

GOG, A.; ROMAN, M.; TOS, M.; PAIZS, C.; IRIMIE, F. D. Biodiesel production using enzymatic transesterification e Current state and perspectives. **Renewable Energy**, New York, v. 39, n. 1, p. 10-16, 2012.

HULWAN, D. B.; JOSHI, S. V. Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content. **Applied Energy**, Oxford, v. 88, n. 12, p. 5.042–5.055, 2011.

KARMAKAR, A.; KARMAKAR, S.; MUKHERJEE, S. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 101, n. 19, p. 7.201–7.210, 2010.

KANG, X.; GUO, X.; YOU, H. Biodiesel Development in the Global Scene. **Energy Sources**, New York, v. 10, n. 2, p. 155–161, 2015.

KOIKE, G. H. A.; LOPES, A.; PASSARINI, L. C.; CAMARA, F. T.; JÚNIOR, H. L.; DAL BEM, 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**, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 11-18, 2010.

LABECKAS, G.; SLAVINSKAS, S.; MAZEIKA, M. The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine. **Energy Conversion and Management**, London, v. 79, p. 698–720, 2014.

LEE, K. T.; LIM, S.; PANG, Y. L.; ONG, H. C.; CHONG, W. T. Integration of reactive extraction with supercritical fluids for process intensification of biodiesel production: Prospects and recent advances. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 45, p. 54-78, 2014.

LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. **Applied Energy**, Oxford, v. 87, n. 4, p. 1.083–1.095, 2010.

LIM, S.; TEONG, L. K. Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 938–954, 2010.

LIMA, L. P.; LOPES, A.; OLIVEIRA, M. C. J.; NEVES, M. C. T.; KOIKE, G. H. A. Comparativo entre biodiesel de dendê e tucumã no desempenho operacional de trator agrícola. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 3, 2012, p. 234-243.

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 32, nº 6, p. 1.596-1.608, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044>>.

LOUZEIRO, H.C. **Microemulsões combustíveis a partir do óleo de babaçu para substituir o diesel em motores estacionários**. 2012. 82 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2012.

MAIA, R. R. S. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB): implicações de uma Análise Custo Benefício**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Economia - Gestão Econômica do Meio Ambiente) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MELLO, D. F. R. **Estudo da influência da injeção de mistura de etanol e água em motores de ciclo**. 2012. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MENEZES, E. W.; CATALUÑA, R. Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2.027-2.030, 2008.

MOFIJUR, M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; SHAHABUDDIN, M. Experimental study of additive added palm biodiesel in a compression ignition engine. **Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research**, London, v. 30, n. 2, p. 737-748, 2012.

MOSER, B. R. Biodiesel production, properties, and feedstocks. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, Heidelberg, v. 45, p. 229–266, 2009.

OLIVEIRA, M. C. J. **Biodiesel de mamona em trator agrícola: Desempenho em função do período de armazenamento e da proporção biodiesel\diesel**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

PIANOVSKI JÚNIOR, 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. 2002. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2002.

POSSIDONIO, E.R. **Otimização das condições de síntese de biodiesel de óleo de soja, visando a atender normas de qualidade da ANP – Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, 2008. 33 f. Relatório de Estágio Curricular Supervisionado para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

RAKOPOULOS, D. C. Heat release analysis of combustion in heavy-duty turbocharged diesel engine operating on blends of diesel fuel with cottonseed or sunflower oils and their bio-diesel. **Fuel**, Oxford, v. 96, p. 524–534, 2012.

RASHEDUL, H. K.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ASHRAFUL, A. M.; ASHRAFUR RAHMAN, S. M.; SHAHIR, S. A. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**, London v. 88, p. 348–364, 2014. Disponível em: <doi:10.1016/j.enconman.2014.08.034>.

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**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1.374-1.380, 2007.

SAHOO, P. K. das, L. M.; BABU, M. K. G.; ARORA, P.; SINGH, V. P.; KUMAR, N. R.; VARYANI, T.S. Comparative evaluation of performance and emission characteristics of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a tractor engine. **Fuel**, Oxford, v. 88, n. 9, p. 1.698–1.707, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.015>.

SHAHABUDDIN, M.; KALAM, M. A.; MASJUKI, H. H.; BHUIYA, M. M. K.; MOFIJUR, M. An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination. **Energy**, Rondebosch, v. 44, n. 1, p. 616–622, 2012.

SHAH, S. N.; SHARMA, B. K.; MOSER, B. R. Preparation of Biofuel Using Acetylation of Jojoba Fatty Alcohols and Assessment as a Blend Component in Ultralow Sulfur Diesel Fuel. **Energy Fuels**, Washington, v. 24, p. 3.189–3.194, 2010.

SHU, Q.; GAO, J.; NAWAZ, Z.; LIAO, Y.; WANG, D.; WANG, J. Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbon-based solid acid catalyst. **Applied Energy**, Oxford, v. 87, n. 8, p. 2589–2596, 2010.

SILITONGA, A. S.; ATABANI, A. E.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; BADRUDDIN, I.A.; MEKHILEF, S. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 15, n. 8, p. 3.733-3.756, 2011.

SORATE, K. A.; BHALE, P. V. Biodiesel properties and automotive system compatibility issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 41, p. 777–798, 2015.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 2.068-2.071, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000800046>>.

SULEK, M. W.; KULCZYCKI, A.; MALYSA, A. Assessment of lubricity of compositions of fuel oil with biocomponents derived from rape-seed. **Wear**, Amsterdam, v. 268, n. 1-2, p. 104-108, 2010.

TAPANES, N. D. L. O.; ARANDA, D. A. G.; PEREZ, R. S.; CRUZ, Y. R. Biodiesel no Brasil: matérias-primas e tecnologias de produção. **Acta Scientiae et Technicae**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 119-125, 2013.

WEI, L.; YAO, C.; WANG, Q.; PAN, W.; HAN, G. Combustion and emission characteristics of a turbocharged diesel engine using high premixed ratio of methanol and diesel fuel. **Fuel**, Oxford, v. 140, p. 156–163, 2015.

ZHOU, W.; LI, Y.; ZHANG, Y.; ZHAO, Z. Energy efficiency evaluation of lipid production by oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides*. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 108, n. 1, p. 119-126, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-011-1659-6>>.

ZHU, L.; ZHANG, W.; LIU, W.; HUANG, Z. Experimental study on particulate and NO_x emission of a diesel engine fueled with ultralow sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, n. 5, p. 1.050-1.058, 2010.

ZUNIGA, A. D. G.; PAULA, M. M.; COIMBRA, J. S. R.; MARTINS, E. C. A.; SILVA, D. X.; TELIS-ROMERO, J. Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 55-72, 2011.

CAPÍTULO 2 – Políticas brasileiras do biodiesel e perspectivas nos marcos regulatórios no Brasil

RESUMO – Devido à grande preocupação com o esgotamento e consequente alta dos preços das energias fósseis ao longo dos últimos anos, os biocombustíveis ganharam espaço notável, a fim de suprir a demanda de energia do mundo. Novas estratégias na utilização de energias renováveis ganharam espaço e devem ser identificadas para aumentar o potencial de contribuição. Considerando o contexto, este trabalho tem como objetivo abordar a conjuntura do cenário atual sobre a utilização do biodiesel, bem como as políticas brasileiras de biocombustíveis, em especial o biodiesel e os marcos regulatórios no País. Destaca-se que a consulta bibliográfica constituiu a base material e a metodológica do Capítulo. O resultado da busca evidencia a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP) em 1997, muito embora a primeira patente brasileira de Biodiesel tenha sido depositada em 1980. Ressalta-se ainda que, após a criação da ANP, estabeleceu-se todo o arcabouço legal em relação aos combustíveis, inclusive o biodiesel.

Palavras-chave: energia renovável, biodiesel, matriz energética brasileira

2.1 Introdução

Ao longo das décadas, o crescente uso de combustíveis fósseis como energia tem levantado preocupações, devido a escassez, mudanças climáticas e poluições ambientais geradas pelo uso. Neste contexto, a intensificação de estudos viabilizam o uso de novas fontes de energia amplamente difundida. Dentre estas fontes, a biomassa renovável, como o biodiesel, é considerada como uma das alternativas mais verdes para cumprir parcialmente a crescente demanda de energia e conservação do meio ambiente (SILVA et al., 2011; LEE et al., 2014; CREMONEZ et al., 2015).

A necessidade de usar combustível renovável remonta há mais de um século, junto com a criação dos motores diesel no final do século XIX, que se trata da invenção do engenheiro alemão Rudolf Diesel em 1894, que o apresentou na feira de Paris (1900) queimando óleo de amendoim nativo como combustível, mas funcional até com carvão pulverizado. Porém, por motivos técnicos inerentes àquela época, bem como por fatores econômicos e até geopolíticos, a ideia foi abandonada; por isso, adotou-se então um óleo que, na época, era considerado subproduto do petróleo. Em virtude do uso no motor idealizado por Diesel, tal óleo, mais tarde, foi batizado como óleo diesel, assim como o motor, que também recebeu o nome de motor de ciclo diesel, em homenagem ao inventor (MAJEWSKI; JÄÄSKELÄINEN, 2009; FONTANA, 2011).

No Brasil, a trajetória do biodiesel começou a ser delineada com as iniciativas de estudos realizados pelo Instituto Nacional de Tecnologia, na década de 20 do século XX e ganhou destaque em meados de 1970 com a criação do Plano de Produção de Óleos Vegetais para fins energéticos (Pró-Óleo), que nasceu na esteira da primeira crise do petróleo (SEBRAE, 2015). Ressalta-se que o biodiesel no Brasil passa por um momento importante de definições e superação de desafios. Se comparado à produção de etanol e biodiesel no País, percebe-se que o etanol possui tecnologia consolidada em relação à do biodiesel, que é incipiente (SALLET; ALVIM, 2011).

No Brasil, a literatura retrata o assunto biodiesel, oriundo da iniciativa de instituições de ensino e/ou pesquisa, como é o caso do grupo da Universidade Federal do Ceará que, entre outros fatos, relata a organização de um Seminário

Internacional de Biomassa, em Fortaleza, no ano de 1978. Outro relato desse grupo refere-se à primeira patente brasileira de biodiesel, denominada de “PI-8007957 de 1980”, depositada por Expedito de Sá Parente (LOPES et al., 2008).

O biodiesel é um dos combustíveis renováveis mais promissores, uma vez que é biodegradável, menos tóxicos do que o diesel fóssil, compatível com a tecnologia atual do motor diesel e tem baixo perfil de emissão. Além disso, tem excelentes propriedades de lubrificação e energia semelhante ao diesel (WILLSON; WIESMAN; BRENNER, 2010; SIDDIQUEE; ROHANI, 2011; KWON et al., 2012; ZHANG et al., 2013; MANICKAM; ARIGELA; GOGATE, 2014).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar e abordar o cenário sobre a utilização do biodiesel, bem como as políticas brasileiras de biocombustíveis, em especial o biodiesel e os marcos regulatórios no País. De forma conjunta, buscou-se identificar as perspectivas futuras e os benefícios advindos do uso após a implementação na matriz energética brasileira.

2.2 Biodiesel e impacto ambiental

Segundo o CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (1986), o conceito de impacto ambiental refere-se a qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estáticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

De acordo com Marinho et al. (2011), o ordenamento jurídico pátrio, em matéria ambiental, adota a teoria da responsabilidade civil objetiva, prevista tanto no art. 14, parágrafo 1º da Lei 6.938/81, quanto no artigo 225 da Constituição Federal. A opção do legislador brasileiro pela teoria objetiva é um importante passo para o sistema de prevenção e repressão dos danos ambientais, pois tende a suprir a necessidade de certos danos, que não seriam reparados pelo critério tradicional da culpa (teoria subjetiva). A responsabilidade civil objetiva, em matéria ambiental (independentemente da existência de culpa), é um mecanismo processual que garante a proteção dos direitos da vítima, no caso dos danos ambientais, e da

coletividade. Por isso, aquele que exerce uma atividade potencialmente poluidora ou que implique risco a alguém, assume a responsabilidade pelos danos oriundos do risco criado.

O dano ambiental apresenta características diferentes do tradicional, principalmente porque é considerado bem de uso comum do povo, incorpóreo, imaterial, autônomo e insuscetível de apropriação exclusiva. Trata-se, aqui, de direitos difusos, em que o indivíduo tem o direito de usufruir o bem ambiental e também tem o dever de preservá-lo para as presentes e futuras gerações (MARINHO et al., 2011).

Lopes et al. (2008) mencionam que 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.

