

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

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE
PREPARO DE SOLO UTILIZANDO BIODIESEL DE
PALMEIRAS COMO COMBUSTÍVEL**

Thyago Augusto Medeiros Lira

Engenheiro Agrônomo

2018

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

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE
PREPARO DE SOLO UTILIZANDO BIODIESEL DE
PALMEIRAS COMO COMBUSTÍVEL**

**Thyago Augusto Medeiros Lira
Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes**

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

L768d

Lira, Thyago Augusto Medeiros

Desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível / Thyago Augusto Medeiros Lira. -- Jaboticabal, 2018

79 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

1. Orbignya martiana. 2. Mart.. 3. Mauritia flexuosa L.. 4. Astrocaryum vulgare. 5. ensaio com trator. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

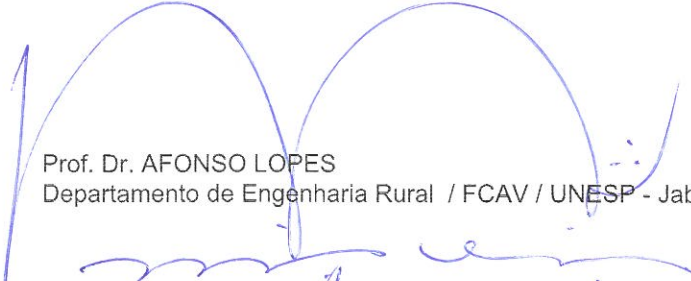
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO UTILIZANDO BIODIESEL DE PALMEIRAS COMO COMBUSTÍVEL

AUTOR: THYAGO AUGUSTO MEDEIROS LIRA

ORIENTADOR: AFONSO LOPES

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



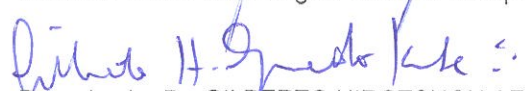
Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. LEOMAR PAULO DE LIMA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Campus Uberlândia/MG



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



Dra. MELINA CAÍS JEJCIC DE OLIVEIRA
Consultora Autônoma / Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 09 de novembro de 2018

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 05 de abril de 1989. cursou o primeiro e o segundo graus 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 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. Em março do mesmo ano iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, com ênfase na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em 2017, iniciou o curso de Graduação em Engenharia Agrônômica no Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior - ITES, concluindo-o em dezembro de 2018. Em 2018, também concluiu o curso de doutorado.

“A gratidão e a bondade independem das circunstâncias, elas nascem no espírito e se desenvolvem nos atos”.

Luiza Gosuen

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

Matheus Medeiros de Almeida e sobrinha

Antônia Belarmina Medeiros de Carvalho

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.

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.

Aos grandes amigos Yuri Rodolpho Fernandes Costa, Leomar Paulo de Lima e Suenildo Jósemo Costa Oliveira, agradeço pelos ensinamentos, paciência, companheirismo, confiança, 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.

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. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, Prof. Dr. Antonio Sérgio Ferraudo, Prof. Dr. José Marques Júnior, Prof. Dr. Carlos 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 esta 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 (processo número 01 / 09972-8), CNPq e laboratórios associados BIOEM / IPBEN / UNESP, pelo apoio financeiro para aquisição da instrumentação de tratores.

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: Prof. Dr. Murilo Coelho Theodoro Neves, Dra. Melina Cais Jejcic de Oliveira, Profa. Dra. Priscila Sawasaki Iamaguti, Prof. Dr. Ariston Pinto Santos, Doutoranda Thaísa Calvo Fugineri Moreti, Prof. Dr. Rogério Abreu, pela efetiva participação nesse projeto, pela amizade, apoio e companheirismo.

Ao LADETEL (Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas), da Universidade de São Paulo-USP, 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 Mafrá, Edna Aparecida Martins, Izabel Cristina Gerbasi Beraldo, Maria da Consolata Mulotto Nunes, Branca Rochidali José 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 Ciência do Solo, por acreditar em minha capacidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - finance code 001".

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	xiii
SUMMARY	xivv
LISTA DE TABELAS	xivv
LISTA DE FIGURAS	xivvi
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1 Panorama mundial das reservas de petróleo	1
1.2 Matriz energética brasileira	3
1.3 Biodiesel: Matéria-prima e produção do biodiesel	7
1.4 Propriedades Físico-químicas do biodiesel	12
1.4.1 Enxofre	14
1.4.2 Poder Calorífico	15
1.4.3 Viscosidade	15
1.4.4 Densidade	16
1.4.5 Número de Cetano	16
1.5 Desempenho operacional de máquinas	17
1.6 Referências	20
CAPÍTULO 2 – PALMEIRAS BRASILEIRAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL BABAÇU (<i>Orbignya martiana</i>, Mart.), BURITI (<i>Mauritia flexuosa</i> L.) E TUCUMÃ (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	26
2.1 Introdução	27
2.2 Material e métodos	29
2.3 Resultados e discussão	30
2.3.1 O babaçu (<i>Orbignya martiana</i> , Mart.)	30
2.3.2 O Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i> L.)	34

2.3.3 O tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>).....	37
2.3.4 Características físico-químicas do óleo de babaçu, buriti e tucumã para produção de biodiesel	40
2.4 Conclusões	45
2.5 Referências.....	47
CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO UTILIZANDO BIODIESEL DE PALMEIRAS COMO COMBUSTÍVEL.....	53
3.1 Introdução	54
3.2 Material e métodos	56
3.2.1 Local do experimento	56
3.2.2 Solo da área experimental.....	56
3.2.3 Biodiesel.....	57
3.2.4 Diesel	57
3.2.5 Tratores utilizados	57
3.2.6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho	58
3.2.6.1 Rotação dos rodados	58
3.2.6.2 Velocidade de deslocamento	58
3.2.6.3 Força na barra de tração	58
3.2.6.4 Consumo de combustível	59
3.2.6.5 Sistema de aquisição de dados.....	59
3.2.7 Delineamento experimental.....	60
3.2.8 Desempenho do trator	62
3.2.8.1 Escarificador.....	62
3.2.8.2 Uso dos tratores	62
3.2.8.3 Patinagem dos rodados.....	64
3.2.8.4 Velocidade de deslocamento.....	65

3.2.8.5 Força média na barra de tração	65
3.2.8.6 Potência na barra de tração	65
3.2.8.7 Consumo de combustível	66
3.2.8.7.1 Consumo horário volumétrico	66
3.2.8.7.2 Consumo horário ponderal	67
3.2.8.7.3 Consumo específico	67
3.2.9 Análise estatística	68
3.2.9.1 Análise de variância e teste de médias	68
3.2.9.2 Análise de regressão	68
3.3 Resultados e discussão	68
3.3.1 Potência na barra e Velocidade de deslocamento	68
3.3.2 Consumo de combustível (Chv, Chp e Cesp)	70
3.3.2.1 Consumo horário volumétrico (Chv)	70
3.3.2.2 Consumo horário ponderal (Chp)	71
3.3.2.3 Consumo específico de combustível (Cesp)	71
3.4 Conclusões	74
3.5. Referências	76

DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO UTILIZANDO BIODIESEL DE PALMEIRAS COMO COMBUSTÍVEL

RESUMO – No trabalho 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-químicas, com o intuito de justificar a importância do desenvolvimento de tecnologias e a utilização em motores ciclo diesel. São apresentadas também características das palmeiras que dão origem aos frutos: babaçu, buriti e tucumã, bem como as propriedades físico-químicas do biodiesel originado de palmeiras como babaçu, buriti e tucumã. Em seguida é descrita 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 as diretrizes avaliados durante a execução da pesquisa. Também são tecidas considerações sobre a avaliação e a discussão dos dados relacionados ao desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, buriti e tucumã em proporções de mistura com diesel B S50). A Pesquisa evidenciou que o óleo de babaçu, de buriti e de tucumã apresenta grande potencial na aplicabilidade da produção de biodiesel, desde que o óleo vegetal atenda às especificações da ANVISA, Resolução n.270/2005, e às normas de órgãos internacionais (American Oil Chemist's Society – AOCS e American Society for Testing and Materials – ASTM). Quanto aos testes realizados com biodiesel de palmeiras, foi verificado não houve comprometimento no funcionamento do motor (combustão e eficiência) durante os testes, bem como não apresentaram diferença significativa entre os parâmetros potência na barra de tração e velocidade de deslocamento. Porém, o biodiesel de tucumã apresentou maior consumo quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti. Quando avaliado o consumo específico, o biodiesel de tucumã apresentou aumento de 5,7% e 11,31%, quando comparado com biodiesel de babaçu e buriti, respectivamente.

Palavras-chave: *Orbignya martiana*, Mart., *Mauritia flexuosa* L., *Astrocaryum vulgare*, Mat., ensaio com trator, energia renovável.

PERFORMANCE OF AGRICULTURAL TRACTOR IN SOIL PREPARATION OPERATION USING BIODIESEL OF PALM TREES AS FUEL

SUMMARY – In the paper, global scenarios related to the total proved reserves of petroleum are exposed, interlinking them with the important aspects of biodiesel, sources of raw material, properties and physical-chemical characteristics, in order to justify the importance of the development of technologies and the use in diesel cycle engines. The characteristics of the palm trees that give rise to the fruits are also presented: babaçu, buriti and tucumã, as well as the physicochemical properties of the biodiesel originated from palm trees such as babaçu, buriti and tucumã. Next, the methodology used in the work and the necessary information for the analysis and the obtaining of the research data are described, covering them for the types of fuels used, as well as the factors and the guidelines evaluated during the execution of the research. Considerations are also made on the evaluation and discussion of the data related to the performance of agricultural tractor in soil preparation using palm oil biodiesel as biodiesel (babassu, buriti and tucumã biodiesel in proportions of mixture with diesel B S50). The research evidenced that babaçu, buriti and tucumã oil presents great potential in the applicability of biodiesel production, provided that the vegetable oil meets the specifications of ANVISA, Resolution n.270 / 2005, and the norms of international organisms (American Oil Chemist's Society - AOCS and American Society for Testing and Materials - ASTM). As for the tests carried out with palm biodiesel, no impairment of engine performance (combustion and efficiency) was observed during the tests, as well as no significant difference between the parameters in the traction bar and displacement speed. However, the biodiesel of tucumã showed higher consumption when compared to the biodiesel of babassu and buriti. When the specific consumption was evaluated, the biodiesel of tucumã showed an increase of 5.7% and 11.31%, when compared to biodiesel of babassu and buriti, respectively.

Keywords: *Orbignya martiana*, Mart., *Mauritia flexuosa* L., *Astrocaryum vulgare*, Mat., tractor test, renewable energy.

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Especificações do biodiesel (B100) no Brasil - ANP n. 45/2014.....13

Tabela 2. Diferenças das propriedades físico-químicas do biodiesel e do diesel.....14

Capítulo 2

Tabela 1. Composição química em ácidos graxos do óleo de babaçu.....34

Tabela 2. Composição química em ácidos graxos do óleo obtido da polpa e da casca do buriti.....37

Tabela 3. Composição química em ácidos graxos do óleo de tucumã obtido da polpa 40

Tabela 4. Parâmetros de composição físico-química de óleos vegetais 41

Tabela 5. Composição físico-química do óleo de babaçu 41

Tabela 6. Composição físico-química do óleo de buriti 43

Tabela 7. Composição físico-química do óleo de tucumã 44

Capítulo 3

Tabela 1. Relação e designação dos tratamentos 61

Tabela 2. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis, potência média na barra (PB), velocidade de deslocamento (V). 69

Tabela 3. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Cesp). 70

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Reservas provadas de petróleo no Brasil.....	2
Figura 2. Participação de fontes de energia na matriz energética.....	3
Figura 3. Fornecimento total de energia primária por combustível em 2016.....	4
Figura 4. Consumo de Energia nos transportes – matriz.	6
Figura 5. Produção de biodiesel (B100) – Ano 2007 a 2016	9
Figura 6. Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100 - mil m ³ /mês) por região brasileira.	10
Figura 7. Reação de alcoólise (transesterificação) de um triglicerídeo com alcoóis, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos.....	11

Capítulo 2

Figura 1. Marco regulatório da mistura de biodiesel no diesel.	28
Figura 2. Produção de amêndoas de babaçu por estado brasileiro..	31
Figura 3. Cachos de <i>Orbignya phalerata</i> , Mart. (Babaçu).	32
Figura 4. Corte esquemático do coco babaçu com seus principais componentes. ...	33
Figura 5. Cachos de <i>Mauritia flexuosa</i> L. (Buriti).....	35
Figura 6. Corte esquemático do fruto do buriti.	36
Figura 7. Cachos de <i>Astrocaryum vulgare</i> (Tucumã).	38
Figura 8. Corte esquemático do fruto do Tucumã.	39

Capítulo 3

Figura 1. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.	60
Figura 2. Esquema das parcelas.	62
Figura 3. Dinâmica do ensaio de desempenho.	63
Figura 4. Modelo de regressão para consumo específico (Cesp) em função do tipo de biodiesel (babaçu, tucumã e buriti) e das proporções de mistura de biodiesel com diesel B S50.	73

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1.1 Introdução e Justificativa

O trabalho está estruturado com 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 três 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-químicas, com o intuito de justificar a importância do desenvolvimento de tecnologias e a utilização em motores ciclo diesel.

No Capítulo 2, é apresentada uma meta de análise das características das palmeiras que dão origem aos frutos: babaçu, buriti e tucumã, bem como as propriedades físico-químicas do biodiesel originado de palmeiras como babaçu, buriti e tucumã.

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 as diretrizes avaliados durante a execução da pesquisa. Nesse capítulo, também são tecidas considerações sobre a avaliação e a discussão dos dados relacionados ao desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, buriti e tucumã em proporções de mistura com diesel B S50). A partir dos resultados apresentados, são abordadas as conclusões.