A adoção do biodiesel, seja como combustível, seja como aditivo, implica aumento da área plantada; desse modo, a preocupação com a qualidade do meio ambiente, em decorrência da crescente poluição, erosão, áreas degradadas, empobrecimento da população, êxodo rural, bem como da redução das áreas de preservação ambiental. Tal situação tem levado à busca de métodos alternativos mais racionais de exploração agrícola, ou seja, a adoção da agricultura sustentável (LOPES et al., 2008)

O biodiesel é caracterizado como combustível renovável originado de mistura de ésteres graxos de cadeia longa da mistura de alquilésteres que podem ser derivados a partir de diferentes matérias-primas, incluindo oleaginosas, gorduras animais e lípidos de algas por meio da reação de transesterificação com alcoóis, que podem ser transformados em biodiesel, podendo substituir total ou parcialmente o óleo diesel comum (PEHAN et al., 2009; LIM; TEONG, 2010; HOEKMAN et al., 2012). E por se tratar de biocombustível orgânico, o biodiesel pode ser degradado facilmente por contaminação microbológica (SCHULTZ, 2010; SILVA et al., 2012; COLLA, 2012).

No Brasil, a seção de transportes é quase totalmente dependente dos combustíveis derivados do petróleo, e com a crescente preocupação sobre gases de

efeito estufa, é dada ênfase na redução das emissões de CO₂. Porém, apesar das melhorias da eficiência do motor, o aumento da dieselização da frota e o crescente número de veículos resultam em aumento das emissões de CO₂. Para reverter esta tendência a fonte de combustível deve ser alterada para combustíveis renováveis que emitem menores quantidades de CO₂ (RASHEDUL et al., 2014).

A poluição atmosférica dos centros urbanos implica problema da sociedade contemporânea, cujos hábitos estão vinculados a combustíveis de origem fóssil. Ressalta-se que as substâncias originadas na combustão desses acarretam mal-estar e inúmeras doenças respiratórias, ocasionando grandes custos hospitalares. A substituição do diesel pelo biodiesel possibilita o transporte rodoviário de passageiros e cargas de forma mais limpa, resultando em significativa melhoria na qualidade do ar (LOPES et al., 2008)

2.3 Principais vantagens e desvantagens da inserção do biodiesel

O biodiesel tem propriedades semelhantes às do diesel mineral, podendo substituí-lo sem exigir alterações no motor ou outro tipo de adaptação, além de reduzir a emissão de poluentes para a atmosfera (MOSER, 2009; SHAHABUDDIN et al., 2012; CAN, 2014; SORATE; BHALE, 2015). Entende-se que a grande desvantagem deste biocombustível é o preço, uma vez que o diesel mineral ainda é mais barato, talvez por questão de escala de produção ou por decisão política, lembrando-se que, no Brasil, o diesel tem incentivo financeiro governamental. Visto isso, espera-se que o êxito do Programa Brasileiro dependa do apoio governamental e privado.

As principais vantagens na utilização do biodiesel são: o consumo equivalente ao diesel (dispensa de qualquer tipo de conversão do motor); emissão 1.000 vezes menor de óxidos de enxofre; redução em 50% em emissões de CO e particulados (fumaça negra); 78% a menos em emissões de gases de efeito estufa; maior disponibilidade de lubricidade (aumenta a vida útil do motor); índice de cetano (qualidade da queima: 25 a 50 maior); apresenta carbono não Fóssil, sendo este 80% menos poluente (TAPANES et al., 2013).

Estudos do National Biodiesel Board (associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos) demonstraram que a queima de biodiesel pode emitir, em média, 48% menos monóxido de carbono; 47% menos material particulado (que penetra nos pulmões); 67% menos hidrocarbonetos (ANP, 2014b). Como esses percentuais variam de acordo com a quantidade de B100 (100% de biodiesel) adicionado ao diesel de petróleo, no B5 (mistura de 5% de biodiesel com 95% de óleo diesel), essas reduções ocorrem de modo proporcional (BRAGA; BRAGA, 2012). Dessa forma, o biodiesel reduz a liberação de diversas substâncias prejudiciais, normalmente encontradas no escapamento dos veículos.

É preciso salientar que, de acordo com o Programa Nacional de Produção e Uso do biodiesel, além da relevância econômica e ambiental, esse biocombustível abrange o aspecto social, pois a cadeia produtiva do biodiesel tem grande potencial de geração de empregos. Outro ponto destacado pelo programa é a possibilidade de promover a inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar.

2.4 Políticas brasileiras de biocombustíveis

2.4.1 O Proálcool

O Brasil acumula experiência longa e diversificada no âmbito da produção e do uso de biocombustíveis. O marco mais visível é certamente o Proálcool, programa de desenvolvimento do bioetanol como substitutivo da gasolina, implantado com sucesso em 1975, considerada a maior experiência mundial de exploração comercial de biomassa como fonte energética, e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, criado em 2005 (SILVA; SAKATSUME, 2007).

No Brasil, desde a década de 20, o Instituto Nacional de Tecnologia – INT, já estudava e testava combustíveis alternativos e renováveis. Com o adjunto das crises do petróleo, ocorridas na década de 70, conhecidas como 1º e 2º Choques do Petróleo, e com os sucessivos aumentos do preço do petróleo, o alto grau de poluição causado pelos combustíveis fósseis e as crescentes preocupações ambientais, foi instituído o Programa Nacional do Álcool – Proálcool, através do Decreto n. 76.593, de 14 de novembro de 1975, pelo Presidente Ernesto Geisel,

depois de consultas e amplas discussões com o setor (BRASIL, 1975; UNICA, 2007).

A possibilidade de usar o álcool da cana-de-açúcar como combustível automotivo era conhecida há quase um século, e havia sido mesmo testada em diversos momentos, mas até os anos de 1970, a disponibilidade de derivados de petróleo e o preço baixo desestimularam o emprego. Em outubro de 1973, o cenário mudou drasticamente com o primeiro choque do petróleo, reabrindo-se a possibilidade efetiva de promoção da biomassa como fonte alternativa de energia (BRASIL, 1975; UNICA, 2007).

O Proálcool teve duas fases distintas. A fase 1, em 1975, que utilizava o bioetanol como aditivo à gasolina, e a fase 2, iniciada em 1979, utilizando 100% de bioetanol, em substituição à gasolina. Os principais efeitos do uso do álcool (100% ou misturado com gasolina) nos centros urbanos foram a substituição do chumbo na gasolina e a redução das emissões do monóxido de carbono (SILVA; SAKATSUME, 2007).

2.4.2 Programa nacional do óleo

Paralelamente ao surgimento do Pró-Álcool, cogitou-se sobre o lançamento de um programa com o intuito de se produzir outro combustível proveniente de fontes renováveis, porém à base de matérias-primas oleaginosas visando à substituição parcial do diesel de petróleo ou petrodiesel, na matriz veicular de combustíveis, inicialmente chamado de “Pró-Óleo” (CÂMARA, 2006).

O programa então chamado Pró-Óleo, surgiu através da Resolução n.007, de 22 de outubro de 1980, que continha o Pró-Diesel como um dos subprogramas. Este programa deu um grande passo para o biodiesel no Brasil. O programa tinha o objetivo de introduzir, na matriz energética nacional, óleos vegetais a preços competitivos, visando a diminuir as importações de diesel. Ainda naquele ano, foi criada a Empresa Cearense Produtora de Sistemas Energéticos (Proerg), em Fortaleza, de onde surgiram dois tipos de óleos combustíveis: o óleo de origem vegetal, obtido através da semente de maracujá; e óleo de origem animal, extraído de peixes. Em 1986, houve queda no preço do petróleo e, conseqüentemente, o

Pro-Óleo foi desativado, e a Proerg extinta, mas pesquisadores brasileiros continuaram a trabalhar com o biodiesel (MATTEI, 2010; ALVES; XAVIER, 2011).

Este tema (programa Pró-Óleo) voltou à agenda pública somente na segunda metade da década de 1990, quando houve reestruturação da matriz energética do Brasil, com a instituição de novos marcos regulatórios e com a própria criação das agências reguladoras, dentro da lógica que comandou o processo de privatização do sistema energético estatal edificado nas décadas anteriores (MATTEI, 2010).

Através da resolução 180, de 1998, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) autorizou a realização de testes e a comercialização de combustíveis não especificados, sendo a UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), através do COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia), a primeira instituição que solicitou a realização de testes para o uso do biodiesel em motores de combustão. Registre-se que nesses primeiros testes foi utilizado óleo vegetal residual advindo de frituras para obter o biodiesel, o qual foi misturado ao óleo diesel normal a uma proporção de 5% (MATTEI, 2010).

De posse de alguns resultados, a UFRJ/COPPE realizou, em 2001, o seminário “Potencial do Biodiesel no Brasil”, contando com a participação de diversos agentes públicos (Petrobrás, Instituto Nacional de Tecnologia, ANP) e privados (empresários dos ramos de transportes e energia). O evento concluiu pela viabilidade econômica de uma política nacional que buscasse a substituição paulatina do óleo diesel derivado do petróleo pelo biodiesel advindo de produtos vegetais e da biomassa (MATTEI, 2010).

Em decorrência da extinção do programa Pró-Óleo, no ano de 2002, sob o cenário de crise energética mundial, o governo federal, sob o comando de Fernando Henrique Cardoso, cogitou relançar o antigo “Pró-Óleo”, porém, já em final de mandato, mais uma vez o programa não foi priorizado, então, assim, novo programa foi lançado, o Programa de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (PROBIODIESEL), pela Portaria n. 702, de 30 de outubro de 2002, do Ministério de Ciência e Tecnologia, sendo tratado, hoje, como Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), que teve como objetivos reduzir a dependência do petróleo; expandir os mercados das oleaginosas; impulsionar a demanda por combustíveis

alternativos; e reduzir a emissão de gases poluentes, visando a atender às regras do Protocolo de Kioto, do qual o Brasil é signatário (MCT, 2002).

2.4.3 Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) foi elaborado através de uma parceria entre um grupo de trabalho interministerial, instituído por Decreto pelo Presidente da República – encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – e associações empresariais, como a ANFAVEA e a Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE) (LOPES et al., 2008)

Em termos do marco regulatório, o Governo Federal definiu como prioridade a ampliação da produção e do consumo em escala comercial e de forma sustentável, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, através da diversificação das matérias-primas e das regiões produtoras, visando a gerar emprego e renda (MATTEI, 2010).

Conforme os documentos relacionados, a produção e consumo de biodiesel no Brasil foram determinados por meio da Medida Provisória n. 214/2004, convertida na Lei n. 11.097/05. Essa lei, contida no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), pode ser considerada como um marco na história do biodiesel no Brasil, uma vez que é a partir dela que o biodiesel encontra sustentáculo jurídico na legislação brasileira (ANP, 2014a).

O governo definiu, inicialmente, as seguintes metas, segundo a Lei n. 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 o cumprimento. “Art. 2º, § 1º - O prazo para a 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, 2014a).

A partir de julho de 2008, a mistura obrigatória passou a ser de 3%, porém em julho de 2009 a mistura foi acrescida para 4% de biodiesel. Com o perceptível amadurecimento do mercado brasileiro, o percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), sucessivamente, até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (ANP, 2014a).

A obrigatoriedade do uso de 2% de biodiesel no diesel em 2005, acarretou demanda de 1 bilhão de L/ano. Já em julho de 2009, esse percentual passou para 4%, com aumento da demanda para 1,8 bilhão de L/ano. Para adição de 5% de biodiesel no diesel, houve uma previsão de 2,4 bilhões de L/ano, passando para 2,8 de bilhões L/ano em 2013. (DANTAS, 2010; GOES; ARAÚJO; MARRA, 2010).

Em 11 de maio de 2012, foi publicada a Resolução ANP n. 14, que estabelece as especificações do biodiesel comercializado no Brasil. Já em 2014, a medida provisória n. 647, de 28 de maio de 2014, transformada em Lei n.13.033, de 24 de setembro de 2014, alterou o percentual obrigatório do biodiesel misturado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, passando de 5% para 6% a partir de 1º de julho. Porém, desde 1º de novembro de 2014, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 7% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 5% para 7% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel (Figura 1). A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis (ANP, 2014a).

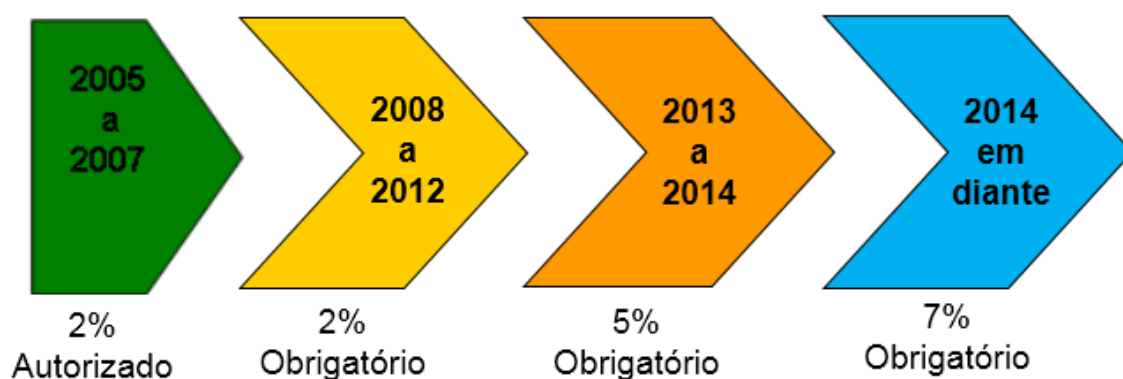


Figura 1. Marco regulatório da mistura de biodiesel no diesel.