1.1 Panorama mundial das reservas de petróleo

Em 2017, o panorama mundial das reservas provadas de petróleo no mundo atingiu a marca de 1,7 trilhão de barris, mantendo-se no mesmo patamar de 2016, com pequeno decréscimo de 0,03%. O Brasil situou-se na 10ª posição, após o acréscimo de 4,8% no volume de óleo produzido, totalizando 2,7 milhões de barris/dia (3% do total mundial). Para o ranking mundial de reservas provadas de petróleo, o Brasil apresentou-se na 15ª posição, com volume de 12,8 bilhões de barris (Figura 1). Ressalta-se que, em geral, as mudanças ocorridas no volume das reservas de petróleo brasileiras são devidas à produção durante o ano, reservas adicionais oriundas de novos projetos de desenvolvimento e revisão das reservas dos campos por diferentes fatores técnicos e econômicos (ANP, 2017).

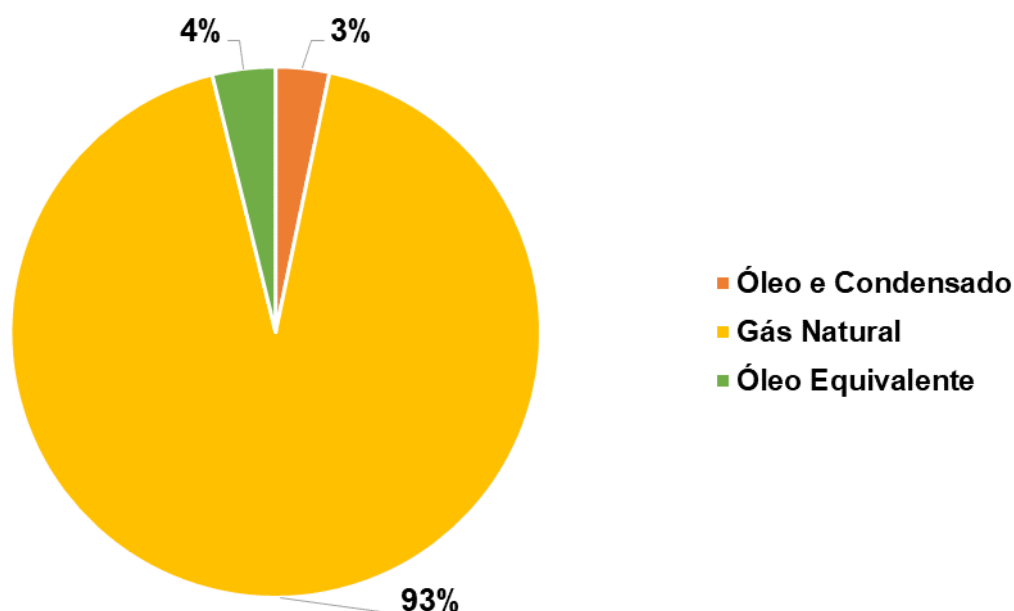


Figura 1. Reservas provadas de petróleo no Brasil (ANP, 2017).

Para o consumo mundial de petróleo, houve a totalização de 98,2 milhões de barris/dia, após aumento de 1,8% (1,7 milhão de barris/dia) em comparação a 2016, acima da média de crescimento de 1,1% dos últimos 10 anos. (ANP, 2017).

Seguindo o padrão de consumo, as reservas provadas de petróleo no final de 2017 são suficientes para atender a 50 anos de produção global, porém não se leva em consideração as tendências de crescimento no consumo, tampouco novas

reservas que possam ser descobertas. Salienta-se ainda que 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 81% (IEA, 2018).

No entanto, Bluhm et al., (2012) revelam que se deve observar com cautela que tais estimativas não são confiáveis e devem ser cuidadosamente consideradas na projeção do suprimento de energia assegurada para o futuro. Essa redução do fornecimento de energia precisa ser aumentada por novos recursos energéticos.

1.2 Matriz energética brasileira

Dados apresentados pelo Ministério de Minas e Energia - MME - explicitam que, em 2016, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequeno crescimento devido particularmente à queda da oferta interna de petróleo e derivados e expansão da geração hidráulica (Figura 2).

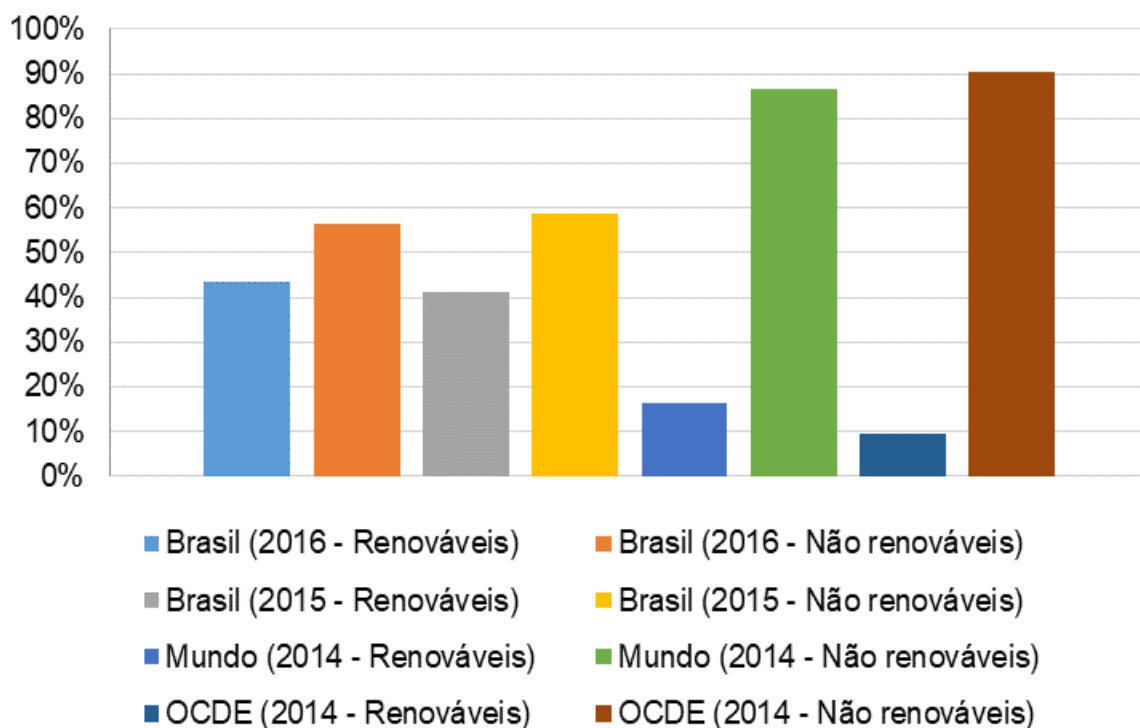


Figura 2. Participação de fontes de energia na matriz energética (EPE, 2017a).

A matriz energética brasileira é bastante diversificada com importante participação de energias sustentáveis. Conforme dados preliminares da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (EPE, 2017a), o Balanço Energético Nacional (BEN) 2017, ano base 2016, revela o quão diversificado é o Brasil quanto à disponibilidade de fontes alternativas de energias limpa ou renovável (Figura 3).

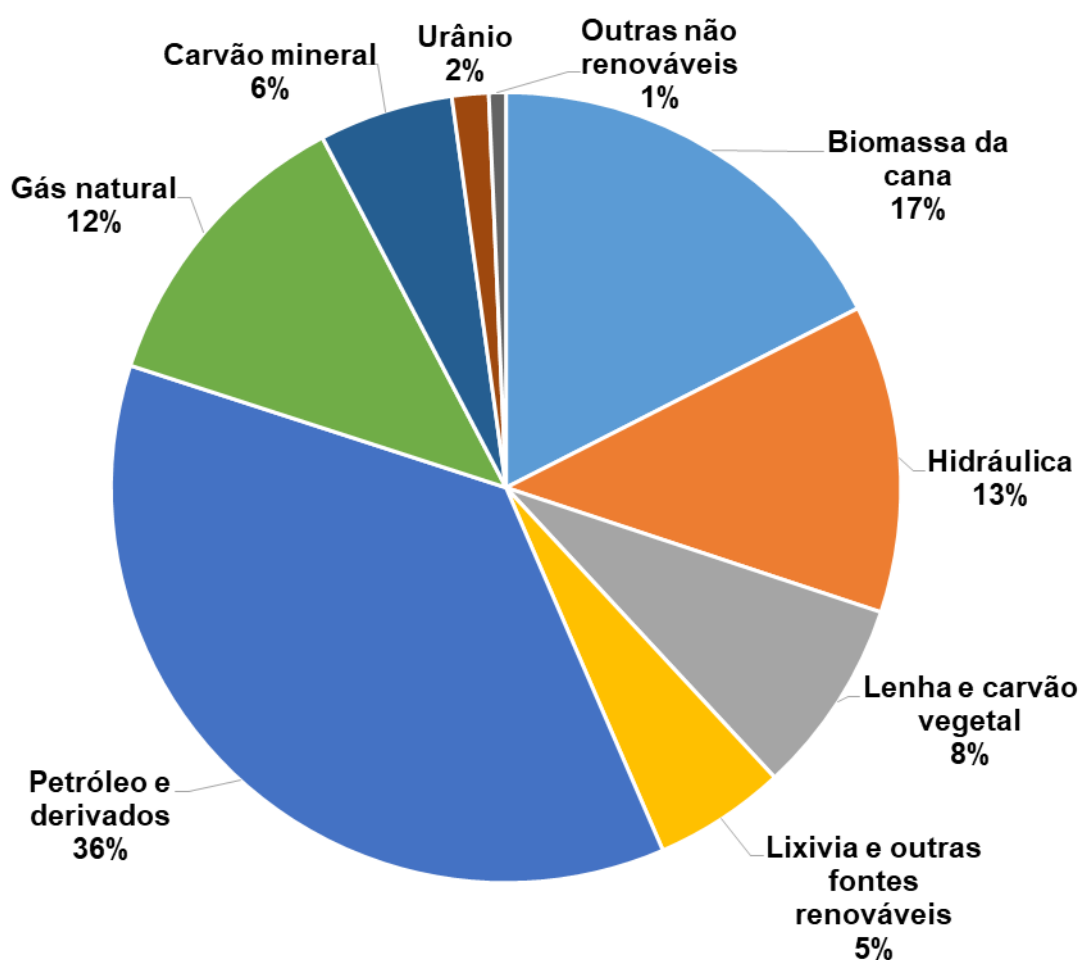


Figura 3. Fornecimento total de energia primária por combustível em 2016 (EPE, 2017b).

A maior parte da energia gerada no Brasil, no ano de 2016, provém dos recursos renováveis da biomassa de cana (17,5%), usinas hidroelétricas (12,6%), outras fontes renováveis (5,4%) e carvão vegetal (8%). A segunda maior (36%) fonte de energia é de origem fóssil, representada pelo petróleo e seus derivados. Gás

natural (12,3%), carvão mineral (5,5%), urânio (1,5%) e outras não renováveis (0,7%) 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 pelo Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE-2026) desenvolvido pela EPE. Tal plano aponta que as fontes renováveis terão uma participação na matriz brasileira de 48% em 2027. Desse total destaca-se a expansão esperada de 11,8 GW para a energia eólica e de 7 GW para a energia solar, indicando a importância da bioenergia brasileira (EPE, 2017b).

Derivados de petróleo são de extrema importância para o Brasil, sendo assim fortemente dependente desses recursos não renováveis. O óleo diesel mineral é a principal fonte utilizada para o transporte de cargas pesadas no País e, apesar de seu consumo potencial ser reduzido com o aumento da participação do biodiesel no óleo diesel comercializado, ainda ganha importância entre os derivados de petróleo com crescimento médio anual de 1,6% (EPE, 2017b). Dados estatísticos do Balanço Energético Nacional, apresentado pelo Ministério de Minas e Energia (EPE, 2017b), o óleo diesel atende aproximadamente a 43,9% do setor de transportes de cargas e pessoas no País (Figura 4).

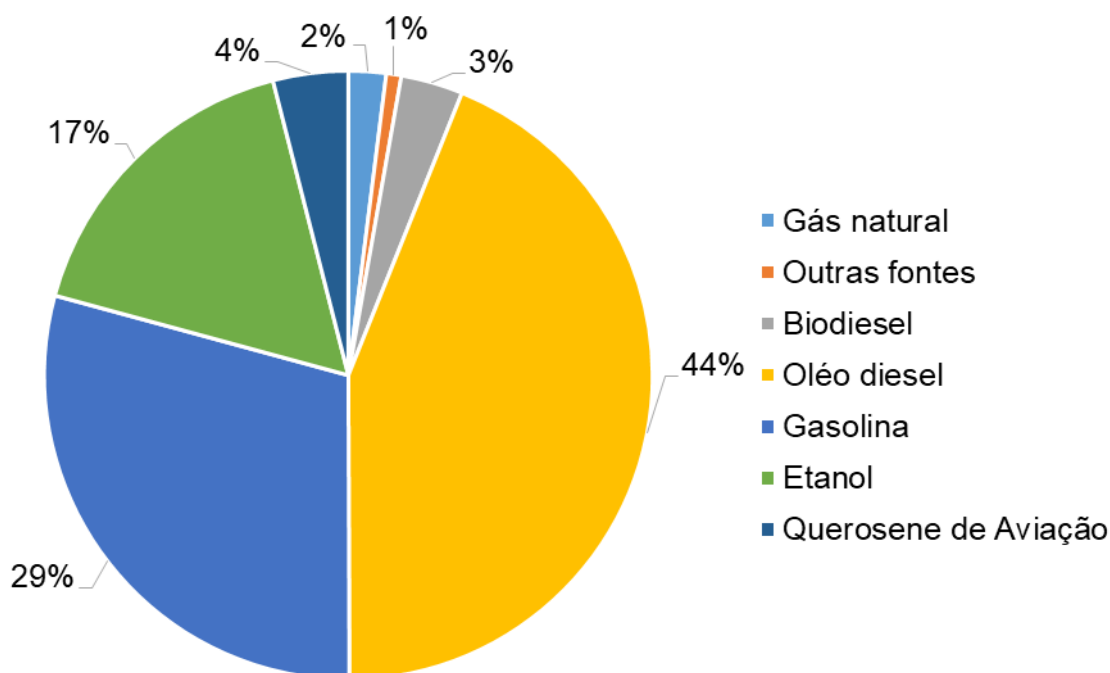


Figura 4. Consumo de energia nos transportes – matriz.

No âmbito nacional, de acordo com a Resolução ANP n. 50/2013 (ANP, 2013), o diesel é caracterizado como sendo combustível líquido derivado de petróleo, composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e, em menor proporção, nitrogênio, enxofre e oxigênio. É utilizado principalmente nos motores ciclo diesel (de combustão interna e ignição por compressão). Os três tipos de óleo diesel 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 S500 e B S500**: contendo no máximo 500 mg kg^{-1} de enxofre;

c) **Óleo diesel A S1800 e B S1800**: contendo no máximo 1.800 mg kg^{-1} de enxofre.

Destaca-se que o óleo diesel (S10 e S500) é destinado ao uso rodoviário para veículos automotivos, máquinas agrícolas, máquinas de construção e máquinas industriais. O óleo diesel S1800 de uso não rodoviário é destinado ao uso de mineração a céu aberto, transporte ferroviário e geração de energia elétrica (outorgado pela ANEEL como produtor independente de energia ou serviço público) e o óleo diesel marítimo DMA/DMB é destinado a embarcações (ANP, 2018a).

É importante ressaltar que a introdução do diesel B S10 foi motivada 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, 2018). Portanto, para o ano de 2018, por meio da Lei n.13.263/16, o percentual obrigatório do biodiesel misturado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final é de 10% (B10). Regra essa estabelecida pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 8% para 10% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel (ANP, 2018b).

Tomando-se como base o pressuposto da crescente preocupação da substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia aliada às preocupações da sociedade com a preservação ambiental, aumenta a busca por combustíveis alternativos renováveis e sustentáveis, a fim de substituir gradualmente os combustíveis fósseis (Dabaja et al., 2018, Faria et al., 2018). Melo (2018) revela que o Brasil tem grande potencial para produzir biomassa devido às condições de solo, clima, extensão territorial e biodiversidade. A fim de atender essa demanda, surge o biodiesel, que é caracterizado como combustível originado de fontes renováveis, sendo uma alternativa viável no curto e médio prazos.

1.3 Biodiesel: Matéria-prima e produção do biodiesel

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 (Majewski e Jääskeläinen, 2009; Fontana, 2011).

O Brasil é pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, tendo posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo. Sendo o terceiro país com maior produção de Biodiesel no mundo, somente atrás dos Estados Unidos e Alemanha (ANP, 2018c).

Dentre os combustíveis renováveis encontra-se o biodiesel que é caracterizado como combustível oxigenado que contém 10-15% de oxigênio (Knothe e Razon, 2017), o qual abrange uma gama de combustíveis alternativos que podem ser obtidos a partir de óleos oriundos de partes vegetativas (amêndoa, semente, polpa), bem como de gorduras de origem animal (Narwal et al., 2015; Sorate e Bhale, 2015).

A atratividade do biodiesel como alternativa ao combustível convencional inclui compatibilidade desse combustível em motores ciclo diesel sem qualquer modificação, renovabilidade, maior eficiência de combustão, menor teor de enxofre, maior índice de cetano, maior biodegradabilidade, menor emissão de gases de escape (CO_2 , HC, CO, PM e NO_x) e miscibilidade com óleo diesel em todas as proporções de mistura (Kang et al., 2015, Soriano et al., 2015, Agarwal et al., 2017; Chuah et al., 2017).

Segundo estimativas apresentadas ANP, 2018c, em 2016, a capacidade nominal para a produção de biodiesel (B100) no Brasil era de aproximadamente 7,4 milhões de m^3 (20,5 mil m^3/dia). Entretanto, a produção nacional foi de 3,8 milhões de m^3 , o que correspondeu a 51,3% da capacidade total. Em comparação a 2015, a produção de biodiesel foi 3,5% inferior. Com exceção da Região Sul, cuja produção aumentou 2,9% no período, foram registradas quedas nas regiões Nordeste, Sudeste, Norte e Centro-Oeste de 3,2%, 13,9%, 41,2% e 5,8%, respectivamente. Na Figura 5, é apresentada a evolução da produção de biodiesel (B100) – Ano 2007 a 2016.

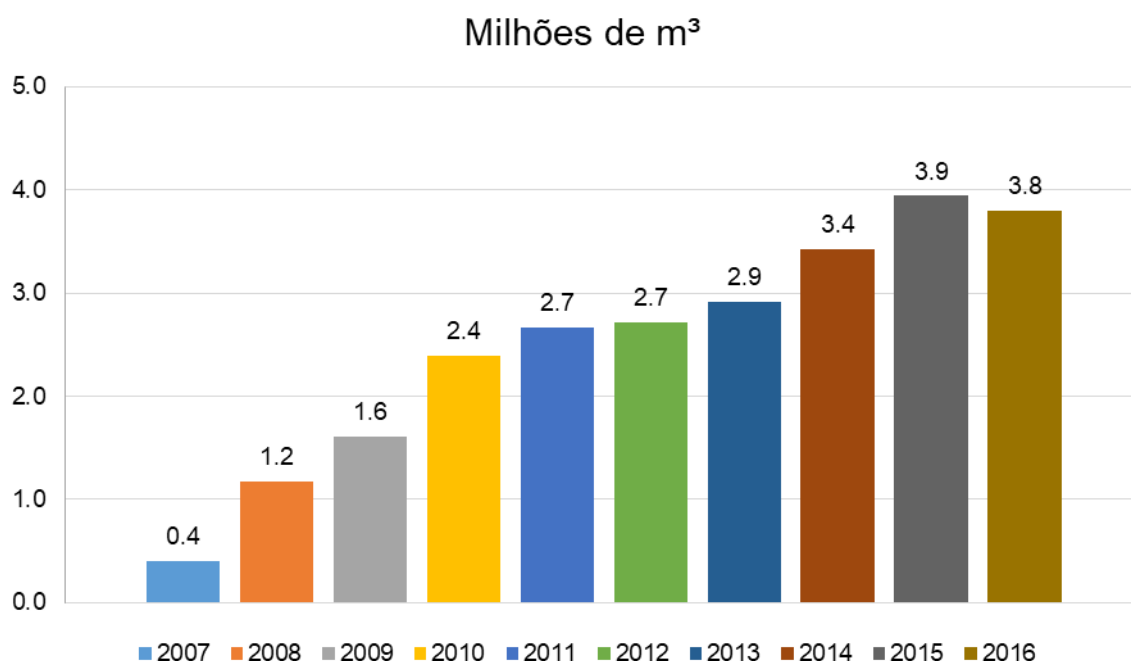


Figura 5. Produção de biodiesel (B100) – Ano 2007 a 2016 (Adaptado de ANP 2018c).

Dentre as fontes autorizadas para produção de biodiesel, a soja continua sendo a oleaginosa mais utilizada (B100), equivalente a 79,1% do total, com queda de 1,3% em relação a 2015. A segunda matéria-prima no *ranking* de produção das usinas foi a gordura animal (16,3% do total), após redução de 15,8% em relação a 2015, seguida pelo óleo de algodão (1% do total) e outros materiais graxos com 3,5% de participação (ANP, 2018d).

Atualmente no ano de 2018, existem 51 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total 22.870,02 m³/dia. Há ainda duas novas plantas de biodiesel autorizadas para construção e duas plantas de biodiesel autorizadas para 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 2.305 m³/dia, o que representa um acréscimo de 10,08% na capacidade atual (ANP, 2018d). Na Figura 6, ilustram-se a capacidade nominal e a produção de biodiesel (B100), segundo grandes regiões do Brasil (mil m³/mês).

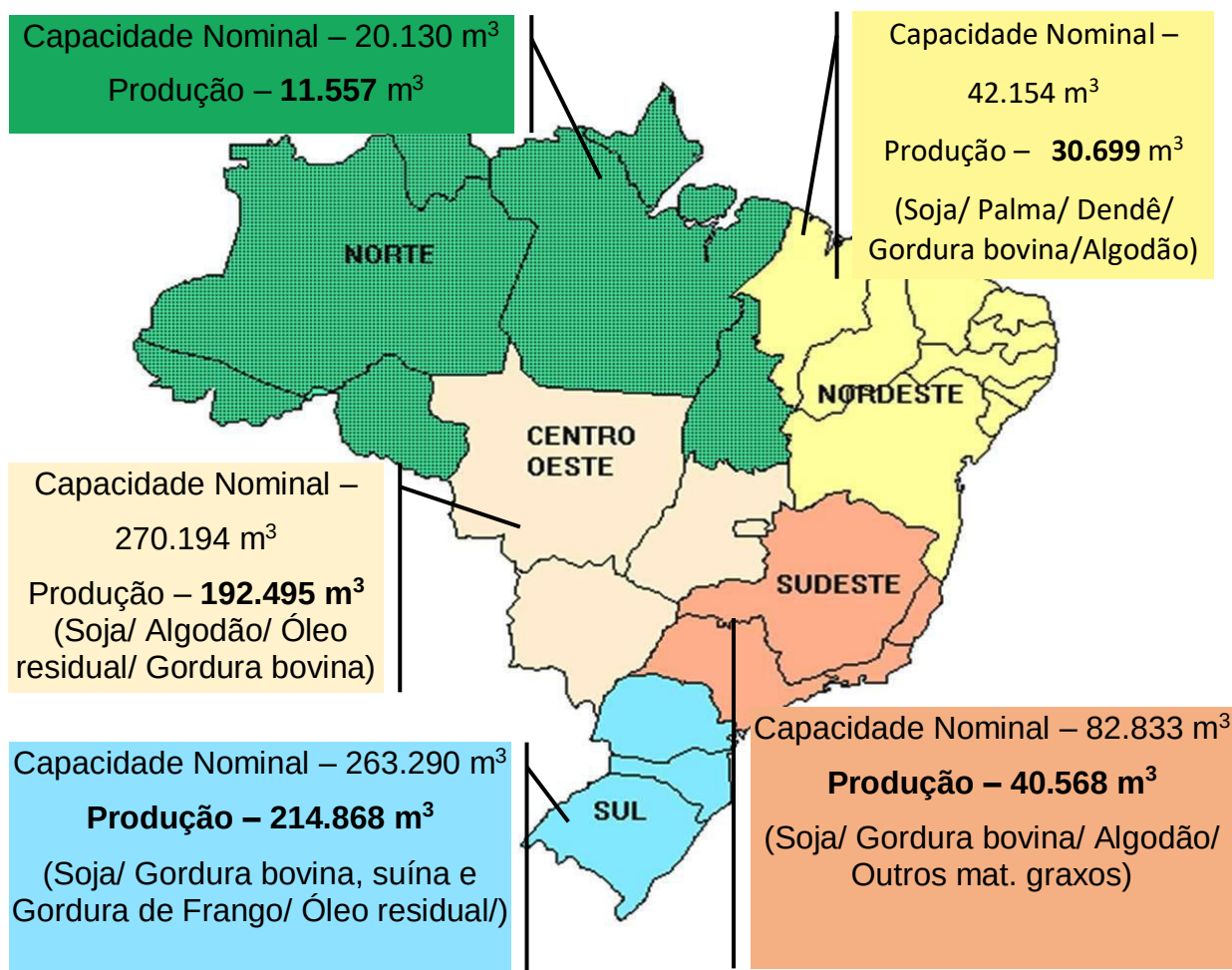


Figura 6 - Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100 - mil m³/mês) por região brasileira (Adaptado de ANP, 2018b).

Globalmente, há mais de 350 culturas identificadas como matéria-prima com potencial para a indústria de biodiesel (Karmakar et al., 2010; Atabani et al., 2012). No entanto, os óleos vegetais apresentam-se com maior potencial para serem utilizados na produção de biodiesel (Narwal et al., 2015). Para o Brasil, as alternativas de produção de óleos vegetais são diversas, porém o maior desafio é o aproveitamento das potencialidades regionais. Isso é válido tanto para culturas já tradicionais, como a soja, girassol e dendê, quanto para novas alternativas, como as palmáceas nativas (Lima et al., 2017; Mendonça et al., 2018).

A produção e obtenção do biodiesel se dá pela reação de transesterificação, pois segundo McNeil et al. (2017) revelam que as gorduras de origem animal e vegetal possuem viscosidade superior e volatilidade menor em relação ao óleo

diesel, dessa forma o processo químico da transesterificação é uma das alternativas mais usadas atualmente para a redução da viscosidade, pois caso a gordura bruta (animal/vegetal) venha a ser utilizada em motores ciclo diesel, podem interferir no desempenho operacional do motor podendo até danificá-lo.

McNeil et al. (2017) revelam que as gorduras de origem animal e vegetal possuem viscosidade superior e volatilidade menor em relação ao óleo diesel. Portanto, uma das alternativas mais usadas atualmente para a redução da viscosidade é a reação de transesterificação, pois caso a gordura bruta (animal/vegetal) venha a ser utilizada em motores ciclo diesel, podem interferir no desempenho operacional do motor podendo até danificá-lo.

O processo de transesterificação ou reação de alcolise é mundialmente utilizado e consiste na reação que parte de triglicerídeos encontrados em óleos vegetais ou gordura animal, quando em contato com álcool de baixo peso molecular, na presença de catalisador, forma ésteres substituídos e glicerol (resíduo), ou seja, transformação de um éster em outro éster, através da substituição dos grupos (Santana et al., 2016; Knothe e Razon, 2017).

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 e Meneghetti, 2007). Na Figura 7, apresenta-se a reação de alcoólise ou transesterificação de biodiesel.

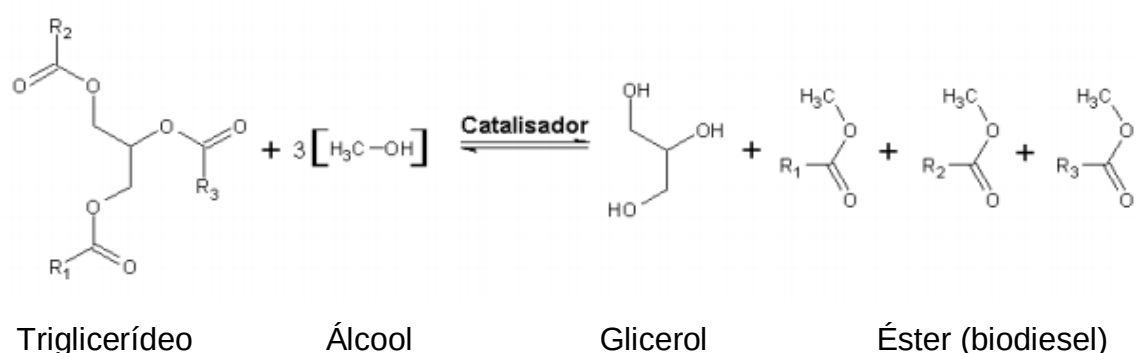


Figura 7. Reação de alcoólise (transesterificação) de um triglicerídeo com alcoóis, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos (Lee et al., 2014).