Segundo o Ministério Público Federal, lei n. 647, por motivo justificado de interesse público, o Conselho Nacional de Política Energética poderá, a qualquer tempo, reduzi-lo para até 6%, restabelecendo-o quando da normalização das condições que motivaram a redução do percentual (ANP, 2014a). O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com uma produção anual, em 2013, de 2,9 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, para cerca de 7,9 bilhões de litros. A Figura 2 ilustra a evolução do mercado de biocombustíveis no Brasil.

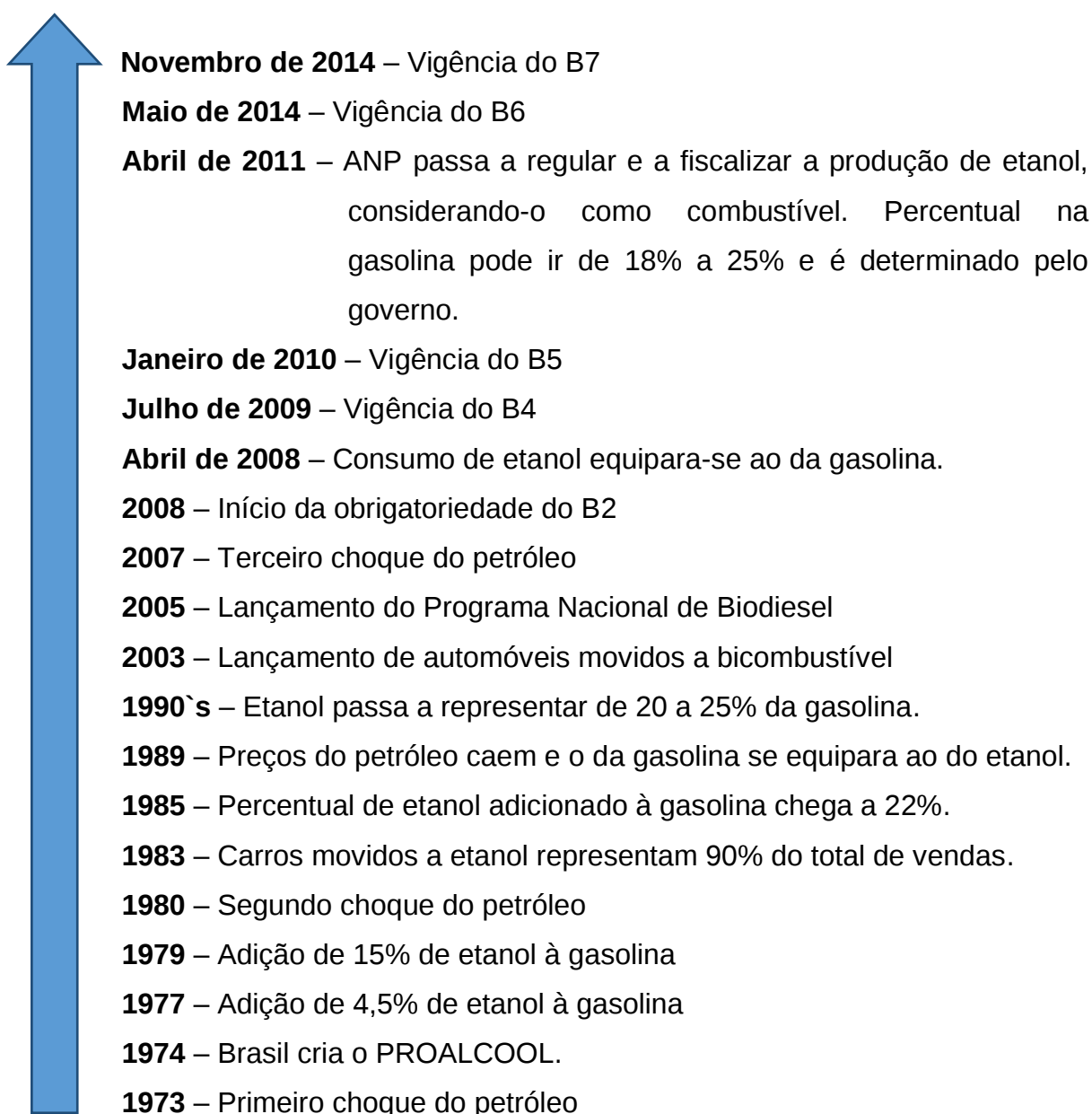


Figura 2. Evolução dos biocombustíveis no Brasil.

O governo desenvolve políticas de incentivos à produção de biocombustíveis dentro do PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel) que tem como principais objetivos melhorar as questões econômicas, sociais, ambientais e estratégicas (GARCEZ; VIANNA, 2009). Dentre estes incentivos, está a integração da agricultura familiar à produção do biodiesel, tendo como ponto de partida a criação de um Selo Combustível Social, destinado àquelas indústrias cuja aquisição de matéria-prima seja proveniente de agricultores familiares. Assim, o programa

garante a inclusão dessas famílias à economia e, ao mesmo tempo, reduzindo ou isentando as indústrias de suas responsabilidades fiscais, estimulando-as a comprarem matérias-primas oriundas das regiões mais carentes, principalmente a Norte e a Nordeste do País (PUTTI; LUDWIG; RAVAZI, 2012).

É importante ressaltar que os coeficientes de redução das alíquotas para cada região estão estabelecidos conforme publicada a Lei n. 11.116, que definiu as regras tributárias do biodiesel referentes ao PIS/PASEP (Programa de Integração Social) e à COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social). Essa lei determinou que esses tributos sejam cobrados uma única vez e que o contribuinte é o produtor industrial de Biodiesel. O mesmo poderá optar entre uma alíquota percentual que incida sobre o preço do produto, ou pelo pagamento de alíquota específica, que é um valor fixo por metro cúbico de Biodiesel comercializado. A referida lei ressalta que o Poder Executivo poderá estabelecer coeficientes de redução para a alíquota específica, que poderão ser diferenciados em função da matéria-prima utilizada, da região de produção dessa matéria-prima e do tipo de fornecedor (agricultura familiar ou agronegócio) (ANP, 2014a).

Para ter direito ao Selo, os produtores precisam obedecer a um cronograma de aquisição da matéria-prima da agricultura familiar, nas seguintes proporções: Nordeste e região do Semiárido (50%); Centro-Oeste e Norte (10%); e Sudeste e Sul (30%). Além disso, os produtores de biodiesel assumem algumas responsabilidades, dentre as quais se destacam a aquisição de produtos da agricultura familiar em quantidades definidas pelo MDA; a realização de contratos com os agricultores familiares em que se especificam prazos e preços pelos produtos; e fornecimento de assistência técnica aos agricultores (MATTEI, 2010).

No dia 3 de outubro de 2005, foi publicada a Portaria Ministerial n. 483, que estabelece as diretrizes para a realização pela ANP de leilões públicos para aquisição de biodiesel. Cada leilão deverá ser realizado de acordo com as regras fixadas pela ANP, mediante Resolução, em conformidade com as diretrizes constantes da Resolução n. 3 do Conselho Nacional de Política Energética, de 23 de setembro de 2005 (ANP, 2014a).

Para participar do leilão, o fornecedor de Biodiesel deve ser:

- Produtor de Biodiesel, detentor do “Selo de Combustível Social”;

- A sociedade detentora de projeto de produção de Biodiesel reconhecida pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário como possuidora dos requisitos necessários à obtenção do “Selo de Combustível Social”.

Os leilões continuam sendo realizados para assegurar que todo o óleo diesel comercializado no País contenha o percentual de biodiesel determinado em lei. A produção e o uso do biodiesel no Brasil propiciam o desenvolvimento de uma fonte energética sustentável sob os aspectos ambiental, econômico e social, e também trazem a perspectiva da redução das importações de óleo diesel. Segundo dados da ANP (2014a), já foram realizados 40 Leilões de biodiesel, tendo um total de entregas das unidades produtoras, no ano de 2014, de 2.614.008 m³.

A Constituição Brasileira de 1988, no art. 225, prevê que: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Dessa forma, acredita-se que a utilização do biodiesel, enquanto combustível renovável, propicia o atendimento ao dispositivo constitucional.

2.5 Qualidade do biodiesel

O contínuo monitoramento da qualidade dos combustíveis derivados de petróleo, do gás natural, do biodiesel e do etanol é uma das ferramentas da ANP para a proteção dos direitos dos consumidores – em sinergia com a Fiscalização da Agência, conforme o Art. 8º da Lei n. 9.478/1997, a Lei do Petróleo. Instituído em 1998, o PMQC (Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis) foi ampliado até alcançar todas as unidades da Federação, em 2005. Coordenado pela Superintendência de Biocombustíveis e de Qualidade de Produtos (SBQ). O PMQC foi regulamentado pela Resolução ANP n. 8, de 9 de fevereiro de 2011 (revoga a Resolução ANP n. 29, de 26 de outubro de 2006). Neste monitoramento, são verificadas especificações físico-químicas determinadas pela própria ANP para combustíveis e para lubrificantes (ANP, 2014b).

Ressalta-se que, para que estes produtos possam ser comercializados, devem atender a especificações em todas as etapas da produção, da distribuição e da revenda dos produtos. O programa é capitaneado pela ANP e tem como

conveniados universidades e centros de pesquisa espalhados por todo o País. Estes conveniados são responsáveis por coletar amostras de combustíveis nos postos revendedores e analisar estas amostras em laboratório, de acordo com uma série de testes estabelecidos pela ANP. Os dados colhidos pelo programa servem para aprimorar a regulamentação do setor e para direcionar as ações de fiscalização realizadas pela ANP (ANP, 2014b).

2.6 Matriz energética brasileira

Conforme dados preliminares da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 2014), o Balanço Energético Nacional (BEN) 2014, ano base de 2013, revela o quão diversificado é o Brasil, quanto à disponibilidade de fontes alternativas de energia limpa ou renovável e, principalmente, a evolução da disponibilidade de fontes de energia da década de 70 até o ano de 2014 (Figura 3).

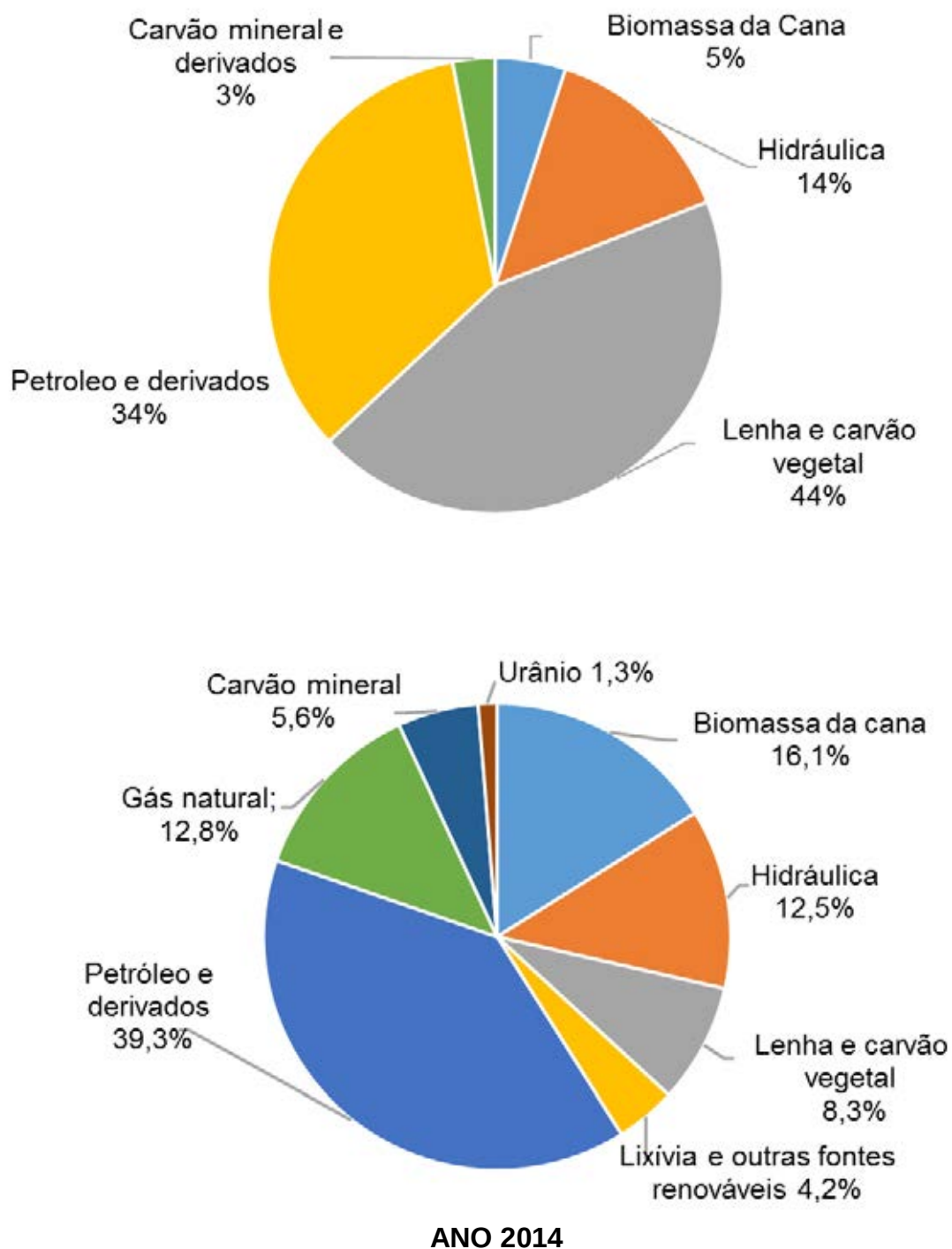


Figura 3. Fornecimento total de energia primária por combustível em 1970 e 2014.

A maior parte da energia gerada no Brasil, no ano de 2014, provém dos recursos renováveis da biomassa de cana (16,1%), usinas hidroelétricas (12,5%), outras fontes renováveis (4,2%) e carvão vegetal (8,3%). A segunda maior (39,3%) fonte de energia é de origem fóssil, representada pelo petróleo e seus derivados.

Gás natural (12,8%), carvão mineral (5,6%) e urânio (1,3%) representam a menor parte da geração nacional de energia.

É importante ressaltar que o uso de biocombustíveis tem aumentado no Brasil ao longo dos últimos anos, e a participação na matriz energética nacional deverá ser ainda maior de acordo com projeções apresentadas na Figura 1. Porém o Brasil ainda é fortemente dependente dos derivados de petróleo, e em especial do diesel, visto que nosso modelo energético se apoia na estrutura de cargas fortemente dependentes do setor rodoviário (VICHI et al., 2009). Segundo alguns dados estatísticos do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2014), apresentado pelo Ministério de Minas e Energia, o óleo diesel atende aproximadamente a 46,4% do setor de transportes de cargas e pessoas no País (Figura 4).

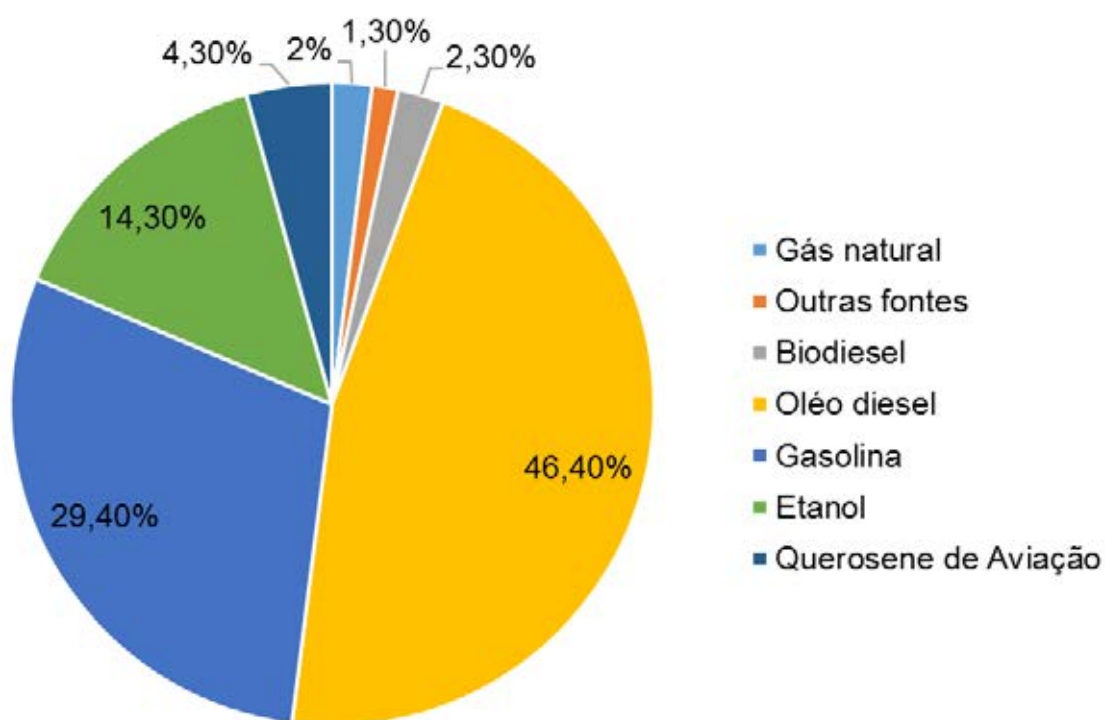


Figura 4. Consumo de energia nos transportes.

No âmbito nacional, de acordo com a Resolução ANP n. 50/2013 (ANP, 2013), os três tipos de óleos diesel rodoviários comercializados no Brasil são classificados da seguinte forma:

- a) Óleo diesel tipo A: combustível proveniente de processos de refino de petróleo, centrais de matérias-primas petroquímicas ou autorizadas, sem adição de biodiesel;
- b) Óleo diesel tipo B: é o óleo diesel tipo A com adição de biodiesel.

Estes tipos de diesel são subclassificados de acordo com o teor de enxofre, seguindo a nomenclatura adotada pela Resolução ANP n. 65/2011 e Revogada pela Resolução ANP n. 50/2013 (ANP, 2013), válida a partir do dia 23 de dezembro de 2013:

- a) **Óleo diesel A S10 e B S10**: contendo no máximo 10 mg kg⁻¹ de enxofre;
- b) **Óleo diesel A S50 e B S50**: contendo no máximo 50 mg kg⁻¹ de enxofre;
- c) **Óleo diesel A S500 e B S500**: contendo no máximo 500 mg kg⁻¹ de enxofre;
- d) **Óleo diesel A S1800 e B S1800**: contendo no máximo 1.800 mg kg⁻¹ de enxofre.

A substituição do diesel B S1800 pelo B S500 foi iniciada em 2012, ficando vedado o comércio do primeiro a partir de 2014. Em relação aos óleos diesel com menores concentrações de enxofre, o período de adaptação para o B S50 ocorreu em 2012 e foi substituído totalmente pelo diesel B S10 até o fim de 2013. O diesel B S10 foi motivado pela implementação de limites cada vez mais restritivos para as emissões de poluentes dos veículos em circulação, sendo introduzido e regulamentado no mercado nacional por meio do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, e da resolução da ANP n. 65, de 09 de novembro de 2012 (MMA, 2014).

A alteração de concentração de enxofre no diesel visa a reduzir a poluição do ar nos centros urbanos em obediência às exigências da fase L6 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), cuja descrição se encontra no capítulo III da Resolução n. 415/2009 (BRASIL, 2009), do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Tomando por base o potencial agrícola brasileiro e os condicionantes ambientais, torna-se oportuno discutir a adoção de alternativas sustentáveis para derivados de petróleo. A utilização de produtos renováveis como aditivo ou

combustível em motores de combustão interna tem-se tornado muito frequente nos últimos tempos. Diante disso, diversos trabalhos apresentaram informações sobre o desenvolvimento de biocombustíveis, fatores ambientais, aplicações e introdução no mercado, bem como recomendações consideradas prioritárias para pesquisas futuras. Dessa forma, o biodiesel representa relevante alternativa para a agricultura mundial; entretanto, muitas pesquisas ainda precisam ser realizadas a fim de que esta possibilidade seja competitiva.

2.7 Conclusões

O Brasil adotou, ao longo dos anos, diferentes mecanismos de política pública para promover o uso de combustíveis renováveis e biodegradáveis com atrativos econômicos, sociais e ambientais, sendo estes implementados como parte da matriz energética, merecendo destaque o Programa Nacional do Álcool e, mais recentemente, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

Devido à grande extensão territorial e a condições climáticas favoráveis, o Brasil pode destacar-se no cenário mundial como grande produtor e exportador de biodiesel, uma vez que domina as tecnologias de produção.

2.8 Referências

ALVES, V. R. F. A.; XAVIER, Y. M. A. Marco Regulatório do Biodiesel no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 6., 2011, Florianópolis. **Anais..** Florianópolis: ABPG, 2011. 1 CD-ROM.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP nº 50/2013**. 2013. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%2065%20-22011.xml>. Acesso em: 10 jan. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Legislação – biodiesel**. 2014a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=53930&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1419273680769>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **PMQC - Boletim de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis**. 2014b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=73212&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1419274584087>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

BRAGA, C. F. G.; BRAGA, L. V. Desafios da energia no Brasil: panorama regulatório da produção e comercialização do biodiesel. **Caderno EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 751–762, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº. 415, de 24 de setembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 25 set. 2009.

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

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2014 – Ano base 2013: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 51 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2014.

CÂMARA, G. M. S. **Biodiesel Brasil – estado atual da arte**. 2006. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/biodiesel_brasil.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2014.

CAN, O. Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture. **Energy Conversion and Management**, London, v. 87, p. 676–686, 2014.

COLLA, T. S. **Avaliação da Biorremediação de Solo Contaminado pela Mistura B10 por Consórcio Bacteriano**. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Porto Alegre, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986**. 1986. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em: 18 nov. 2014.

CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; GRIS, D. J.; DIETER, J.; ROSSI, E.; ANTONELLI, J. Current scenario and prospects of use of liquid biofuels in South America. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 43, p. 352–362, 2015. Disponível em: <[doi:10.1016/j.rser.2014.11.064](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.064)>.

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.

FONTANA, J. D. **Biodiesel**: para leitores de 9 a 90 anos. Curitiba: UFPR, 2011. p. 117-144.

GARCEZ, C. A. G.; VIANNA, J. N. D. S. Brazilian biodiesel policy: social and environmental considerations of sustainability. **Energy**, Rondebosch, v. 34, n. 5, p. 645–654, 2009.

GOES, T.; ARAÚJO, M.; MARRA, R. **Biodiesel e sua Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010>>. Acesso em: 23 out. 2014.

HOEKMAN, S.; KENT.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; CENICEROS, E.; NATARAJAN, M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 143–169, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>>.

KWON, E. E.; KIM, S.; JEON, Y. J.; YI, H. Biodiesel production from sewage sludge: new paradigm for mining energy from municipal hazardous material. **Environmental Science & Technology**, Dordrecht, v. 46, n. 18, p. 10.222–10.228, 2012.

LEE, K. T.; LIM, S.; PANG, Y. L.; ONG, H. C.; CHONG, W. T. Integration of reactive extraction with supercritical fluids for process intensification of biodiesel production: Prospects and recent advances. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 45, p. 54-78, 2014.

LIM, S.; TEONG, L. K. Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 938–954, 2010.

LOPES, A.; SENÔ, M. A. A. F.; CAMARA, F. T.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W. Biodiesel no Brasil: aspectos gerais e síntese da legislação. **Revista Atualidades Jurídicas**, Brasília, v. 1, p. 1-19, 2008.

MAJEWSKI, W. A.; JÄÄSKELÄINEN, H. Biodiesel – mono alkyl esters. **Diesel Net technology guide**. 3. ed. s.l., 2009. p.1. Disponível em: <www.dieselnet.com>. Acesso em: 16 dez. 2013.

MANICKAM, S.; ARIGELA, V. N. D.; GORATE, P. R. Intensification of synthesis of biodiesel from palm oil using multiple frequency ultrasonic flow cell. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 128, p. 388–393, 2014.

MARINHO, O. D.; SILVA, A. M. S.; NOGUEIRA, M. G.; SOUZA, P. S.; CAVALCANTE FILHO, R. P. O conceito de causalidade para a reparação do dano no direito ambiental. **Revista do Direito Ambiental da Amazônia**, Manaus, n. 16, p. 47-58, 2011.

MATTEI, L. F. Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 731-740, 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. **Portaria MCT nº 702, de 30-10-2002**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14600.html>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Ministério do meio ambiente**. 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

MOSER, B. R. Biodiesel production, properties, and feedstocks. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, Heidelberg, v. 45, p. 229–266, 2009.

PEHAN, S.; JERMAN, M. S.; KEGL, M.; KEGL, B. Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. **Fuel**, Oxford, v. 88, n. 6, p. 976-979, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.027>>.

PUTTI, F. F.; LUDWIG, R.; RAVAZI, S. A. Análise da viabilidade e rentabilidade do uso do babaçu para a produção do biodiesel. **VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 8, n. 7, p. 127-142, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17271/19800827872012335>>.