A 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, que necessita ser realizada em temperaturas elevadas (170 °C). Vale ressaltar que essa reação é uma forma barata para a obtenção do biodiesel (Leung et al., 2010; Shu, 2010).

A reação tem muitas variáveis, o que pode auxiliar ou prejudicar o processo, como o tipo de álcool que deve ser de cadeia curta para melhor conversão, relação molar óleo:álcool, que é diretamente relacionada com o rendimento, porcentagem e tipo de catalisador aplicado, tempo e temperatura de reação que deve ser abaixo do ponto de ebulição do álcool, e a pureza de seus reagentes (Dantas et al., 2011). Portanto, para que o biodiesel seja considerado especificado pela na resolução ANP n. 45, de 25 de agosto de 2014, a reação de transesterificação deve ser completa, ou seja, sem a presença de ésteres de glicerol remanescentes, com alta pureza, sem traços de glicerina, catalisador e excedentes de álcool da reação, além de ter que atender a rigorosas análises (ANP, 2014).

1.4 Propriedades físico-químicas do biodiesel

O biodiesel por ser originado de diversas matérias-primas possui distintas propriedades físico-químicas que podem influenciar no desempenho do motor e nas características de emissão. Para assegurar a implementação bem-sucedida do biodiesel no setor de transporte, várias técnicas de produção de biodiesel foram desenvolvidas e testadas em diversas matérias-primas para que o biodiesel de boa qualidade possa ser produzido a um custo economicamente viável (Agarwal et al., 2017; Knothe e Razon, 2017).

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 (Tabela 1), que estão de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); já as normas internacionais seguem a American Society for Testing and Materials (ASTM), International Organization for Standardization

(ISO) e Comité Européen de Normalisation (CEN), regulamentadas pela ANP. Independentemente da matéria-prima ou da forma de obtenção, para que o biodiesel seja inserido no mercado brasileiro de combustíveis, deve seguir a especificação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014).

Tabela 1. Especificações do biodiesel (B100) no Brasil - ANP n. 45/2014

Características	Unidade	Limite
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio
Massa específica 20°C	Kg/m ³	850 a 900
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0
Teor de água máx.	mg/kg	200,00
Contaminação Total máx.	mg/kg	24
Ponto de fulgor mín.	°C	100,0
Teor de éster mín.	% massa	96,5
Cinzas sulfatadas máx.	% massa	0,020
Enxofre total máx.	mg/kg	10
Sódio + Potássio máx.	mg/kg	5
Cálcio + Magnésio máx.	mg/kg	5
Fósforo máx	mg/kg	10
Corrosividade ao cobre, 3 h a 50°C	-	1
Número de Cetano	-	Anotar
Ponto de entupimento de filtro a frio máx.	°C	19 (Exceto SP, MG, MS, GO, DF, MT, ES, RJ, PR, SC, RS)
Índice de acidez máx.	Mg KOH/g	0,50
Glicerol livre máx.	% massa	0,02
Glicerol total máx.	% massa	0,25
Monoacilglicerol máx.	% massa	0,7
Diacilglicerol máx	% massa	0,20
Triacilglicerol máx.	% massa	0,20
Metanol e/ou Etanol máx.	% massa	0,20
Índice de Iodo	g/100g	Anotar
Estabilidade à oxidação a 110 °C min.	h	6

Ao comparar os componentes presentes no óleo diesel e no biodiesel, verifica-se que o biodiesel não possui uma gama de componentes presentes no diesel. Dentre esses se pode destacar, na maioria dos casos, cinco componentes.

Como exemplo, biodiesel originado de matéria-prima vegetal como a soja possui ésteres metílicos dos ácidos palmítico (10%), esteárico (3%), oleico (26%), linoleico (53%) e linolênico (5%) (Celante, 2017). Dentre as outras diferenças nas propriedades físico-químicas estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Diferenças das propriedades físico-químicas do biodiesel e do diesel

Propriedade	Biodiesel	Diesel
Cinzas (m%)	0,002 - 0,036	0,06 - 0,010
Enxofre (m%)	0,006 - 0,020	0,020 – 0,050
Nitrogênio (m%)	0,002 - 0,007	0,0001 – 0,003
Aromáticos (v%)	0	8 – 38
Índice de Iodo	60 - 129	0 – 38
Poder calorífico (MJ/kg)	34,4 - 45,2	42,0 – 45,9
Ponto de Fulgor (°C)	140 - 240	40 – 98
Viscosidade a 40 °C (mm ² /s)	2,5 - 15,0	2,5 – 5,7
Densidade a 15 °C (kg/m ³)	852 - 922	838 – 872
Ponto de Névoa (°C)	-5 a 26	-17 a -8
Ponto de Entupimento (°C)	-28 a 18	-36 a -30
Número de Cetano	37,6 – 76,7	45 – 55

Fonte: Adaptado de Yusuf et al., (2011) e Sajjadi et al., (2016).

1.4.1 Enxofre

O enxofre é um composto indesejável para qualquer tipo de combustível e está associado à emissão de material particulado, danos à saúde (formação de gases tóxicos como SO₂ - dióxido de enxofre - e SO₃ - trióxido de enxofre), que são resultantes da combustão do combustível. Esse elemento possui ação de corrosão de partes metálicas do motor, atribuídas aos ácidos sulfúricos e sulfônicos formados durante a oxidação do combustível (Lôbo et al., 2009).

O enxofre atribui ao óleo diesel o poder de lubricidade, porém esse combustível possui quantidades consideráveis desse elemento (0,06 a 0,010 (m%)); já o biodiesel possui quantidades muito baixas (0,006 a 0,0020 (m%)), com excelente lubricidade. Dessa forma, o biodiesel pode ser utilizado na substituição do

enxofre como aditivo ao diesel para atuar na correção de lubricidade do óleo diesel. Caso esse que já ocorre com o diesel B S10, que contém 10% de biodiesel em sua composição.

1.4.2 Poder Calorífico

Para as propriedades físico-químicas apresentadas na Tabela 2, uma das mais influente do combustível (diesel/biodiesel) é o poder calorífico (MJ/kg), que 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. Essa propriedade é dividida em poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). O Poder Calorífico Superior (PCS) é aquele que considera o calor de vaporização da água, mais precisamente o PCS compreende a soma da energia liberada por uma unidade de massa seca a 0% de umidade, na forma de calor, e a energia na forma de calor latente de vaporização da água de constituição que é recuperada (Oliveira et al., 2018; Roviero et al., 2018).

Para o óleo diesel é verificado que o poder calorífico varia entre 42 e 45,9 (MJ/kg); já para o biodiesel, verifica-se que o poder calorífico é menor (34,4 a 45,2 MJ/kg) quando comparado com o óleo diesel. Ertaş e Alma (2010) ressaltam que o poder calorífico do biodiesel é, em média, 90% do poder calorífico do diesel, por ter em sua constituição compostos oxigenados.

1.4.3 Viscosidade

A viscosidade é expressa em (mm²/s) 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, refletindo no processo de combustão

(Demirbas, 2008). Dessa forma, os combustíveis devem possuir valores apropriados para funcionar nos motores disponíveis.

A ANP, pela resolução nº 45/2014, especifica valores de viscosidade entre 3 e 6 mm²/s, porém os valores apresentados na literatura revelam que a viscosidade do biodiesel varia entre 2,5 e 15 (mm²/s). Dessa forma, a viscosidade do biodiesel deve ser reduzida pelo processo de transesterificação. Lencina Filho et al., (2018), avaliando biodiesel de algodão em motores ciclo diesel, observaram que o biodiesel de algodão apresentou viscosidade de 5,07 mm²/s, encontrando-se conforme os limites estabelecidos pela ANP.

1.4.4 Densidade

Os tipos de estrutura molecular dos combustíveis têm relação direta com o seu conteúdo energético. Dessa forma, a densidade é um importante parâmetro avaliado nos combustíveis. O óleo diesel possui altas porcentagens de aromáticos, mesmo os aromáticos tendo baixo conteúdo energético, a alta densidade do combustível compensa o déficit energético existente. Os óleos vegetais possuem densidades maiores que o óleo diesel, e com propriedades químicas semelhantes possuem maior conteúdo energético, de modo que o uso desses em motores ciclo diesel aumentará a potência desenvolvida pelo motor (Esteban et al., 2012).

A densidade é uma propriedade físico-química que se altera mediante variações de temperatura, assim como a viscosidade. Manobras de pré-aquecimento de óleos vegetais para a redução da viscosidade diminuem paralelamente a densidade desses combustíveis, o que pode refletir em perdas de potência no motor (Esteban et al., 2012).

1.4.5 Número de Cetano

O número de cetano é adimensional (CN) e 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).

O número adequado de cetano no combustível favorece o bom funcionamento do motor (Alves, 2018). 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 cerca de 28,3% maior do que o do petrodiesel (Tabela 2). O número de cetano médio do biodiesel produzido no Brasil é 60, enquanto para o diesel mineral ocorre variação entre 45 e 55 (Tabela 2).

Karmaka et al., (2010), avaliando biodiesel a partir de óleos de canola, soja, girassol, dendê, amendoim, milho, arroz, gergelim, semente de algodão e mamona, *Neem*, *karanja*, *Mahua*, coco, linhaça, tabaco, gordura animal e *Yellow grease*, foi verificado que o número de cetano aumenta com o aumento da cadeia de ácidos graxos e com o número de saturações.

1.4 Desempenho operacional de máquinas

Percebe-se que para as máquinas mais utilizadas no mundo, estão os tratores, sendo a principal máquina em todas as etapas da produção agrícola (Alonso et al., 2018). Durante a evolução técnica, o trator agrícola assumiu funções de arrastar implementos para o desenvolvimento da terra, produção de culturas, colheita, armazenamento e processamento na agricultura; são, portanto, consideradas as principais máquinas capazes de gerar energia em operações de campo na agricultura. Com a necessidade de evoluir, uma gama de metodologias técnicas, normas e protocolos de fabricantes são exigidos para otimizar o desempenho dessa fonte de energia (Cutini e Bisaglia, 2016)

A avaliação do desempenho de uma máquina é o ato de apreciar qualiquantitativamente seu trabalho durante a execução das operações para as quais foi projetada e construída (Mialhe, 1996).

Define-se o desempenho operacional de uma máquina como o conjunto de parâmetros que determinam seus atributos quando executa operações sob determinadas condições de trabalho. Esses parâmetros podem estar associados a

características operacionais, como a quantidade de trabalho, e a características dinâmicas, relativas à potência requerida e à velocidade em que o trabalho é executado (Balastereire, 2000), sendo medido em termos de potência máxima / torque gerado pelo motor a uma determinada velocidade, em que são observados consumo de combustível e eficiência de conversão de combustível em trabalho e potência útil (Agarwal et al., 2017).

Para avaliar o desempenho operacional de tratores agrícolas são mensurados força de tração, consumo horário de combustível, consumo específico e velocidade de deslocamento (Mialhe, 1996). Contudo, mensurar a quantidade de combustível consumida é importante para estimar o rendimento do motor e avaliar o desempenho do trator (Damanauskas et al., 2015). É conveniente mensurar que para a atividade realizada no campo, a capacidade de tração de um trator depende dos seguintes fatores: massa do trator, área de contato entre pneus de tração e a superfície do solo, pontos de engate, tipo de implementos montados e outros sistemas relevantes (Alonso et al., 2018; Battiato e Diserens, 2013).

Dentre os fatores que influenciam diretamente no desempenho operacional de motor/máquina, está o tipo de combustível utilizado. No caso do biodiesel, quando utilizado como combustível em motores ciclo diesel, o desempenho operacional do motor é fortemente influenciado, tendo interferência direta no torque, na potência, no consumo específico, nas emissões, na eficiência térmica, no desgaste de órgãos do motor/sistema de injeção e na degradação do óleo lubrificante (Sonar et al., 2015; Agarwal et al., 2017).

Dessa forma, estudos que abordem possíveis fontes de combustíveis e desempenho operacional visando o uso de forma racional e com melhor eficiência são de extrema importância. Fiorese et al., (2012) afirmaram que é necessário prudência na aplicação dos combustíveis alternativos em motores diesel, e os ensaios de desempenho em tratores devem ser realizados com o motor em plena carga, diretamente pelo volante do motor ou pela tomada de potência (TDP).

Em estudo conduzido por Iamaguti (2017), ao aferir o desempenho operacional de trator agrícola, operando com seis proporções de mistura de biodiesel de soja e murumuru, combinados com sete rotações do motor, concluiu que houve interação significativa para a potência na barra de tração, tendo os

consumos horário volumétrico e ponderal o mesmo comportamento, com menores consumos representados quando utilizadas maiores proporções de biodiesel de murumuru/soja.

Bomfati (2018), avaliando o desempenho de motor do ciclo Diesel utilizando óleo de crambe puro pré-aquecido como combustível, verificou que, em média, em todos os regimes de trabalho do motor houve diferença significativa entre os consumos, sendo que o consumo de óleo de crambe foi superior ao diesel e a diferença foi mais expressiva nos ensaios sob carga, devido ao menor poder calorífico do óleo de crambe. Porém, os valores de perda de potência relativa do crambe foram superiores a do diesel, exceto para a condição de inserção da maior carga, em que o óleo de crambe apresentou desempenho superior. Leite (2018), ao verificar o desempenho e emissões de um conjunto motor-gerador diesel operando com combustíveis a base de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe em mistura com diesel, apontou que as misturas do diesel convencional (B8) com óleo vegetal de soja, linhaça e crambe, em concentrações de até 30%, apresentam-se como uma alternativa técnica eficaz na substituição parcial do diesel convencional, com redução nos níveis de emissões e manutenção de desempenho do conjunto motor-gerador.