RASHEDUL, H. K.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ASHRAFUL, A. M.; ASHRAFUR RAHMAN, S. M.; SHAHIR, S. A. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**. London, v. 88, p. 348–364, 2014. Disponível em: <[doi:10.1016/j.enconman.2014.08.034](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.034)>.

SALLET, C. L.; ALVIM, A. M. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. **Revista Economia & Tecnologia**, Curitiba, v. 25, p. 1-13, 2011.

SCHULTZ, F. M. **Avaliação de microrganismos com potencial de degradação de diesel e biodiesel**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SERVIÇO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Cartilha do biodiesel**. Disponível em: <<http://www.biblioteca.sebrae.com.br>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

SHAHABUDDIN, M.; KALAM, M. A.; MASJUKI, H. H.; BHUIYA, M. M. K.; MOFIJUR, M. An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination. **Energy**, Rondebosch, v. 44, n. 1, p. 616–622, 2012.

SIDDIQUEE, M. N.; ROHANI, S. A Lipid extraction and biodiesel production from municipal sewage sludge: a review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 1.067–1.072, 2011.

SILVA, E. M. P.; SAKATSUME, F. **A política brasileira de biocombustíveis**. 2007. Disponível em: <http://www.conservacao.org/publicacoes/files/7_Politica_Biocombust_E_Mirra>. Acesso em: 14 nov. 2014.

SILVA, M. J.; SOUZA, S. N. M.; RICIERI, R. P.; SOUZA, A. A.; DEONIR SECCO, D. Microgeneration of electricity with producer gas in dual fuel mode operation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 879-886, 2011.

SILVA, G. S.; MARQUES, E. L. S.; DIAS, J. C. T.; LOBO, I. P.; GROSS, E.; BRENDDEL, M.; DA CRUZ, R. S.; REZENDE, R. P. Biodegradability of soy biodiesel in microcosm experiments using soil from the Atlantic Rain Forest. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 55, p. 27–35, 2012.

SORATE, K. A.; BHALE, P. V. Biodiesel properties and automotive system compatibility issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 41, p. 777–798, 2015.

TAPANES, N. D. L. O.; ARANDA, D. A. G.; PEREZ, R. S.; CRUZ, Y. R. Biodiesel no Brasil: matérias-primas e tecnologias de produção. **Acta Scientiae et Technicae**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 119-125, 2013.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Etanol Brasileiro – Evolução da Legislação e Marco Regulatório**. 2007. Disponível em: <http://www.senado.leg.br/comissoes/cae/ap/AP_20070514_Unica_PetroleoGasBiocombustiveis.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

WILLSON, R. M.; WIESMAN, Z.; BRENNER, A. Analyzing alternative bio-waste feedstocks for potential biodiesel production using time domain (TD)-NMR. **Waste Management**, Oxford, v. 30, n. 10, p. 1.881–1.888, 2010.

ZHANG, X.; YAN, S.; TYAGI, R. D.; SURAMPALLI, R. Y. Energy balance and greenhouse gas emissions of biodiesel production from oil derived from wastewater and wastewater sludge. **Renewable Energy**, Oxford, v. 55, p. 392–403, 2013.

CAPÍTULO 3 – Opacidade da fumaça do trator agrícola funcionando com biodiesel de babaçu e diesel B S10 em períodos do dia

RESUMO – A demanda de recursos energéticos pelos sistemas de produção, aliada à escassez dos combustíveis fósseis, tem motivado a produção do biodiesel, que é um combustível obtido de fontes renováveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar a opacidade da fumaça em um trator agrícola funcionando com diesel B S10 (B0) e biodiesel de babaçu, nas proporções B50 e B100, em seis períodos do dia (2 h, 6; 10; 14; 18 e 22 h). O trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP. Os resultados mostraram que a opacidade da fumaça se reduziu nos horários de menor temperatura ambiente e maior umidade relativa do ar; observou-se, também, que, à medida que foram acrescidas maiores proporções de biodiesel de babaçu ao diesel B S10, a opacidade da fumaça reduziu-se, sendo este procedimento eficiente para diminuir a opacidade da fumaça em motor do trator agrícola.

Palavras-chave: biocombustível, ensaio com trator, emissões de escape, *Orbinya martiana*

3.1 Introdução

O uso do biodiesel em motores de ignição por compressão tem aumentado substancialmente nas últimas décadas, principalmente devido às características de ser combustível livre de enxofre, em contraste com o diesel fóssil, e trata-se de uma fonte vegetal renovável, podendo contribuir para o ciclo do carbono (SILITONGA et al., 2011; MOFIJUR et al., 2012; ZHOU et al., 2012).

Vale ressaltar que há indicativos de que a produção de biodiesel possibilita, também, aumento nos rendimentos agrícolas, destacando-se a conservação do meio ambiente em razão da redução de emissão de gases do efeito estufa, do desenvolvimento econômico, da otimização e da descentralização de investimentos e do desenvolvimento social por meio da geração de emprego e renda no campo (DE GORTER & JUST, 2010).

A quantidade de combustível fóssil como fonte de energia é limitada, e quando estes são queimados, liberam gases prejudiciais ao meio ambiente. Então, é importante procurar alternativa energética que possa substituir, ainda que parcialmente, os combustíveis fósseis e que possa enfrentar o desafio da crescente demanda por energia de forma sustentável, reduzindo, portanto, o impacto sobre o meio ambiente (CALAND et al., 2009).

No Brasil, os combustíveis fósseis têm sido alvo de discussões governamentais, principalmente relacionadas às questões ambientais geradas pelo aumento da demanda. Para o setor de transporte rodoviário de cargas e pessoas, no País, são disponibilizados três tipos de óleo diesel, que atendem a 46,4% deste setor. O diesel B S500 (500 mg kg⁻¹ de enxofre), o diesel B S50 (50 mg kg⁻¹ de enxofre), lançado pela Petrobrás em 2009, e o diesel B S10 (10 mg kg⁻¹ de enxofre), introduzido e regulamentado no mercado nacional em 2012, motivado pela implementação de limites cada vez mais restritivos para as emissões de poluentes pelos veículos em circulação (ANP, 2013).

O biodiesel é visto como possível solução para as incertezas do futuro energético, principalmente dos países em desenvolvimento. Devido à grande semelhança com o diesel, em termos de estrutura química e conteúdo de energia, o

o referido biocombustível é compatível com os motores diesel, e por isso não necessita de modificações (LAM et al., 2009).

O biodiesel é caracterizado por mistura de ésteres graxos de cadeia longa da mistura de alquilésteres que podem ser derivados a partir de diferentes matérias-primas, incluindo oleaginosas, gorduras animais e lípidos de algas por meio da reação de transesterificação com alcoóis. As propriedades dos derivados de biodiesel a partir de diferentes matérias-primas podem variar de acordo com a composição de ácidos graxos (PEHAN et al., 2009; HOEKMAN et al., 2012). Para garantir a qualidade do biodiesel, é necessário seguir os padrões nacionais regulamentadores de biodiesel.

Dentre as fontes de matéria-prima para a produção do biodiesel, apresenta-se o babaçu (*Orbinya martiana*, Mart.), palmeira oleaginosa nativa que está distribuída em grande parte no Nordeste (maior região produtora), Norte, Central e Oeste do Brasil, mas também cresce no México e na Bolívia (SILVA et al., 2014).

A cadeia produtiva do babaçu é uma das mais representativas do extrativismo vegetal no Brasil, em razão da área de abrangência da palmeira babaçu, com cerca de 13 a 18 milhões de hectares, em 279 municípios, situados em 11 Estados). Encontrado principalmente em formações conhecidas como babaçuais que cobrem cerca de 196 mil km² no território brasileiro, com ocorrência concentrada nos Estados do Maranhão, Tocantins e Piauí, na região conhecida como Mata dos Cocais (transição entre Caatinga, Cerrado e Amazônia) (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012).

O babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.) é uma palmácea de tronco simples, robusto, imponente, podendo medir entre 10-30 metros de altura, e entre 20-50 cm de diâmetro (caule). Frutifica a partir do oitavo ano e alcança a produção plena após 15 anos. Dentre das diversidade de espécies de babaçu, as mais conhecidas e com o uso mais difundido são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa* (LORENZI et al., 2010).

Os frutos do babaçu (cocos) são muito apreciados, tanto pelo homem como pela fauna silvestre. Cada safra pode ter entre 3 e 5 cachos, e cada cacho pode produzir de 300 a 500 cocos, sendo a produção de cocos muito variável. O pico de

florescimento acontece entre janeiro e abril, e os frutos amadurecem entre agosto e dezembro (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012).



Figura 1. Cacho de *Orbignya phalerata*, Mart. (Babaçu) (PRODUÇÃO DE BIODIESEL, 2015).

O babaçu destaca-se como uma mais importantes fontes alternativas de energia renovável, pois além de benefícios econômicos e sociais, traz vantagens ecológicas, uma vez que é alternativa de produção energética ecologicamente sustentável, ou seja, diminui os impactos ambientais provenientes do emprego de energia hidráulica. O óleo da amêndoa pode ser usado como combustível na produção de biodiesel e na indústria de alimentos e cosméticos (CINELLI et al., 2010; SILVA et al., 2011; ALMEIDA et al., 2011; VINHAL; LIMA; BARBOSA, 2014).

Várias partes do coco de babaçu podem ser utilizadas como fontes energéticas: o mesocarpo, para a produção de álcool; o endocarpo, para a produção de carvão e gases; a amêndoa, para a produção de óleo, com possível aplicação em motores a diesel, e o epicarpo, para utilização direta como combustível primário (NASCIMENTO, 2004) – Figura 2. A avaliação proporcional das partes que correspondem ao fruto do babaçu mostra que cerca de 11% da massa total do fruto corresponde ao epicarpo; 23% ao mesocarpo; 59% ao endocarpo, e 7% às amêndoas, respectivamente (VIEIRA et al., 2011).

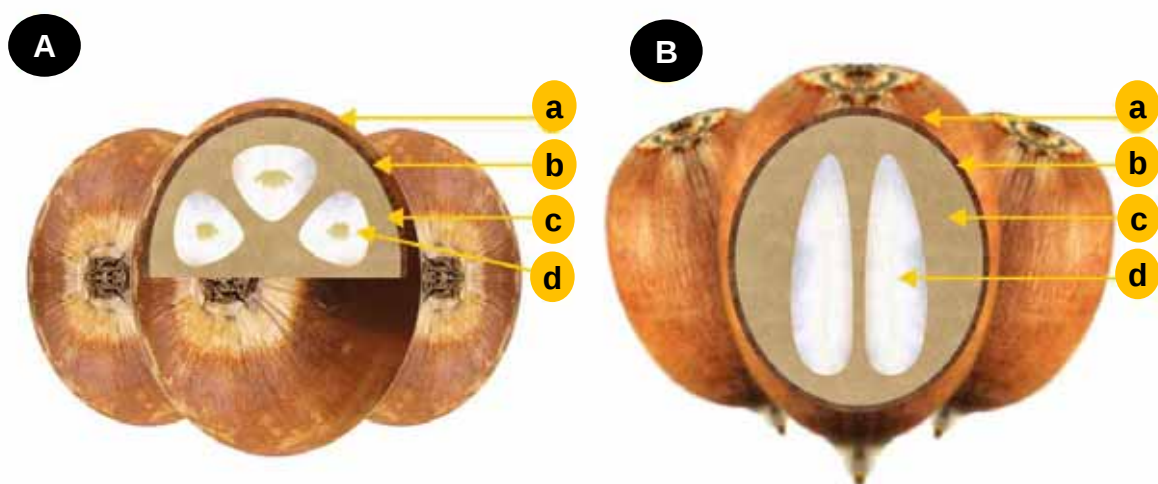


Figura 2. Corte esquemático do coco babaçu com seus principais componentes. (A) Corte transversal. (B) Corte longitudinal. Legenda: a – epicarpo; b – mesocarpo; c – endocarpo, e d – amêndoa (BARROS, 2011).

De forma geral, em todas as amêndoas das palmeiras, especialmente no babaçu, concentram-se altos teores de material graxo, ou seja, óleos de aplicação alimentícia ou industrial. Assim, o principal destinatário das amêndoas do babaçu são as indústrias locais de esmagamento e produtoras de óleo bruto, o qual constitui cerca de 65% da massa da amêndoa (BIODIESELBR, 2015), com composição predominantemente láurica (SANTOS et al., 2009). Tabela 1.

Tabela 1. Composição química em ácidos graxos do óleo de babaçu.

Ácido graxo	Composição de ácidos graxos (%)
Ácido caprílico (C8:0)	4,54
Ácido cáprico (C10:0)	4,25
Ácido láurico (C12:0)	44,14
Ácido mirístico (C14:0)	14,47
Ácido palmítico (C16:0)	9,38
Ácido esteárico (C18:0)	4,40
Ácido oleico (C18:1)	14,04

Da Rós et al. (2014).

A principal utilidade do babaçu consiste na produção de óleo para fins culinários e industriais (DA SILVA et al., 2014). Segundo Teixeira e Carvalho (2007), o babaçu apresenta uma produção de óleo de cerca 900 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Resalta-se que aos resíduos do coco babaçu podem ser agregados valores pecuniários, enriquecendo a cadeia produtiva de biodiesel de babaçu, sendo este um indicativo de fonte sustentável de biomassa para os estados do Nordeste e Centro-Oeste (DA SILVA et al., 2014),

Paiva (2010) analisou a viabilidade do uso de babaçu como matéria-prima para produção de biodiesel. Este autor afirma que a composição química predominante é composta por ácidos graxos saturados, principalmente láurico e mirístico; além disso, este óleo também apresentou satisfatórios teores de ácidos livres (<0,5%), tendo boas perspectivas de fornecimento de alquilésteres, indicados como aditivos de mistura com diesel ou para serem utilizados como 100% de combustível. O biodiesel de babaçu possui resistência a oxidação e baixas densidade e viscosidade, devido à composição majoritária de ésteres saturados e de menor massa molecular (SILVA et al., 2010).

Oliveira et al. (2013) revelam que 44% da composição do óleo de babaçu é ácido graxo láurico, e este óleo pode ser adequado nas principais normas de regulamentação vigentes para produção de biodiesel e utilizado em máquinas de ignição por compressão.

Estudos têm viabilizado a aplicação de biodiesel em motores de ciclo diesel, como a avaliação da opacidade da fumaça em trator agrícola, utilizando-se de diversas fontes de matéria-prima. Estes apontam diminuição na opacidade da fumaça em comparação ao diesel, à medida que se aumenta a proporção de uso do biocombustível (ZHU et al., 2010). Comparando B0 com B100, Chauhan et al. (2013), ensaiando motor ciclo diesel com biodiesel de karanja, verificaram que a opacidade da fumaça diminuiu à medida que foram acrescidas maiores quantidades de biodiesel no diesel. Tabile et al. (2009), em experimento similar, avaliaram proporções de biodiesel de mamona versus diesel B S2000 e diesel B S500, e evidenciaram que, a partir do aumento da quantidade de biodiesel até à proporção de B75, houve redução na opacidade; comparando B0 a B75, a redução foi de 22,0 e 10,6% para diesel B S2000 e diesel B S500, respectivamente.

Pressupõe-se que a variação da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente, bem como as proporções de misturas de biodiesel no diesel, influencia o comportamento da opacidade da fumaça no motor do trator agrícola.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a opacidade da fumaça em um trator agrícola, funcionando com diesel B S10 (B0) e biodiesel de babaçu nas proporções 50 e 100% (B50 e B100, respectivamente), em seis horários do dia (2 h; 6; 10; 14; 18 e 22 h).

3.2 Material e métodos

3.2.1 Local do experimento

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas – BIOEM, pertencente ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia – IPBEN, FCAV/UNESP/Jaboticabal - SP. O referido laboratório está localizado nas seguintes coordenadas geodésicas 21° 14' 26,25" S e 48°17' 13,22" W, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2° C, umidade relativa média do ar de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

3.2.2 Óleo diesel

Foi utilizado o óleo diesel B S10 (B0), regulamentado no mercado nacional pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, classificado de acordo com a resolução ANP n. 50/2013 (ANP, 2013), tendo quantidade de enxofre total de 10 mg kg⁻¹, adquirido na rede comercial da cidade de Jaboticabal – SP.

3.2.3 Biodiesel

Utilizou-se de biodiesel de babaçu etílico destilado, produzido com óleo de babaçu (B100). O óleo foi extraído da amêndoa do coco babaçu; e o biodiesel, produzido pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas, LADETEL – USP de Ribeirão Preto - SP, em sistema de parceria com a FCAV/UNESP, Jaboticabal - SP. Para obter a proporção de mistura (B50), foram utilizados 50% de diesel B S10 e 50% de biodiesel etílico de babaçu, auxiliado por provetas de 500 mL e 250 mL, funil e recipientes.

3.2.4 Trator de teste

O trator utilizado nos testes foi um Valtra, modelo BM 125i (Figura 4), 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv), a 2.300 rpm (ISO1585), equipado com turbocompressor 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⁻¹ (56 kg cv⁻¹).



Figura 4. Trator de teste (VALTRA BM 125i).

3.2.5 Depósito externo de biodiesel no trator de teste

O protótipo (Figura 5) foi desenvolvido e construído na UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP, e utiliza dois conjuntos formados por medidor de fluxo {Flowmate oval - M -III (LSN4IL8-M2), precisão de 1 mL, vazão máxima de 100 L h^{-1} e alimentação de 12 Vcc}, montado em série, com sensor de temperatura {tipo resistência de platina (Pt 100 – resistência de 100 ohms a 0°C), faixa de medida de -200°C a 800°C , tempo de resposta de 5 segundos e influência térmica na leitura de 0,007% por grama. Consta de dois conjuntos medidores para quantificar o volume de combustível na entrada da bomba injetora, separado do volume na tubulação de retorno. O sistema conta com 18 registros de esferas, quatro registros de agulha, tubulação flexível “tecalon” com diâmetro de 9,52 mm (3/8”) e três depósitos auxiliares confeccionados em aço inox (um de 4 e dois de 1,5 litro de capacidade). Tais depósitos permitiram a realização de ensaios com três proporções de Biodiesel, sem contaminar o tanque original do trator.



Figura 5. Vista geral da montagem do protótipo no trator.

O protótipo foi montado no trator Valtra BM 125i, contando o mesmo com armação metálica que tem regulagens na vertical e na horizontal, permitindo que seja instalado em tratores de quaisquer marcas e tamanhos. No caso em questão, os depósitos ficaram posicionados a 1,1 m de altura em relação ao sistema de alimentação original (bomba injetora), sendo tal procedimento capaz de permitir o escoamento do biodiesel pela ação da gravidade e, dessa forma, evitou-se a

utilização de bomba alimentadora. Logo após o biodiesel sair de quaisquer dos depósitos auxiliares, o produto passava através de um sistema de filtragem independente daquele original do trator, com a finalidade de proteger os sensores de fluxo, de temperatura, e o sistema de alimentação do trator, mesmo sabendo-se da boa procedência do biodiesel de teste. Destaca-se, entretanto, que o filtro auxiliar utilizado no protótipo seguiu a mesma especificação do trator, evitando-se assim problemas relacionados com a vazão e a alimentação de combustível. Outra característica desse protótipo era a permissão de drenagem de combustível, bem como a retirada de ar de todo o sistema de alimentação, sem a utilização de ferramentas.

Ressalta-se, entretanto, que, para este trabalho, a utilização deste protótipo teve como finalidade apenas a alimentação do trator com biodiesel, sem contaminar o depósito original do mesmo.

3.2.6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça

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

Nos motores “ciclo diesel”, os gases resultantes da queima do combustível possuem partículas suspensas. O opacímetro de fluxo parcial, por meio da sonda coletora instalada no escapamento do motor, leva o material coletado até à câmara de medição, onde existe um fecho de luz emitido continuamente. A fuligem reflete ou refrata a luz, obscurecendo e alterando o padrão de recepção. 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 o *software* denominado IGOR, que gerencia os dados. Os equipamentos são apresentados nas Figuras 6 e 7.

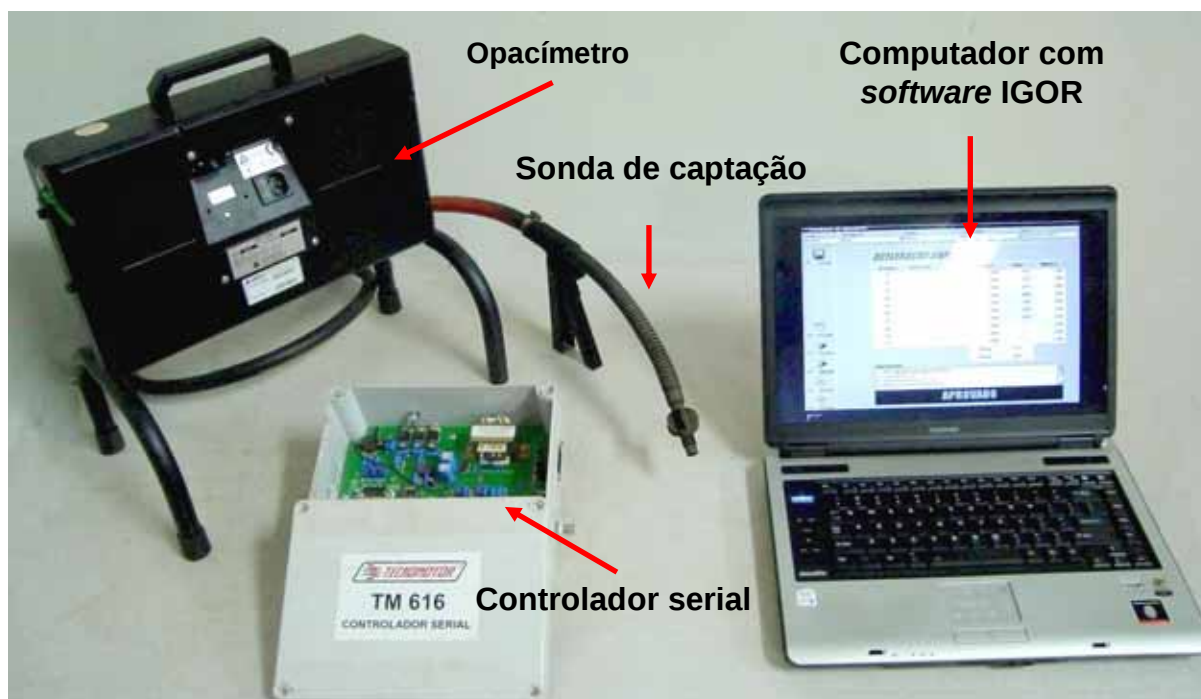


Figura 6. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.



Figura 7. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça (LOPES, 2006).

3.2.7 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6×3 , tendo 18 tratamentos e três repetições, totalizando 54 resultados. Ressalta-se que, conforme a metodologia do ensaio da opacidade, em cada repetição, houve de sete a dez replicações, tendo como princípio que as três primeiras leituras são desprezadas pelo software. As próximas quatro leituras são analisadas seguindo as seguintes critérios: a média das quatro leituras deve estar dentro dos limites máximos regulamentados pelo CONAMA; a diferença entre a maior e a menor leitura em cada replicação não pode ultrapassar $0,25 \text{ m}^{-1}$ e as quatro medições não podem estar em ordem decrescente. Caso algum desses critérios não sejam atendidos, a primeira das quatro repetições será desprezada e o software realizará uma nova medição (com máximo de 10 medições). Os fatores foram compostos por seis horários de execução do ensaio no dia (2 h; 6; 10; 14; 18 e 22 h) e três tipos de combustível biodiesel/diesel (B0, B50 e B100).

3.2.8 Determinação da temperatura ambiente e umidade relativa do ar

A temperatura e a umidade relativa do ar foram obtidas na estação meteorológica da UNESP – Jaboticabal – SP, localizada próximo ao local do ensaio. Valores encontrados para temperatura ambiente e umidade relativa do ar, para os horários de ensaio (2 h; 6; 10; 14; 18; e 22 h), estão na Tabela 2.

Tabela 2. Valores encontrados para temperatura ambiente e umidade relativa do ar, para os horários de ensaio (2 h; 6; 10; 14; 18 e 22 h)

Horários do ensaio (h)	Temperatura ambiente (°C)	Umidade Relativa do ar (%)
2	14,7	72
6	13,9	95
10	22,4	60
14	28,4	27
18	25,2	42
22	18,0	63

3.2.9 Procedimento experimental para a determinação da opacidade

Os ensaios foram realizados de acordo com o método de aceleração livre, que é o regime de rotação a que o motor é submetido com o acelerador em seu curso máximo de 3 a 5 segundos, sendo a potência desenvolvida, absorvida somente pela inércia dos componentes mecânicos do motor (embreagem, árvore- - piloto da caixa de mudanças), uma vez que o trator estava estático, conforme NBR 13037 (ABNT, 2001). As medições de opacidade foram feitas em K, que é o coeficiente de absorção de luz e tem como unidade m^{-1} (TECNOMOTOR, 2012).

A mistura de biodiesel no diesel foi realizada no momento de cada ensaio; e entre os ensaios, todo o biodiesel não consumido dos depósitos, filtros e tubulações foi drenados para evitar a contaminação do ensaio seguinte. Para a estabilização do ensaio, após a troca do combustível, o motor permaneceu em funcionamento durante 10 minutos antes do início de cada ensaio.

3.2.10 Análise estatística

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

3.3 Resultados e discussão

Na Tabela 3, encontra-se a síntese da análise de variância, onde os dados referentes aos fatores tipo de combustível e horário de execução do ensaio representaram médias de 18 e 6 observações, respectivamente.