Tomando-se por base a literatura disponível e as pesquisas relacionadas ao uso de biodiesel em motores ciclo diesel, pressupõe-se que o tipo de combustível utilizado (diesel ou biodiesel), bem como a proporção de mistura tenha interferência sob o desempenho operacional de motores/tratores.

Neste contexto, alinhado com a questão da sustentabilidade ambiental, desenvolvimento social, potencial agrícola brasileiro e a busca por novas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel, esta pesquisa mitigou o potencial de palmeiras brasileiras (babaçu, buriti e tucumã) em produzir óleo bruto para a obtenção de biodiesel. Foi avaliado também o desempenho operacional de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, buriti e tucumã) em proporções de mistura com diesel B S50.

1.4 Referências

Agarwal AK, Gupta JG, Dhar A. (2017). Potential and challenges for large-scale application of biodiesel in automotive sector. **Progress in Energy and Combustion Science** 61:113–149.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP nº 50/2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 30 Agost. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP Nº 45, DE 25 agosto de 2014**. 2014. 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: 5 set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2017**. 2017 Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>> Acesso em: 3 Set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Óleo diesel**. 2018a. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 30 Agost. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Legislação – biodiesel**. 2018b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=53930&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1419273680769>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2018**. 2018c. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 10 agost. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel, Fevereiro de 2018**. 2018d. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Mensal_Producao_Petroleo_Gas_Natural/Boletim-Producao_julho-2018.pdf>. Acesso em: 4 Set. 2018.

Alonso DJC, Volpato CES, de Oliveira Faria R, Martins VRB, Possato LA (2018). Influência da lastragem e pressão de insuflagem do pneu de um trator agrícola no

seu consumo de combustível trabalhando em solo umido. **Energia na agricultura** 33(2).

Alves, L. **Índice de cetano**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/indice-cetano.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Atabani AE, Silitonga AS, Badruddin IA, Mahlia TMI, Masjuki HH, Mekhilef SA (2012) comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16(4) 2070–2093.

Balastreire LA (2000) O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil. Piracicaba: São Paulo.

Battiato A, Diserens E (2013) Influence of tyre inflation pressure and wheel load on the traction performance of a 65 kW MFWD tractor on a cohesive soil. **J. Agric. Sci.** 5(8):197–215.

Bluhm K, Heger S, Seiler TB, Hallare AV, Schäffer A, Hollert H (2012) **Toxicological and ecotoxicological potencies of biofuels used for the transport sector - a literature review.** **Energy Environ Sci**, 5: 7381-7392.

Bomfati BM (2018) **Desempenho de motor diesel com óleo vegetal de crambe (*Crambe abyssinica hochst*) pré-aquecido**. 76 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

Câmara GMS (2006) **Biodiesel Brasil - estado atual da arte**. 2006. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/biodiesel_brasil.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2018.

Chuah LF, Klemes JRJ, Yusup S, Bokhari A, Akbar MM (2017) Uma revisão de tecnologias de intensificação mais limpas na produção de biodiesel. **Journal of Cleaner Production** 146:181-193.

Cutini M, Bisaglia C (2016) Development of a dynamometric vehicle to assess the drawbar performance of high-powered agricultural tractors. **Journal of Terramechanics** 65:73– 84.

Dantas MB, Albuquerque AR, Barros AK, Rodrigues Filho MG, Antoniosi Filho NR, Sinfrônio FSM, Rosenhaim R, Soledade LEB, Santos IMG, Souza AG (2011) Evaluation of the oxidative stability of corn biodiesel. **Fuel** 90: 773-778.

Dabaja MZ, Bizzo BdeM, Pereira EB (2018) Síntese de biodiesel a partir do óleo de açaí empregando lipase comercial imobilizada em suporte de baixo custo. **Revista da Universidade Vale do Rio** 16(2).

Damanauskas V, Janulevicius A, Pupinis G (2015) Influence of extra weight and tire pressure on fuel consumption at normal tractor slippage. **J. Agric. Sci.** 7(2):55- 67.
Demirbas A (2008) Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. **Fuel** 87(8-9) 1743-1748.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. 2017a. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 30 Agost. 2018.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. Ministério de Minas e Energia. **Plano decenal de expansão de energia**. 2017b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 30 Agost. 2018.

Ertas M, Alma MH (2010) 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** 88 (1):2–29.

Esteban B. et al. (2012) Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. **Biomass And Bioenergy** 42:164-171.

Faria D, Santos F, Machado G, Lourega R, Eichler P, Souza Gde, Lima J. (2018) Extraction of radish seed oil (*Raphanus sativus* L.) and evaluation of its potential in biodiesel production **AIMS Energy** 6(4):551-565.

Fiorese DA, Dallmeyer AU, Romano LN, Schlosseri JF, Machado PRM (2012) Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. **Ciência Rural** 42(4):660-666.

Fontana JD (2011) **Biodiesel**: para leitores de 9 a 90 anos. Curitiba: UFPR, 2011. p. 117-144.

Giakoumis EGA (2013) statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation. **Renewable Energy**, 50:858-878.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY– IEA. World Energy Balances 2018. 2018 Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/2263?filename=world_energy_balances_2018_overview.pdf> Acesso em: 3 Set. 2018.

Iamaguti PS (2017) **Desempenho operacional do trator agrícola com proporções de biodiesel**. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

Karmakar A, Karmakar S, Mukherjee S (2010) Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. **Bioresource Technology** 101(19):7201–7210.

Kang X, Guo X, You H (2015) Biodiesel Development in the Global Scene. **Energy Sources** 10(2):155–161.

Knothe G, Razon LF (2017) Biodiesel fuel. **Progress in energy and combustion science** 58:36-59.

Lee KT, Lim S, Pang YL, Ong HC, Chong WT (2014) Integration of reactive extraction with supercritical fluids for process intensification of biodiesel production: Prospects and recent advances. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford 45:54-78.

Leite D (2018) **Desempenho e emissões de motor gerador operando com blendas de diesel/óleo de soja, diesel/óleo de linhaça e diesel/óleo de crambe**. 70 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de energia e agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

Lencina Filho PSD, Araújo RFAd, Campanholi W, Silveira LC, Fiorese DA (2018) Avaliação de um grupo gerador operando com biodiesel do óleo bruto de algodão. IN: 1º Simpósio mato-grossense de mecanização agrícola e agricultura de precisão – SIMAP, 2018. Mato Grosso. **Anais ...** Mato Grosso: UFMT, 2018. p.1-4.

Leung DY, WU X, Leung MKH (2010) A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. **Applied Energy** 87(4):1083–1095.

Lima RP, da Luz PTS, Braga M et al (2017) Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) butter and oils of buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.) and pracaxi (*Pentaclethra maculosa* (Willd.) Kuntze) can be used for biodiesel production: Physico-chemical properties and thermal and kinetic studies. **Ind Crops Prod** 97:536–544.

Lôbo IP, Ferreira SLC, Cruz RSda (2009) Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Quím. Nova** 32(6):1596-1608.

Majewski WA, Jääskeläinen H (2009) Biodiesel – mono alkyl esters. **Diesel Net technology guide**. 3. ed. s.l., 2009. p.1. Disponível em: <www.dieseln.net.com>. Acesso em: 4 jul. 2018.

McNeil SJ, Sunderland MR, Leighs SJ (2017) The utilisation of wool as a catalyst and as a support for catalysts. **Applied Catalysis A: General** 541: 120-140.

Melo MCDR (2018) **Políticas públicas brasileiras de biocombustíveis: estudo comparativo entre os programas de incentivos à produção, com ênfase em etanol e biodiesel**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Mendonça IM, Paes OA, Maia PJ, Souza MP, Almeida RA, Silva CC, Duvoisin jr S, de Freitas, FA (2018) New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parameters optimization study. **Renewable Energy** 130:103-110.

Mialhe LG (1996) Máquinas Agrícolas - Ensaio & Certificação. Piracicaba.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Ministério do meio ambiente**. 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 28 agost. 2018.

Narwal SK, Saun NK, Dogra P, Chauhan G, Gupta R (2015) Production and characterization of biodiesel using nonedible castor oil by immobilized lipase from *Bacillus aerius*. **BioMed Research International** 2015:2819-2834.

Oliveira LRAde, Pedroza MM, Paz RRdeS, Silva EMda, Paz EdaCS, Santos MLGdos (2017) Estudo dos produtos da pirólise e potencial energético da fibra de coco da baía In: VII Congresso brasileiro de energia solar 17..., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: ABENS, 2018. p. 1-5.

Roviero, J. P., Freita, L. A., Freita, C. M., Tralli, L. F., Silva, A. F., & Mutton, M. J. R. (2018). Poder calorífico da palha e do bagaço de cana após pré-tratamento e hidrólise. **Ciência & Tecnologia Fatec-JB** 10.

Sajjadi B, Raman AAA, Arandiyan HA (2016) A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: composition, specifications and prediction models. **Renewable and sustainable energy reviews** 63:62-92.

Santana H (2016) Reação de transesterificação de óleo de girassol e etanol para síntese de biodiesel em reator de microcanais: estudos experimentais e de simulação. **Chemical Engineering Journal** 302:752-762.

Shu Q, Gao J, Nawaz Z, Liao Y, Wang D, Wang J (2010) Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbon-based solid acid catalyst. **Applied Energy** 87(8):2589–2596.

Sonar D, Soni SL, Sharma D, Srivastava A, Goyal R (2015) Performance and emission characteristics of a diesel engine with varying injection pressure and fuelled with raw mahua oil (preheated and blends) and mahua oil methyl ester. **Clean Technologies and Environmental Policy** 17(6) 1499-1511.

Sorate KA, Bhale PV (2015) Biodiesel properties and automotive system compatibility issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 41:777–798.

Soriano AU, Martins LF, Ventura ESD, Landa FHTG, Valoni ÉA, Faria FRD, Ferreira RF, Faller MCK, Valério RR, Leite DCA, et al. (2015). Microbiological aspects of biodiesel and biodiesel/diesel blends biodeterioration. **Int Biodeter Biodegr**. 99:102–114.

Suarez PAZ, Meneghetti SMP (2007) 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova** 30(8) 2068-2071.

Yusuf NNAN, Kamarudin SK, Yaakub Z. (2011) Overview on the current trends in biodiesel production. **Energy conversion and management** 52(7): 2741-2751.

Zuniga ADG, Paula MM, Coimbra JSR, Martins ECA, Silva DX, Telis-romero J (2011) Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente** 21: 55-72.

CAPÍTULO 2 – Palmeiras brasileiras para a produção de biodiesel: Babaçu (*Orbignya martiana*, Mart.), Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) e Tucumã (*Astrocaryum vulgare*)

RESUMO – O biodiesel é produzido utilizando-se como matéria-prima os óleos vegetais, a gordura animal e as gorduras residuais. No Brasil, as alternativas de produção de óleos vegetais são diversas, porém o maior desafio é o aproveitamento das potencialidades regionais. Isso é válido tanto para culturas já tradicionais, como soja, girassol e dendê, quanto para novas alternativas, como babaçu, buriti e tucumã. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar e abordar as características das palmeiras que dão origem aos frutos: babaçu, buriti e tucumã, bem como apresentar as propriedades físico-químicas do óleo dessas palmáceas destinado à produção de biodiesel. O trabalho foi realizado no Laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas – BIOEM, pertencente ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia – IPBEN, FCAV/UNESP/Jaboticabal - SP. Destaca-se que a consulta bibliográfica constituiu a base material e a metodológica do Capítulo. O resultado da busca evidenciou que o óleo de babaçu, buriti e tucumã apresentam grande potencial na aplicabilidade da produção de biodiesel, desde que o óleo vegetal esteja conforme a especificação da ANVISA, Resolução n.270/2005, normas de órgãos internacionais (American Oil Chemist's Society – AOCS - e American Society for Testing and Materials – ASTM). Ressalta-se ainda que o aproveitamento das potencialidades regionais como as palmeiras nativas da Amazônia e outras regiões tropicais no Brasil é de grande valia.

Palavras-chave: Óleo vegetal, palmáceas, bioenergia, matriz energética brasileira

2.1 Introdução

O crescente uso de combustíveis fósseis como energia tem levantado preocupações devido à escassez, mudanças climáticas e poluições ambientais geradas pelo uso. Nesse contexto, a intensificação de estudos viabilizam o uso de novas fontes de energia amplamente difundidas. Dentre essas fontes, a biomassa renovável, como o biodiesel, é considerada como uma das alternativas verdes para cumprir parcialmente a crescente demanda de energia e de conservação do meio ambiente (Cremonese et al., 2015).

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, o Brasil tem apresentado forte consolidação com participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, chegando a 43,8% em 2017. Ressalta-se que a participação dessas fontes na oferta interna de energia elétrica para o ano de 2017 foi de 83,3%, enquanto, no mundo, esse indicador é de 24,1% (BRASIL, 2018a).

O Brasil acumula experiência longa e diversificada no âmbito de fontes renováveis, bem como na produção e no uso de biocombustíveis. O marco mais visível é certamente o Proálcool, programa de desenvolvimento do bioetanol como substituto da gasolina, implantado com sucesso em 1975, considerado 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, sob a perspectiva institucional da inclusão social e da redução de disparidades regionais (Santos e Cruz, 2017).

Para o biodiesel, o marco na história desse combustível está diretamente ligado à 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), confere ao biodiesel sustentáculo jurídico na legislação brasileira. Inicialmente foram definidas pelo governo 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” (ANP, 2018).

No território nacional, a mistura de biodiesel obrigatória passou a ser de 3% (julho de 2008), porém em julho de 2009 a mistura foi acrescida para 4%. 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, 2018).

Em 11 de maio de 2012, foi publicada a Resolução ANP n. 14, que estabeleceu 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. Em novembro de 2014, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil continha 7% de biodiesel. Para o ano de 2017, a composição de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor passou para 8% (B8) lei n.13.263/2016 (ANP, 2018).

Para o ano de 2018, por meio da Lei n.13.263/16, estabeleceu-se o percentual obrigatório de biodiesel misturado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final para 10% (B10). Essa regra foi estabelecida pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 8% para 10% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel (Figura 1) (ANP, 2018).

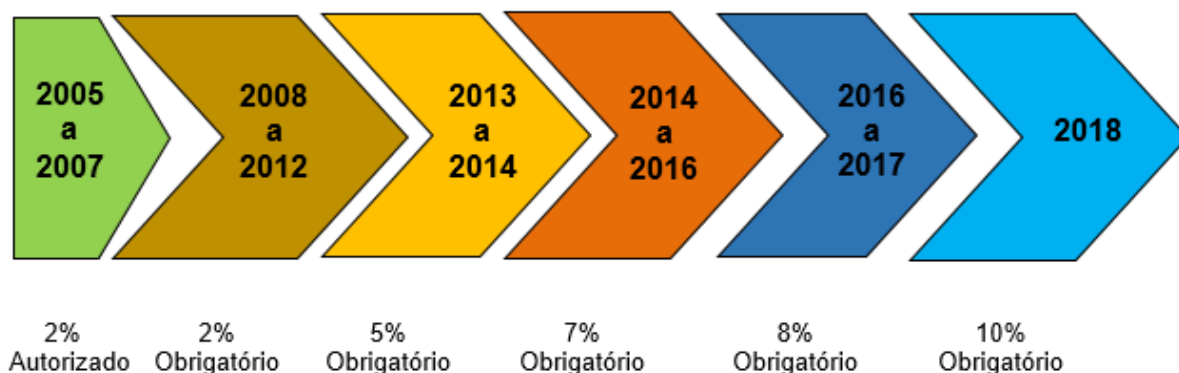


Figura 1. Marco regulatório da mistura de biodiesel no diesel.

O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, porém com o percentual obrigatório do biodiesel misturado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final de 10% (B10), a expectativa é que demanda do

biodiesel cresça em 1 bilhão de litros. A estimativa de consumo é de 5,3 bilhões de litros em 2018 (BRASIL, 2018b). Dessa maneira, a busca por novas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel é de grande valia, uma vez que a produção de biodiesel se encontra consolidada e o consumo em ascensão no País.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar e abordar as características das palmeiras que dão origem aos frutos: babaçu, buriti e tucumã, bem como apresentar as propriedades físico-químicas do óleo dessas palmáceas destinado à produção de biodiesel.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas – BIOEM, pertencente ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia – IPBEN, FCAV/UNESP/Jaboticabal - SP.

A metodologia aplicada para realização deste trabalho foi a meta de análise a fim de desenvolver uma compreensão melhor a respeito das palmeiras (*Orbignya martiana*, Mart.), (*Mauritia flexuosa* L.) e (*Astrocaryum vulgare*), bem como as características de cada palmácea, e as propriedades físico-químicas do óleo dessas palmeiras destinado à produção de biodiesel. Foram levantados materiais bibliográficos a partir de artigos de natureza científica, trabalhos acadêmicos, livros e sites confiáveis. Foram selecionadas as referências bibliográficas de interesse para este estudo, considerando como critérios ocorrência no território brasileiro, cadeia produtiva e as propriedades do biodiesel originado dessas palmáceas. Após a análise de vários artigos e documentos, foi realizada a coleta das principais informações e, em seguida, deu-se início ao processo de construção e elaboração da estrutura textual.

2.3 Resultados e discussão

O biodiesel é produzido utilizando-se como matéria-prima os óleos vegetais, gordura animal e gorduras residuais que são constituídos de compostos de triacilglicerol, ésteres de glicerol e ácidos graxos. No entanto, os óleos vegetais

apresentam-se com maior potencial para serem utilizados na produção de biodiesel (Narwal et al., 2015).

Para o Brasil, as alternativas de produção de óleos vegetais são diversas por se tratar de um País tropical, de grande extensão territorial, porém o maior desafio é o aproveitamento das potencialidades regionais. Isso é válido tanto para culturas já tradicionais, como a soja, girassol e dendê, quanto para novas alternativas, como babaçu (Costa neto, 2017), buriti (Lima et al., 2017) e tucumã (Mendonça et al., 2018).

Tomando-se como base o pressuposto do aproveitamento das potencialidades regionais tropicais, as palmeiras nativas da Amazônia e outras regiões tropicais do Brasil têm sido objeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) por possuírem valiosos recursos vegetais (polpa, palmito, fibras e óleo) com potencial econômico, sendo esses recursos destinados à produção de alimentos, artesanatos, cosméticos, remédios, utensílio doméstico e produção de biodiesel (Costa et al., 2018).

2.3.1 O babaçu (*Orbignya martiana*, Mart.)

Dentre as fontes de matéria-prima para a produção do biodiesel apresenta-se o babaçu, palmeira oleaginosa nativa da América do Sul pertencente à família Arecaceae, membro dos gêneros *Orbignya* e *Attalea*, que está distribuída em grande parte no Nordeste (maior região produtora), no Norte, no Centro e no Oeste do Brasil, mas também cresce no México e na Bolívia (Pizzio, 2015; Araujo et al., 2016).

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 do território brasileiro, com ocorrência concentrada nos Estados do Maranhão, Tocantins e Piauí (Figura 2), na região conhecida como Mata dos Cocais (transição entre Caatinga, Cerrado e Amazônia) (Carrazza et al., 2012).

Estados produtores de amêndoa de babaçu em 2016

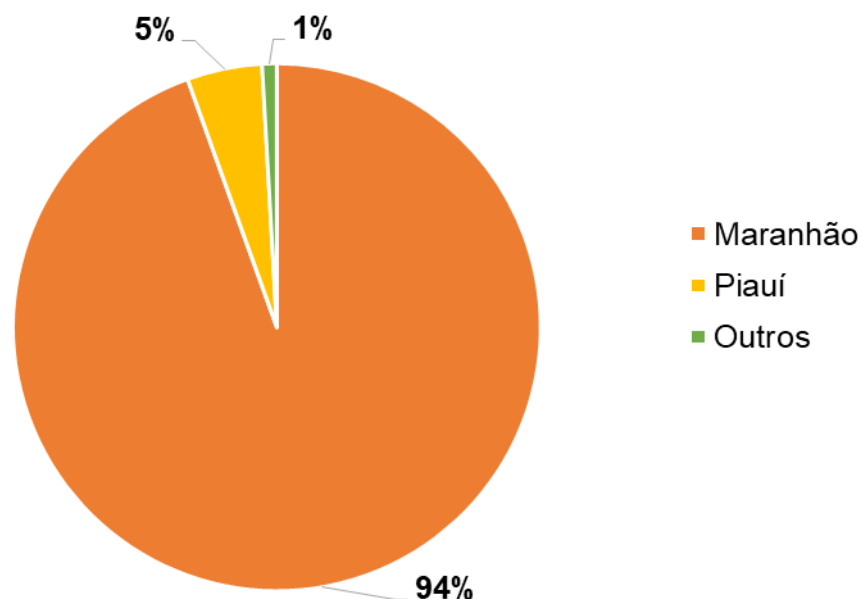


Figura 2. Produção de amêndoas de babaçu por estado brasileiro.

O principal produtor de amêndoa de babaçu no Brasil é o Maranhão (95%). Outros Estados: Piauí (5%), Tocantins (0,2%), Bahia (0,4%) e Ceará (0,2%) têm peso pequeno na produção nacional, todavia com importância relevante na geração de renda de milhares de famílias que sobrevivem dessa atividade. Estima-se que mais de 300 mil mulheres vivam da atividade de quebradeira de coco (IBGE, 2017).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), no ano de 2016, o Brasil produziu cerca de 61 mil toneladas de amêndoa de babaçu, e dessa quantidade o Estado do Maranhão contribuiu com 57 mil toneladas, sendo os municípios maranhenses que mais contribuíram com essa disparidade foram Penalva, Poção de Pedras e Vargem Grande, que movimentaram cerca de 108 milhões de reais. No Maranhão, os meses de coleta vão de julho a dezembro, com seu ápice nos meses de setembro a novembro (Souza et al., 2017).

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 (Mitja et al., 2017). 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 (Figura 3). O pico de florescimento acontece entre janeiro e abril, e os frutos amadurecem entre agosto e dezembro (Carrazza et al., 2012).



Figura 3. Cachos de *Orbignya phalerata*, Mart. (Babaçu) (Novais, 2018).

O babaçu destaca-se como uma das 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 de cosméticos (VINHAL et al., 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 4. 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 (Vieira et al., 2011).

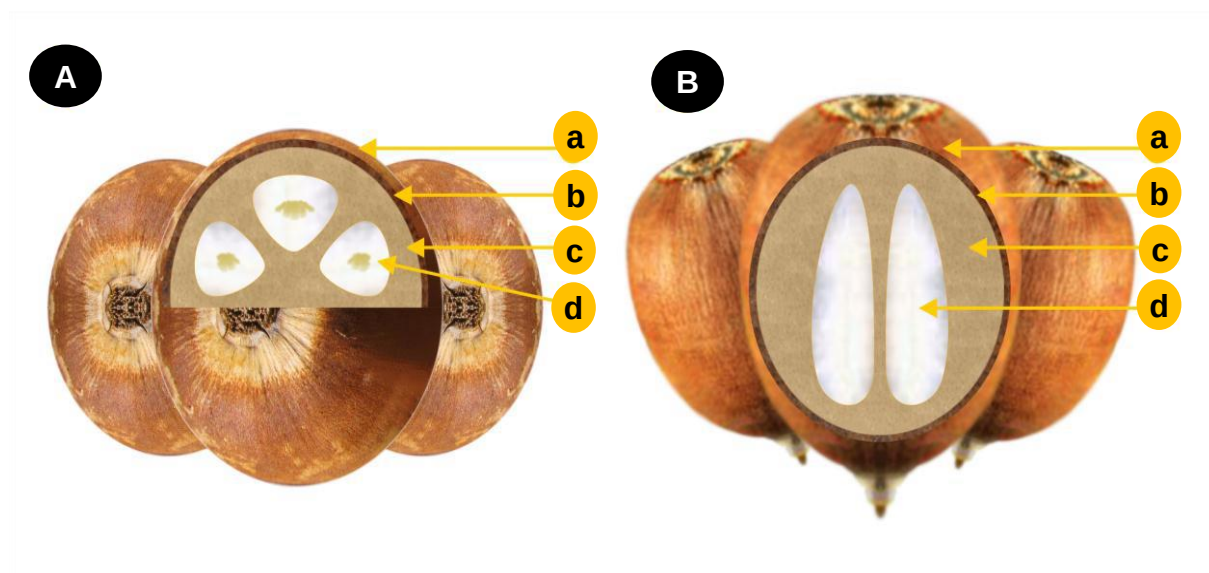


Figura 4. Corte esquemático do coco babaçu com seus principais componentes. (A) Corte transversal. (B) Corte longitudinal. Legenda: a – epicarpo; b – mesocarpo; c – endocarpo, e d – amêndoa (Barros, 2011).

De forma geral, em todas as amêndoas das palmeiras 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, que constitui cerca de 65% da massa da amêndoa (BIODIESELBR, 2018), com composição predominantemente láurica (Tabela 1) (Costa Neto, 2017).

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

Ácido graxo	Contribuição percentual (%)
Ácido caprílico (C8:0)	5,0
Ácido cáprico (C10:0)	6,0
Ácido láurico (C12:0)	44,0
Ácido mirístico (C14:0)	17,0
Ácido palmítico (C16:0)	8,0
Ácido esteárico (C18:0)	4,5
Ácido oléico (C18:1)	4,5
Ácido Linoléico (C18:2)	2,0

(Costa Neto, 2017).

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

2.3.2 O Buriti (*Mauritia flexuosa* L.)

O buriti (*Mauritia flexuosa* L.), pertencente à família Arecaceae, é nativa da América do Sul (Virapongse et al. 2017). No Brasil, é popularmente conhecida pelos nomes de buriti, buriti-do-brejo, carandá-guaçu, itá, palmeira-dos-brejos e miriti. A espécie ocorre com frequência na região Norte e Nordeste, principalmente nos Estados do Maranhão, Piauí, Bahia, Ceará, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais e São Paulo (Barros e Jardine, 2018).

O buriti demonstra potencial significativo para uso comercial em termos de recursos alimentares, produção de fármacos e biocombustíveis (Silva et al., 2018). Do buriti tudo se aproveita; cada parte dessa palmácea possui pelo menos uma utilidade, dentre as quais destacam-se: casca do fruto (óleo e ração para animais), polpa (alimentos e óleo), óleo da casca e amêndoa (fármacos e biodiesel) (Sampaio e Carrazza, 2012; Saraiva e Silva, 2017).

O buritizeiro é uma espécie de tronco simples, cilíndrico e reto, possuindo de 30 a 50 cm de diâmetro e de 20 a 35 m de altura. A quantidade de folhas está entre 20 e 30, com comprimento de 3 a 5 m (Pessôa, 2017). Os cachos de frutos possuem

comprimento de 2 a 3 m, variando de 5 a 8 cachos por planta e o número de frutos por planta pode atingir até 6.000 (Figura 5).



Figura 5. Cachos de *Mauritia flexuosa* L. (Buri) (Live Pharmacy, 2018)

A frutificação ocorre nove meses depois do fim da floração e a maturação dos frutos compreende os meses de dezembro a junho, na maior parte da região dos cocais. Cada palmeira produz entre 40 e 360 kg de frutos e cada fruto pesa em torno de 50 g (Beltrão e Oliveira, 2007; Martins, 2010). Barbosa et al., (2010). Cada fruto é

constituído de 22,07% de pericarpo, 24,25% de mesocarpo, 21,03% de endocarpo e 32,65 de semente/amêndoa (Figura 6).