Tabela 3. Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para variável opacidade da fumaça.

FATORES	OPACIDADE
	m ⁻¹
TIPOS DE COMBUSTÍVEL (TC)	
Diesel B S10 B0	2,12
Biodiesel B50	1,62
Biodiesel B100	1,11
HORÁRIO (H)	
2 h	1,57
6 h	1,47
10 h	1,73
14 h	1,85
18 h	1,59
22 h	1,49
TESTE F	
TC	3964,0309 **
H	162,9397 **
TC x H	31,0043 **
C.V.%	4,18

*, significativo (P<0,05); **, significativo (P<0,01); C.V.; Coeficiente de variação

De acordo com a Tabela 3, observa-se que, para a opacidade da fumaça, a interação entre os fatores tipo de combustível e horário de execução do ensaio foi significativa, por isso a referida variável foi analisada, utilizando-se de uma tabela complementar de desdobramento (Tabela 4).

Tabela 4. Síntese do desdobramento da interação tipo de combustível e horários de realização do ensaio para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).

TIPO DE COMBUSTÍVEL	Horários (h)					
	2 h	6 h	10 h	14 h	18 h	22 h
Diesel B S10 (B0)	2,00Aa	1,93Aa	2,23Ac	2,49Ad	2,08Ab	1,99Aa
Biodiesel B50	1,54Bb	1,56Bb	1,74Bc	1,91Bd	1,56Bb	1,41Ba
Bidiesel B100	1,19Ccd	0,93Ca	1,21Cd	1,14Cbcd	1,13Cbc	1,08Cb

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

3.3.1 Tipo de combustível em cada horário de execução do ensaio

Na Tabela 4, analisando-se o fator horário (na coluna), nota-se que, entre o diesel B S10 (B0) versus o biodiesel B50 e B100, a opacidade foi superior em todos os horários conduzidos no estudo, diferindo dentre todos os fatores tipo de combustível. Verifica-se que a opacidade da fumaça reduziu à medida que aumentou a quantidade de biodiesel na mistura, destacando-se o biodiesel de babaçu (B100) com redução significativa, principalmente nos horários das 6 h e 14 h, de 51,82% e 54,21%, respectivamente, se comparado com diesel B S10.

A queima do biodiesel em motores diesel produz redução significativa das emissões de material particulado, quando comparado ao óleo diesel (JANAUN & ELLIS, 2010; ONG et al., 2011; XUE et al., 2011; BORA; BARUAH, 2012). Os níveis de opacidade (Tabela 4) são comparados à resolução do CONAMA nº. 251 de 1999 (CONAMA, 1999) e verifica-se que, neste caso, estaria dentro do limite de $2,5 \text{ m}^{-1}$. Essa situação pode ser explicada pelo fato de o biodiesel não apresentar enxofre na constituição, com a presença de oxigênio livre na molécula de biodiesel (redução da formação de zonas ricas em combustível na câmara de combustão e maior rendimento durante a combustão por difusão), aumentando a eficiência na combustão e diminuindo, consideravelmente, a produção de material particulado (SAHOO et al., 2009; CHAUHAN et al., 2012).

Esses resultados reforçam os relatos de Louzeiro (2012), que percebeu diminuição da emissão de CO, NOx e da opacidade, utilizando microemulsões formadas por substâncias oxigenadas (óleo vegetal de babaçu), aguardente e o álcool isobutílico, comparando-os ao diesel. Esse comportamento também foi

observado por Lima et al. (2013), que obtiveram redução de 36,25% e 60% na opacidade da fumaça do motor de um trator agrícola, funcionando com proporções de mistura de biodiesel de dendê e tucumã, respectivamente. Resultados semelhantes também foram obtidos por Neves et al. (2013), que observaram redução de 26,1% e 53,5% respectivamente, quando utilizaram proporções crescentes de biodiesel de soja e murumuru em um trator agrícola equipado com motor turbo *intercooler*.

Buyukkaya (2010), investigando a emissão de combustão de um motor diesel com óleo de colza (B100) e as misturas de B5, B20 e B70, em comparação ao combustível diesel-padrão separadamente, observou que a utilização de biodiesel produz menor opacidade do fumo (até 60%) em comparação com o combustível diesel. Quando o biodiesel é adicionado ao óleo diesel, o teor de oxigênio na mistura do combustível é aumentado e, assim, é necessário menos oxigênio para a combustão. No entanto o oxigênio/combustível é a principal razão para uma combustão mais completa e, por isso, resulta na redução de emissões de poluentes (GHOBADIAN et al., 2009; REIS et al., 2013). As propriedades do biodiesel são influenciadas pelas características individuais dos ésteres graxos que formam esse combustível (LÔBO et al., 2009).

3.3.2 Horário de execução do ensaio em cada tipo de combustível

Na Tabela 4, analisando-se o fator tipo de combustível (na linha), verifica-se que, para B0 e B50, a opacidade da fumaça aumentou 29,01% e 22,43%, entre o horário que foi observado a menor opacidade (6 h - 13,9° C - 95%) e o horário que foi registrado a maior opacidade (14 h - 28,4° C - 27%), tendo diferença significativa os dados apresentados no horário das 14 h ao demais horários. Para B100, a opacidade aumentou 22,58%, em diferente horário (10 h - 22,4° C - 60%) do registrado por B0 e B50, diferindo dos horários das 6; 18 e 22 h. Observa-se que a opacidade emitida pela combustão do tipo de combustível B0, B50 e B100, no motor do trator, foi menor, à medida que foi registrada menor temperatura e maior umidade relativa do ar. Segundo Lopes et al. (2009), a menor temperatura ambiente e a maior umidade relativa contribuem para melhorar a combustão no motor.

O comportamento registrado pelo biodiesel de babaçu (B100), ao emitir maior opacidade em horário diferente ao registrado para B0 e B50, pode estar relacionado às propriedades físico-químicas deste combustível. As propriedades do biodiesel são influenciadas pelas características individuais dos ésteres graxos que formam esse combustível (LÔBO et al., 2009; DABDOUB et al., 2009).

O comportamento da opacidade em função de execução do ensaio e das condições climáticas pode ser observado na Figura 8.

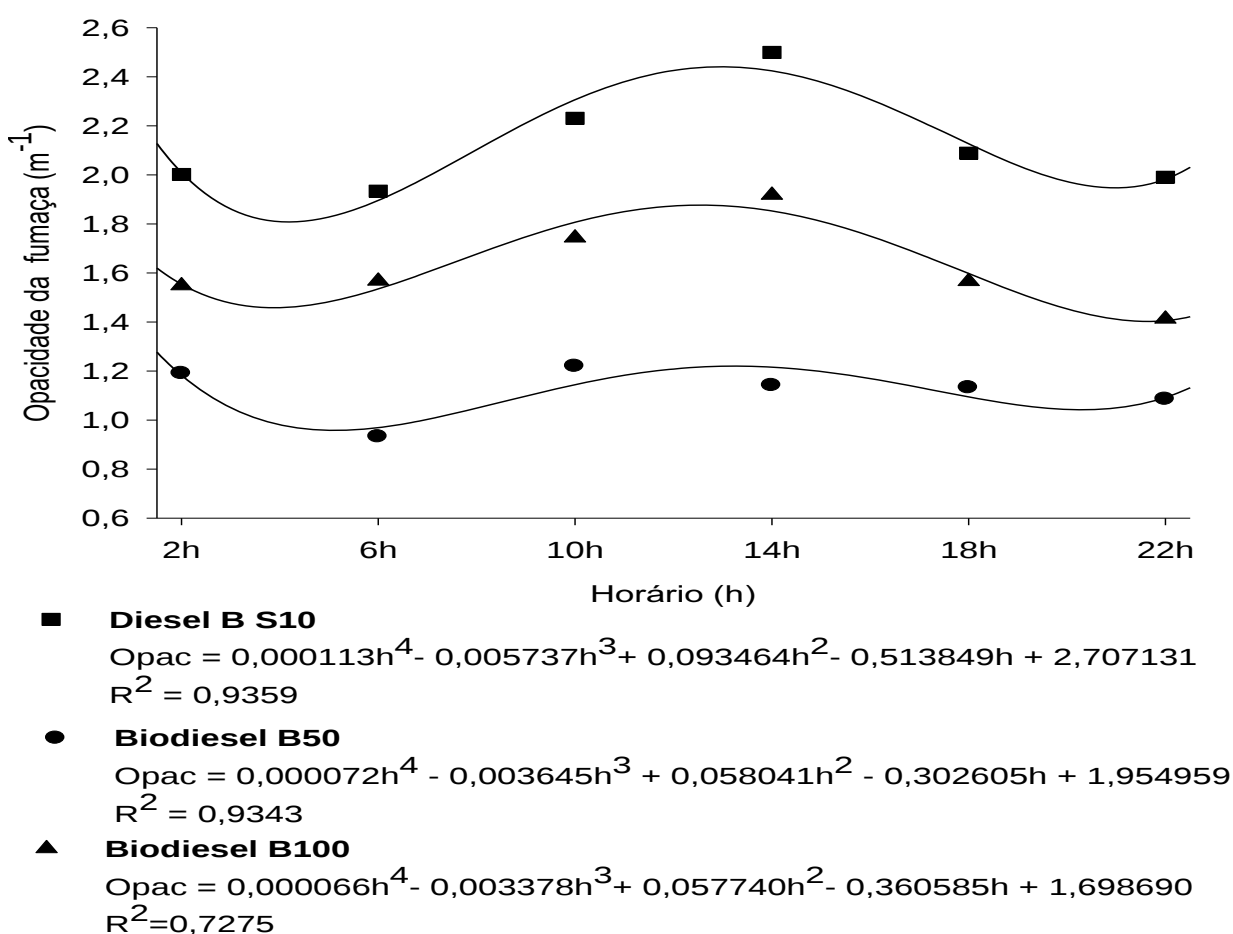


Figura 8. Representação gráfica da opacidade da fumaça em função do horário de execução do ensaio para B0, B50 e B100.

Esses resultados contemplam e equivalem aos encontrados por Mello júnior (2006); porém, utilizando-se de proporções de biodiesel de soja (B0, B50 e B100) observaram variação de 18,40%, 25,60% e 28,35%, respectivamente, com maior opacidade no horário de maior temperatura e menor umidade relativa do ar (16 h - 29° C - 31,4%). Entretanto, Oliveira (2009), utilizando biodiesel de dendê (B0, B50 e

B100), verificou menor variação na opacidade do que no presente estudo, de 18%, 8,45% e 8,77%, com maior opacidade no horário com maior temperatura e menor umidade relativa do ar (12 h – 22,7° C – 82%). Tal comportamento pode ser explicado em virtude da maior amplitude térmica ocorrida no dia do ensaio, que foi de 5° C, enquanto no presente estudo foi de 14,5° C (a maior: 28,4° C e a menor 13,9 ° C). Ainda que tenha havido pequena variação na temperatura, notou-se redução na opacidade à medida que a temperatura diminuía e a umidade relativa do ar aumentava.

Liotti et al. (2010), ao avaliarem a opacidade da fumaça do trator (com diesel e proporções de biodiesel de dendê) em função das condições climáticas (temperatura ambiente de 20 a 25° C e umidade relativa de 91,4 a 69%), na hora do ensaio (3; 6; 9; 12; 15; 18; 21 e 24 h), verificaram que o fator horário foi significativo. Os horários das 12 e 15h apresentaram resultados com maior valor da opacidade. Já, nos horários de 6 h e 24 h, a opacidade foi menor. Bem como Gonçalves et al. (2013), quando avaliaram a opacidade do trator (com diesel – B0) em função das condições climáticas (temperatura ambiente de 20,1 a 28° C e umidade relativa de 82,5 a 40,4%), no horário do ensaio (6 h 30, 9 h 30, 10 h 30, 12 h, 13h 30, 16 h, 18 h), verificaram que o fator horário foi significativo, e a opacidade da fumaça foi maior às 13 h 30 e 16 h, sendo influenciada pelas condições climáticas (maior temperatura ambiente e menor umidade relativa do ar), evidenciando também que tais fatores naturais prejudicam o processo de combustão no motor. Os autores verificaram amplitude térmica de 9,2° C, enquanto no trabalho de Liotti et al. (2010) a amplitude foi de 5° C.

A literatura disponível revela que, nos motores de combustão interna por compressão, a termodinâmica da combustão é influenciada principalmente pelo coeficiente de excesso de ar, calculado como a razão real da massa de ar/combustível e a razão estequiométrica da massa de ar (kg)/combustível (kg); riqueza da mistura ou razão de equivalência, que indica a proporção arbitrária de oxidante e de combustível relativamente a uma mistura estequiométrica; poder calorífico inferior do combustível; poder calorífico inferior da mistura e variação de temperatura. Para temperaturas inferiores, acerca de 1.250 K, e misturas pobres (elevada proporção ar/combustível), obtêm-se como produtos da combustão

exotérmica espécies químicas estáveis (principalmente CO_2 , H_2O , N_2 e O_2), enquanto para temperaturas superiores a 1.500 K ocorre dissociação das espécies químicas estáveis, formando-se muitas outras, tais como CO , H_2 , OH , H , O , NO e hidrocarbonetos não queimados, e outros (COELHO; COSTA, 2007).