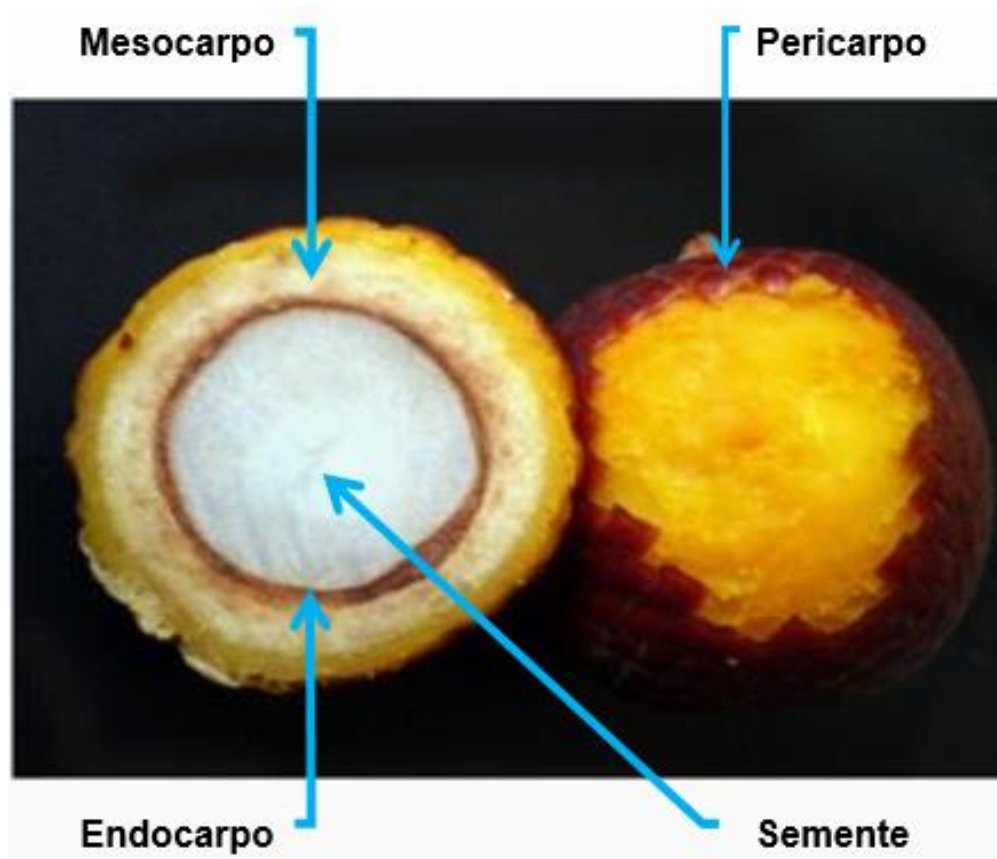


Figura 6. Corte esquemático do fruto do buriti (adaptado de Pessoa, 2017; Silva, 2017)

O óleo extraído da polpa e da casca dos frutos de buriti é composto basicamente de ácidos graxos insaturados, com predominância dos ácidos oléico 75,77% e 70,7%, respectivamente, e de ácidos graxos saturados, com predominância do ácido 16 palmítico, 18,9% e 21,6%, respectivamente, além dos antioxidantes. Contém maior quantidade de ácido oleico que a outras palmeiras oleaginosas, a exemplo do babaçu, dendê, macaúba e muito mais do que a soja (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química em ácidos graxos do óleo obtido da polpa e da casca do buriti.

Ácido graxo	Casca (%)	Polpa (%)
	Darnet et al., (2011)	Sampaio e Carrazza (2012)
Ácido palmítico (C16:0)	18,90	21,6
Ácido esteárico (C18:0)	1,3	0,5
Ácido oléico (C18:1)	75,70	70,7
Ácido Linoléico (C18:2)	2,10	1,3
Ácido Linolênico (C18:3)	1,3	0,2

A cor avermelhada do óleo é outra característica marcante, sendo diretamente relacionada com a concentração de carotenoides caracterizados como um dos melhores antioxidantes naturais, que impedem a oxidação do mesmo (Teixeira, 2018).

2.3.3 O tucumã (*Astrocaryum vulgare*)

Astrocaryum vulgare, popularmente conhecido como tucumã, é uma palmeira pertence à família das Arecaceae, sendo também chamada de tucuma-do-amazonas, tucumanzeiro, tucuma-grande ou tucuma-açu. Essa palmeira é nativa da Amazônia, ocorrendo no norte da Bolívia, na Colômbia, na Venezuela, na Guiana, no Suriname e no Brasil, sendo encontrada principalmente no Estado do Amazonas (Matos et al., 2018).

O tucumã é uma palmeira de grande porte, com tronco simples, cilíndrico e reto, possuindo de 10 a 30 m de altura, sendo sua metade superior coberta por espinhos pretos ou marrons dispostos em anéis. As folhas são longas, semelhantes as do coqueiro, medem de 4 a 5 m, porém com espinhos em todo o seu comprimento. Tem característica de florescer e frutificar durante quase todo o ano. A produtividade da palmeira é de cerca de 12 a 50 kg / ano, que começa lentamente e tardiamente, quando a árvore atinge 7 anos, pelo menos, com altura entre 6 e 9 m.

Os frutos normalmente são elipsóides, alaranjados, podendo pesar de 20 a 100 g, com cor verde-amarelada e comprimento de 4,5 a 6,0 e 3,5 cm a 4,5 cm de diâmetro. (Figura 7) (Chisté e Fernandes, 2016; Matos et al., 2018).



Figura 7. Cachos de *Astrocaryum vulgare* (Tucumã) (Braga, 2018)

A polpa da fruta tem uma coloração que varia do amarelo ao laranja e tem 9% de proteína, 55% de óleo, que representa 22% do peso do fruto. Atualmente o tucumã é consumido pela população amazônica, com o uso de quase todas as plantas. Dentre as partes constituintes do fruto do tucumã, 25% está para o mesocarpo, 29,40% para o epicarpo e 45,60% para o endocarpo (Matos et al., 2018) (Figura 8).

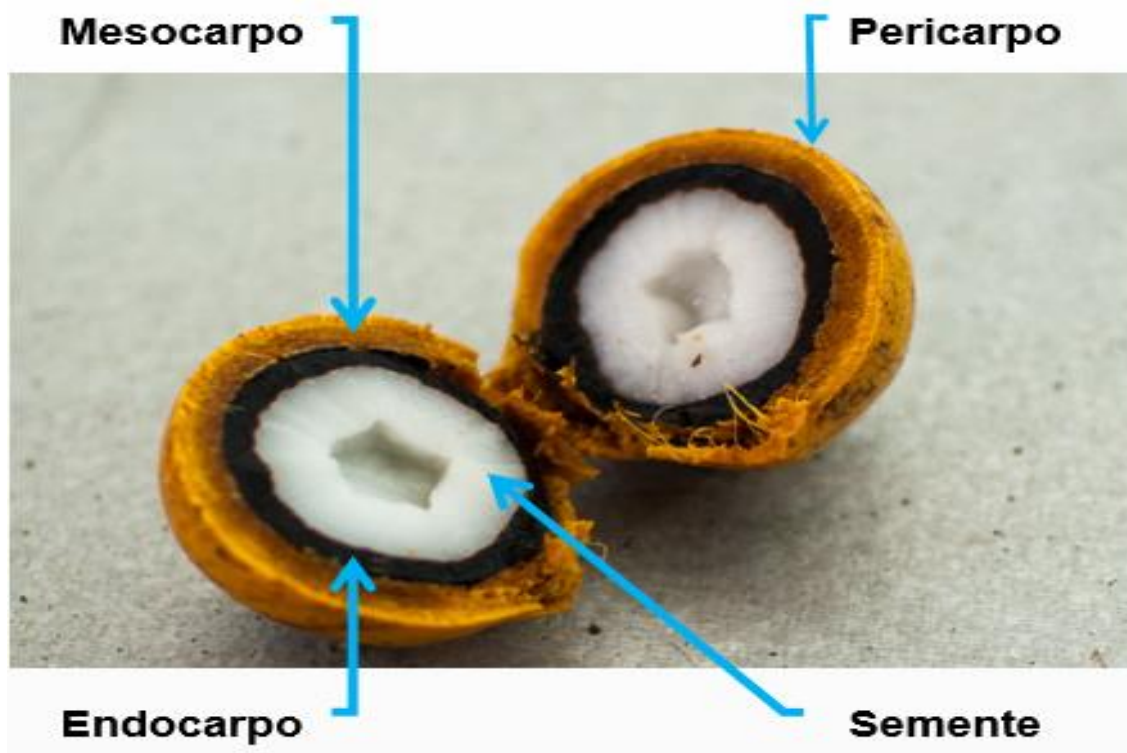


Figura 8. Corte esquemático do fruto do Tucumã (adaptado de Braga, 2018).

Das utilizações do tucumã, a polpa da fruta, que é a parte comestível, é amplamente utilizada para a produção de óleo, vinho, sorvete, picolés, sabão e ração animal. A semente (coco) é usada para a produção de artesanato, como anéis, pulseiras e colares. Além disso, a semente tem sido amplamente utilizada para extrair de 25% a 50% de óleo, com presença de ácidos graxos de cadeia saturada, para ser usado na indústria de cosméticos, de alimentos e na produção de biodiesel porque possui estabilidade oxidativa (BIODIESELBR, 2018; Matos et al., 2018).

Ressalta-se que estudos revelam que a polpa do tucumã apresenta cerca de 80% em sua constituição de carboidratos e lipídios (Tabela 3). Segundo os teores de lipídios determinados, acima de 30% indicam que o tucumã possui bom rendimento em óleo, justificando sua utilização para a obtenção de biodiesel, bem como para outros fins, como cosméticos e alimentícios.

Tabela 3. Composição química em ácidos graxos do óleo de tucumã obtido da polpa.

Ácido graxo	Contribuição percentual (%)
Ácido palmítico (C16:0)	25,7
Ácido esteárico (C18:0)	-
Ácido oléico (C18:1)	65,67
Ácido Linoléico (C18:2)	3,65
Ácido Linolênico (C18:3)	4,97

Amazonoil, 2018a.

Segundo Singh et al., (2018), entre as características químicas desejáveis para o óleo vegetal é a predominância do ácido oleico, que pode ser observado em maiores porcentagens em óleos extraídos de polpas, o que demonstra potencial para novas fontes de óleo “alto-oléico”. Porém para a produção de biodiesel, se faz necessário o conhecimento de propriedades físico-químicas dos óleos vegetais, pois as propriedades do biodiesel dependem da composição do óleo original utilizado para sua produção.

2.3.4 Características físico-químicas do óleo de babaçu, buriti e tucumã para produção de biodiesel

Segundo Silva (2017), para garantir a produção de biodiesel de boa qualidade, se faz necessário a determinação das características físico-químicas do óleo vegetal, uma vez que podem mudar de acordo com a região ou tipo de solo. Embora não exista especificação definida para óleos vegetais destinados à produção de biodiesel no Brasil, considera-se como referência a especificação dos parâmetros gerais definidos pela ANVISA em Resolução n.270/2005 (ANVISA, 2005) (Tabela 4), normas de órgãos internacionais (American Oil Chemist’s Society – AOCS (AOCS, 2018) e American Society for Testing and Materials – ASTM (ANP, 2018; Medina, et al., 2015; Rocha et al., 2017).

Tabela 4. Parâmetros de composição físico-química de óleos vegetais.

Parâmetros	Padrão ANVISA
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	Máximo 0,6
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	245-256
Ácidos graxos livres (%)	5,0
Índice de peróxido (%)	Máximo 10
Índice de Iodo (%)	10-18
Umidade (%)	≤0,5
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	-
Massa específica 20°C (kg/m ³)	0,911 - 0,914
ANVISA (2018)	

Para o óleo de babaçu, as características físico-químicas apresentadas por Silva (2017) revelam que o óleo de babaçu nas condições estudadas possui adequação para a realização do processo de transesterificação e, conseqüentemente, obtenção de biodiesel de babaçu. Na Tabela 5, são apresentadas as características físico-químicas do óleo de babaçu - Silva, (2017).

Tabela 5. Composição físico-química do óleo de babaçu.

Parâmetros	Valores
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,28
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	245,03
Ácidos graxos livre (%)	1,16
Índice de peróxido (%)	4,55
Índice de Iodo (%)	12,31
Umidade (%)	0,15
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	30,23
Massa específica 20°C (kg/m ³)	0,92

De acordo com os ensaios apresentados por Silva (2017), verifica-se que o óleo de babaçu apresenta características aceitáveis para a produção de biodiesel,

com índice de acidez de 0,6 mg KOH/g óleo, índice de saponificação de 245,03 mg KOH/g óleo e teor de umidade 0,15%.

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, esse 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 à oxidação e a baixas densidade e viscosidade devido à composição majoritária de ésteres saturados e de menor massa molecular (Silva et al., 2010).

Para o óleo de buriti (Tabela 6), verifica-se que o índice de saponificação varia de 200 a 246 mg KOH/g, pois pelo fato de o óleo de buriti ser extraído de diversas partes dessa fruta, pode haver variação dos valores dessa característica do óleo (Sampaio e Carrazza, 2012). O índice de saponificação é caracterizado como a quantidade de base necessária para saponificar determinada quantidade de óleo e/ou gordura, sendo também o indicador do grau de deterioração e da estabilidade dos óleos (Suota et al., 2018).

Ressalta-se que o estado de conservação do óleo está intimamente relacionado à natureza, qualidade da matéria-prima, grau de pureza do óleo e com as condições de armazenamento, pois a decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e luz, enquanto a rancidez é quase sempre acompanhada da formação de ácido graxo livre (Ribeiro e Seravalli, 2004).

Tabela 6. Composição físico-química do óleo de buriti

Parâmetros	Valores
Índice de acidez (mg KOH/g)	6,5
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	200-246
Ácidos graxos livres (%)	3,5
Índice de peróxido meq/kg	1,6
Índice de Iodo g I ₂ /100g	68-72
Densidade gr/ltr	0,982
Índice de refração (40°C)	1,46
Ponto de fusão (°C)	25

(Alves et al., 2015; Amazonoil, 2018b)

A forma de extração do óleo contido nas várias partes do fruto é peça chave na obtenção do óleo. A extração pode ser feita por prensa hidráulica por batelada, prensa mecânica contínua e extração por solventes, porém a extração mecânica é tida como mais eficiente, de simples operação e baixo custo (Weiss, 1983). Barroso et al (2013), avaliando a produção e caracterização do biodiesel de óleo de tucumã, verificaram que a extração do óleo por solvente obteve rendimento médio de 32,26%, caracterizada como satisfatória. Para resultados obtidos para índice de acidez foi de 1,26 mg de KOH/g, e de saponificação 93,52 mg de KOH/g para o óleo bruto, assim como para o índice acidez 0,39 mg de KOH/g, e de iodo 29,672 mg/g para o biodiesel. Nesse sentido, o óleo do tucumã, por apresentar índice de acidez inferior a 2 mg KOH/g, dispensou a necessidade de etapas adicionais para a produção de biodiesel, como a degomagem.