3.4 Conclusões

A opacidade da fumaça do trator agrícola é influenciada pelo biodiesel de babaçu e períodos do dia.

A opacidade da fumaça foi reduzida no horário (6 h) de menor temperatura ambiente ($13,92^\circ\text{C}$) e maior umidade relativa do ar (95%), diminuindo em 51,82% quando comparado B0 com B100, destacando-se o biodiesel de babaçu.

A adição de biodiesel de babaçu no diesel B S10 mostrou-se como procedimento eficiente para reduzir a opacidade da fumaça em motor de trator agrícola.

3.5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13037: **Veículos rodoviários automotores – Gás de escapamento emitido por motor em aceleração livre – Determinação da opacidade**. Rio de Janeiro: ABNT/CB-005 Automotivo, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP nº 50/2013**. 2013. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%206%20%202011.xml>. Acesso em: 10 jan. 2014.

ALMEIDA, R. R.; LACERDA, G. L.; MURAKAMI, F. S.; BANNACH, G.; DEMIATE, I. M.; CARLOS RICARDO SOCCOL, C. R.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; SCHNITZLER, E. Thermal analysis as a screening technique for the characterization of babassu flour and its solid fractions after acid and enzymatic hydrolysis. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 519, n. 1-2, p. 50–54, 2011. Disponível em: <doi:10.1016/j.tca.2011.02.029>.

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

BARROS, I. C. **Avaliação Biofarmacotécnica de potencial excipiente farmacêutico**: pó de mesocarpo de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.). 2011, 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Piauí, Terezina, 2011.

BIODIESELBR. **Óleos Vegetais e Biodiesel no Brasil**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/babacu/babacu.htm>>. Acesso em: 6 jan. 2015.

BORA, D. K.; BARUAH, D. C. Assessment of tree seed oil biodiesel: A comparative review based on biodiesel of a locally available tree seed. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 16, n. 3, p. 1.616–1.629, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.033>>.

BUYUKKAYA, E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. **Fuel**, Oxford, v. 89, n. 10, p. 3.099–3.105, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2010.05.034>>.

CALAND, L. B.; SANTOS, L. S. S.; RODARTE DE MOURA, C. V.; MOURA, E. M. Preparation and study of bimetallic compounds efficiency in the synthesis of biodiesel fuel. **Catalysis Letters**, New York, v. 128, n. 3-4, p. 392-400, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10562-008-9762-4>>.

CARRAZZA, L. R.; SILVA, M. L. da; ÁVILA, J. C. C. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012. 63 p.

CHAUHAN, B. S.; KUMAR, N.; CHO, H. M. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with *Jatropha* biodiesel oil and its blends. **Energy**, Rondebosch, v. 37, n. 1, p. 616–622, 2012.

CHAUHAN, B.S.; KUMAR, N.; CHO, H.M.; LIM, H.C. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with *Karanja* biodiesel and its blends. **Energy**, Rondebosch, v. 56, n. 1, p. 1-7, 2013.

CINELLI, A. B.; LOPEZ, J. A.; CASTILHO, L. R.; FREIRE, D. M. G.; CASTRO, A. M. Granular starch hydrolysis of babassu agroindustrial residue: A bioprocess within the context of biorefinery. **Fuel**, Oxford, v. 124, p. 41–48, 2010. Disponível em: <doi:10.1016/j.fuel.2014.01.076>.

COELHO, P.; COSTA, M. **Combustão**. 1. ed. Lisboa: Edições Orion, 2007. 714 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resoluções que estabelecem o “Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE”. **Coletânea de Legislação Ambiental** (CONAMA nº 251 de 1999 - PROCONVE). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

DA ROS, P. C. M.; SILVA, W. C. E.; GRABAUSKAS, D.; PEREZ, V. H.; DE CASTRO, H. F. Biodiesel from babassu oil: Characterization of the product obtained by enzymatic route accelerated by microwave irradiation. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 52, p. 313-320, 2014.

DA SILVA, M. G. S.; FERREIRA, K. J. N.; TEIXEIRA, M. M.; SILVA, F. C.; MACIEL, A. P. Estudo de viabilidade técnica da produção de biodiesel de babaçu: uma revisão crítica. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 12, n. 2, p. 434-443, 2014.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009.

DE GORTER, H.; JUST, D. R. The social costs and benefits of biofuel: the intersection of environmental, energy and agricultural policy. **Applied Economic Perspective and Policy**, Cary, v. 32, n. 1, p. 4-32, 2010. Disponível em: <<http://aepp.oxfordjournals.org/content/32/1/4.full>>.

GHOBADIAN, B.; RAHIMI, H.; NIKBAKHT, A.M; NAJAFI, G.; YUSAF, T. F. Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. **Renewable Energy**, New York, v. 34, n. 4, p. 976–982, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.08.008>>.

GONÇALVES, S. S.; CORTEZ, J. W.; ARCOVERDE, S. N. S.; MACHADO, N.S.; NAGAHAMAS, H. de J. Ensaio de opacidade e nível de ruído de um trator agrícola. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 244-252, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/394/266>>.

HOEKMAN, S. K.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; CENICEROS, E.; NATARAJAN, M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 143–169, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>>.

JANAUN, J.; ELLIS, N. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 1.312-1.320, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.011>>.

LAM, M. K.; TAN, K. T.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. Malaysian palm oil: surviving the food versus fuel dispute for a sustainable future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 13, n. 6-7, p. 1.456–1.464. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.009>>.

LIMA, J. R. O.; SILVA, R. B.; SILVA, C. C. M.; SANTOS, L. S. S.; SANTOS JÚNIOR, J. R.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R. Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 600-603, 2007.

LIMA, L. P.; LOPES, A.; OLIVEIRA, M.C.J.; NEVES, M. C. T.; IAMAGUTI, P. S. Biodiesel em trator agrícola: comportamento operacional em função do tipo e proporções de mistura no diesel de petróleo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 5, p. 447-455, 2013.

LIOTTI, C. G.; LOPES, A.; LIMA, L. P.; CAMARA, F. T.; GUIOTTO, F. A.; KOIKE, G. H. A. Opacidade da fumaça de trator agrícola em função do uso de biodiesel de dendê e das condições climáticas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22., 2010, Marília. **Anais...** Marília: UNESP, 2010. p. 1-4.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1.596-1.608, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044>>.

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

LOPES, A.; CÂMARA, F. T.; OLIVEIRA, M. C. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; MELLO JÚNIOR, J.G.S. Opacidade da fumaça de trator agrícola utilizando biodiesel em função das condições climáticas no horário de execução do ensaio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais...** Juazeiro/Petrolina: SBEA, 2009. p. 1-4.

LORENZI, H.; NOBLICK, L. R.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira Lorenzi: Arecaceae (palmeiras)**. 1.ed. São Paulo: Nova Odessa, 2010, 367 p.

LOUZEIRO, H. C. **Microemulsões combustíveis a partir do óleo de babaçu para substituir o diesel em motores estacionários**. 2012. 82 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

MELLO JÚNIOR, J. G. S. **Opacidade da fumaça de trator agrícola em função da proporção de mistura de biodiesel/diesel e das condições climáticas no horário de execução do ensaio**. 2006, 74 f. Trabalho de graduação (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

MOFIJUR, M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; SHAHABUDDIN, M. Experimental study of additive added palm biodiesel in a compression ignition engine. **Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research**, London, v. 30, n. 2, p. 737-748, 2012.

NASCIMENTO, U. S. **Carvão de babaçu como fonte térmica para sistema de refrigeração por absorção no Estado do Maranhão**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

NEVES, M. C. T.; LOPES, A.; LIMA, L. P.; OLIVEIRA, M. C. J.; KOIKE, G. H. A. Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 351-360, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/372>>.

OLIVEIRA, L. E.; GIORDANI, D. S.; PAIVA, E. M.; CASTRO, H. F.; SILVA, M. L. C. P. Kinetic and thermodynamic parameters of volatilization of biodiesel from babassu, palm oil and mineral diesel by thermogravimetric analysis (TG). **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 111, p. 155-160, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-011-2163-8>>.

OLIVEIRA, M. C. J. **Biodiesel de dendê: opacidade da fumaça de trator agrícola em função das condições climáticas no horário de execução do ensaio.** 2009, 73 f. Trabalho de graduação (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

ONG, H. C.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; NORHASYIMA, R. S. Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 15, n. 8, p. 3.501–3.515, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.005>>.

PAIVA, E. J. M. **Estudo da Produção de Biodiesel a partir de Óleo de Babaçu e Etanol utilizando a Transesterificação Alcalina Tradicional com Agitação Mecânica e Assistida por Ultrassons.** 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2010.

PEHAN, S.; JERMAN, M.S.; KEGL, M.; KEGL, B. Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. **Fuel**, Oxford, v. 88, n. 6, p. 976-979, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.027>>.

REIS, E. F. dos; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 565-571, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500015>>.

PRODUÇÃO DE BIODIESEL. **Biocombustíveis.** Disponível em: <<http://www.produc.aodebiodiesel.com.br/materias-primas/babacu-e-uma-dasespecies-com-grande-potencial-de-sustentabilidade>>. Acesso em: 5 jan. 2015.

SAHOO, P. K. das, L. M.; BABU, M. K. G.; ARORA, P.; SINGH, V. P.; KUMAR, N. R.; VARYANI, T.S. Comparative evaluation of performance and emission characteristics of *Jatropha*, *Karanja* and *Polanga* based biodiesel as fuel in a tractor engine. **Fuel**, Oxford, v. 88, n. 9, p. 1.698–1.707, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.015>>.

SANTOS, N. A.; SANTOS, J. R. J.; SINFRONIO, F. S. M.; BICUDO, T. C.; SANTOS, I. M. G.; ANTONIOSI, N. R.; FERNANDES, V. J.; SOUZA, A. G. Thermo oxidative stability and cold flow properties of babassu biodiesel by PDSC and TMDSC techniques. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 97, n. 2, p. 611-614, 2009.

SILITONGA, A. S.; ATABANI, A. E.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; BADRUDDIN, I.A.; MEKHILEF, S. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 15, n. 8, p. 3.733-3.756, 2011.

SILVA, A. P. S. **Caracterização físicoquímica e toxicológica do pó de mesocarpo do babaçu (*Orbignya phalerata* Mart):** subsídio para o desenvolvimento de produtos. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Farmacêutica) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

SILVA, F. C.; CAVALCANTE, K. S. B.; LOURENZO, H. C.; MOURA, K. R. M.; MACIEL, A. P.; SOLEDADE, L. E. B.; SOUZA, A. G. Production of Biodiesel from Babassu Oil using Methanol-Ethanol Blends. **Eclética Química**, São Paulo, n. 1, v. 35, p. 47-54, 2010.

SILVA, M. C. D.; DA SILVA, L. M.; BRANDÃO, K. S.; SOUZA, A. G.; CARDOSO, L. P.; SANTOS, A. O. dos. Low temperature properties of winterized methyl babassu biodiesel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 115, n. 1, p. 635-640, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-013-3263-4>>.

TABILE, R. A.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J.; CAMARA, F. T. da; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da. Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 412-423, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S010069162009000300008>>.

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

TEIXEIRA, M. A.; CARVALHO, M. G. Regulatory mechanism for biomass renewable energy in Brazil, a case study of the Brazilian Babassu oil extraction industry. **Energy**, Rondebosch, v. 32, n. 6, p. 999–1.005, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016 /j.energy.2006.09.009>>.

VIEIRA, A. P.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S.; CHAVES, J. A. P.; MELO, J. C. P.; SILVA FILHO, E. C.; AIROLDI, C. Removal of textile dyes from aqueous solution by babassu coconut epicarp (*Orbignya speciosa*). **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 173, n. 2, p. 334– 340, 2011.

VINHAL, J. O.; LIMA, C. F.; LUIZ C. A.; BARBOSA, L. C. A. Analytical pyrolysis of the kernel and oil of babassu palm (*Orbignya phalerata*). **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 107, p. 73–81, 2014. Disponível em: <doi:10.1016/j.jaap.2014.02.005>.

XUE, J.; GRIFT, T. E.; HANSEN, A. C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 1.098–1.116, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.016>>.

ZHOU, W.; LI, Y.; ZHANG, Y.; ZHAO, Z. Energy efficiency evaluation of lipid production by oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides*. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 108, n. 1, p. 119-126, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-011-1659-6>>.

ZHU, L.; ZHANG, W.; LIU, W.; HUANG, Z. Experimental study on particulate and NO_x emission of a diesel engine fueled with ultralow sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, n. 5, p. 1.050-1.058, 2010.