Alexandre et al., (2015), avaliando o óleo de tucumã para a produção de biodiesel, verificaram que o biodiesel a partir do tucumã apresentou alto teor de ácidos graxos saturados de baixo peso molecular, e a partir da análise térmica desse biodiesel, os autores sugerem como uso de biocombustível ou como aditivo de combustível em baixas temperaturas. Na Tabela 7, é apresentada a composição físico-química do óleo de tucumã.

Tabela 7. Composição físico-química do óleo de tucumã.

Parâmetros	Valores
Índice de acidez (mg KOH/g)	2,58
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	188,4
Ácidos graxos livre (%)	5,15
Índice de peróxido meq/kg	1,72
Índice de Iodo g I ₂ /100g	82,0
Densidade gr/ltr	0,982
Índice de refração (40°C)	1,4562
Ponto de fusão (°C)	27-35

(Amazon oil, 2018a.)

O conhecimento dos parâmetros físico-químicos dos produtos derivados das palmeiras, em destaque o óleo, é essencial para a devida aplicação e destinação, de forma que possam atender à finalidade desejada, entre as quais está o enquadramento do óleo vegetal no controle de qualidade dos óleos e do biodiesel. Assim sendo, o índice de acidez é uma das principais características que confere qualidade aos óleos vegetais e revela o estado de conservação do mesmo. De acordo com Barroso et al (2013), é considerada como matéria-prima ideal para a produção de biodiesel óleos e gorduras com índice de acidez inferior a 2 mg KOH/g óleo.

Segundo a literatura disponível para o óleo de babaçu (Tabela 5), óleo de buriti (Tabela 6) e óleo de tucumã (Tabela 7), o índice de acidez é 0,28; 6,5 e 2,8 mg KOH/g, respectivamente. Porém apesar do óleo de buriti e de tucumã apresentar alto índice de acidez, estudos comprovam que, por meio da reação de esterificação, tais matérias-primas podem ser adequadas à produção de biodiesel. Dentre os métodos para a produção de biodiesel está o processo de esterificação homogênea ácida de óleos vegetais de baixa qualidade e posterior transesterificação básica, que contribui de forma significativa para a obtenção de biodiesel (Vieira et al., 2018).

Dado também importante é o índice de iodo, que está diretamente relacionado com a estabilidade à oxidação e fornece o teor de insaturação. O índice

de iodo permite estabelecer a temperatura máxima de aquecimento do óleo vegetal, o que resulta na polimerização de glicerídeos; como consequência disso, há um aumento da viscosidade do óleo (Suota et al., 2018). No Brasil, não há exigência quanto aos limites de índice de iodo para o biodiesel, de modo que a legislação vigente solicita apenas a averiguação desse parâmetro (Resolução ANP N° 14 de 11.05.2012) (ANP, 2018).

Conforme Cecchi (2003), o índice de peróxido é um dos métodos mais utilizados para medir o estado de oxidação de óleos e gorduras. Ressalta-se que a degradação oxidativa e a estabilidade à oxidação do óleo ou do biodiesel podem ser avaliadas com o aumento do índice de peróxido (Ferreira et al., 2008)

Foi verificado que as palmeiras de babaçu, de buriti e de tucumã são ricas em óleo e apresentam características físico-químicas desejáveis para a produção de biodiesel, o que sugere potencial oleaginoso. É revelado que essas palmeiras oferecem quantias importantes de óleo na polpa do fruto (mesocarpo), outras na semente e outras em ambos. Tratando-se do óleo do mesocarpo, esse tende a ser rico em ácido oléico (monoinsaturado) e/ou palmítico (saturado).

Tomando por base o potencial agrícola brasileiro e os condicionantes ambientais, torna-se oportuno a utilização de produtos derivados de palmeiras (óleo vegetal) para a obtenção de biodiesel, seja utilizado como aditivo, seja como combustível em motores de combustão interna. Na literatura disponível é revelado que o biodiesel originado de óleo de algumas palmeiras representa relevante alternativa como fonte de matéria-prima; entretanto, muitas pesquisas ainda precisam ser realizadas a fim de que essa possibilidade seja competitiva.

2.7 Conclusões

O Brasil acumula experiência longa e diversificada no âmbito de fontes renováveis por se tratar de um País tropical, de grande extensão territorial, alternativas de produção de óleos vegetais diversas, porém o maior desafio é o aproveitamento das potencialidades regionais como as palmeiras nativas da Amazônia e outras regiões tropicais no Brasil.

Foi verificado que o óleo de babaçu, de buriti e de tucumã apresenta grande potencial na aplicabilidade da produção de biodiesel, desde que o óleo vegetal

atenda às especificações da ANVISA, Resolução n.270/2005, e às normas de órgãos internacionais (American Oil Chemist's Society – AOCS e American Society for Testing and Materials – ASTM).

Na literatura consultada, poucos trabalhos apresentam e comprovam o potencial da utilização do óleo de palmeiras no desenvolvimento de biocombustíveis, bem como as aplicações, fontes de matéria-prima e as recomendações consideradas prioritárias para pesquisas futuras.

2.5 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Legislação – biodiesel**. 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=53930&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1419273680769>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução ANVISA n. 270/2005. Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 de set. 2005. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_270_2005.pdf/c27660a1-b6ac-4a38-aadc-956929c80b7b>. Acesso em: 30 agost. 2018.

Alves WF, Souza MC, Almeida ANS, Oliveira SSO, Ribeiro ILR (2015) Características físico-químicas de óleos essenciais de plantas da região do Vale do Juruá. **Enciclopédia Biosfera** 11(22) 534-546.

Alexandre ECF, Silveira EV, Castro CFS, Sales JF, Oliveira LCSDe, Viana LH, Barbosa LCA (2015) Synthesis: characterization and study of the thermal behavior of methylic and ethylic biodiesel produced from tucumã (*Astrocaryum huaimi* Mart.) seed oil. **Fuel** 161: 233-238.

AOCS – **The American Oil Chemist's Society**. Disponível em: <<https://www.aocs.org/store/shop-aocs>>. Acesso em: 30 agost. 2018.

Araujo FR, Gonzalez-Perez SE, Lopes MA, Viegas IDM (2016) Ethnobotany of babassu palm (*Attalea speciosa* Mart.) in the Tucuruí Lake Protected Areas Mosaic – eastern Amazon. **Acta Bot. Bras.** 30: 193–204.

Amazonoil (2018a) **Óleo tucumã (polpa)- Tucumã (*Astrocaryum vulgare*, *Arecaceae*)**. Disponível em: <http://www.amazonoil.com.br/produtos/oleos/tucuma_polpa.htm> Acesso em 30 agost. 2018.

Amazonoil (2018b) **Óleo buriti - buriti (*Mauritia flexuosa*, *Arecaceae*)**. Disponível em: <<http://www.amazonoil.com.br/produtos/oleos/buriti.htm>> Acesso em 30 agost. 2018.

Barbosa RI, Lima AD, Junior MM (2010) **Biometria de frutos do buriti (*Mauritia flexuosa* L.f. –*Arecaceae*): produção de polpa e óleo em uma área de savanna em Roraima**. **Amazonia: Ciência & Desenvolvimento** 5:71-85.

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

Barroso, LM, Souza, PJFDe, Batista RF, Martins VL, Guimarães AC (2013) Produção e caracterização do biodiesel produzido a partir do óleo de tucumã. In: 6º Simpósio Nacional de Biocombustíveis, 2, 2007, Canoas/RS. **Anais...**

Barros TD, Jardine JG (2018) **Buriti**. In: Ageitec - Agência Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl2vmz02wx5eo0sawqe3flbr6im.html>>. Acesso em 5 jul. 2018.

Beltrão NEM, Oliveira MIP. **Oleaginosas potenciais do Nordeste para a produção de biodiesel**. Documentos, 2007.

BIODIESELBR. **Óleos Vegetais e Biodiesel no Brasil**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/babacu/babacu.htm>>. Acesso em: 6 agost. 2018.

Braga V (2018). **Prosa Rural fala sobre as potencialidades do tucumã**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33036613/prosa-rural-fala-sobre-as-potencialidades-do-tucuma>. Acesso em: 30 agost. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)**. Brasília: MME, 2018a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/objetivos_diretrizes.html>. Acesso em: 10 mar. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Percentual obrigatório de biodiesel passa para 10%**. Brasília: MME, 2018b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/paginainicial/outrasnoticias//asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/percentual-obrigatorio-de-biodiesel-passa-para-10->. Acesso em: 10 mar. 2018.

Carrazza LR, Silva ML, da Ávila JCC (2012) **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012. 63 p.

Cecchi HM (2003) Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 207p.

Chisté RC, Fernandes E (2016) **Bioactive compounds from Amazonian fruits and their antioxidant properties**. L.R. Silva, B.M. Silva (Eds.), natural bioactive compounds from fruits and vegetables as health promoters – Part I, Bentham Science Publishers, United Arab Emirates 244-264.

Costa neto CO (2017) **Obtenção de biocombustíveis por craqueamento térmico e termocatalítico de óleo de babaçu (*orbignya phalerata*) sobre bauxita: um estudo teórico e experimental**. 201 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Ufpi, Teresina.

Costa JMC, Oliveira DM, Costa LEC (2018) Macauba Palm—*Acrocomia aculeata*. **Exotic Fruits** 1:297-304. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00039-3>>.

Cremonez PA, Feroldi M, Feiden A, Teleken JG, Gris D J, Dieter J, Rossi E, Antonelli J (2015) Current scenario and prospects of use of liquid biofuels in South America. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 43: 352–362. Disponível em: <doi:10.1016/j.rser.2014.11.064>.

Ferreira ES, Lucien VG, Silveira CS (2008) Caracterização Físico-Química do Fruto e do Óleo Extraído de Tucumã (*Astrocaryum Vulgare* Mart). **Alimentos e Nutrição (Unesp)**, Araraquara/SP 19(4):427-433.

IBGE, 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Agropecuário**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2233#resultado>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Lima RP, da Luz PTS, Braga M et al (2017) Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) butter and oils of buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.) and pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze) can be used for biodiesel production: Physico-chemical properties and thermal and kinetic studies. **Ind Crops Prod** 97:536–544.

Live Pharmacy (2018) **Dons dárbres Aguaje**. Disponível em: <<http://livepharmacy.eu/fr/dons-d-arbres/aguaje/16/>>. Acesso em: 29 agost. 2018.

Martins ML (2010) **Fenologia, produção e pós-colheita de frutos de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f) em três veredas do cerrado no estado de Goiás**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Matos KAN, Lima DP, Barbosa APP, Mercadante AZ, Chisté RC (2018) Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**.

Medina SP, et al (2015) Caracterização de óleos vegetais de semente de uva e algodão. **Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Sciencies** 36(1).

Mendonça IM, Paes OA, Maia PJ, Souza MP, Almeida RA, Silva CC, Duvoisin jr S, de Freitas, FA (2018) New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parameters optimization study. **Renewable Energy** 130:103-110.

Mitja D, Delaitre E, Santos, AM, Miranda I, Coelho RFR, Macedo DJ, Demagistri L, Petit, M (2017) Satellite image combined with field data reveal negative changes in the distribution of babassu palms after clearing off amazonian forests. **Environ manage** 61(2): 321-336.

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

Nascimento JF, Ferreira EJJ, Regiani AM (2007) Parâmetros biométricos dos cachos, frutos e sementes da palmeira tucumã (*Astrocaryum aculeatum* g. meyer), no estado do Acre, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 5, 2007, Guarapá/ES. Revista Brasileira de Agroecologia. Porto Alegre - RS: Associação Brasileira de Agroecologia 2:1314-1318.

Narwal SK, Saun NK, Dogra P, Chauhan G, Gupta R (2015) Production and characterization of biodiesel using nonedible castor oil by immobilized lipase from *Bacillus aerius*. **BioMed Research International** 2015: 2819-2834.

Novais N (2018). **Cachos de babaçu**. Fortaleza: blogspot - Borboleteando. Disponível em: <http://normanovais.blogspot.com/2011_12_01_archive.html>. Acesso em: 30 jul. 2018.

Oliveira LE, Giordani DS, Paiva EM, Castro HF, Silva MLCP (2013) 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 111:155-160. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-011-2163-8>>.

Oliveira M do SP de, Rios S de A (2014) Potencial econômico de algumas palmeiras nativas da Amazônia. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 6., 2014, Belém, PA. Atuação das ciências agrárias nos sistemas de produção e alterações ambientais: Anais. Belém, PA: Ufra.

Paiva EJM (2010) **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**. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Lorena.

Pessoa PAP (2017) **Avaliação das propriedades do óleo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) e sua aplicação em creme vegetal**. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Pizzo A (2015) Recognition and resilience in the daily life of Babassu Coconut Breakers in the Legal Amazon. **Indian journal of applied research** 5:6.

Ribeiro EP, Seravalli EAG (2004) Química de alimentos. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 194p.

Rocha S M, Rodrigues MTOS, dos Santos Silva D, Moraes-Costa F, Cardoso Filho O, Nunes YRF, Fidêncio P H (2017). Efeito do armazenamento nas propriedades físico-químicas do óleo de *Mauritia flexuosa* L. f.(Arecaceae) oriundas do norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias** 9(1):31-37.

Santos JAD, Cruz CDS (2017) Energias renováveis: potencialidades e desafios da produção de biodiesel na Bahia. **Bahia anál. Dados** 27(1): 230-257.

Sampaio MB, Carrazza LR (2012). **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do buriti (*Mauritia flexuosa*)**. 1. Brasília – DF.

Saraiva LCF, Silva RB (2017) Desenvolvimento de um creme à base de óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Revista da faesf**, 1(1).

Silva FC, Cavalcante KSB, Lourenzo HC, Moura KRM, Maciel AP, Soledade LEB, Souza AG (2010) Production of Biodiesel from Babassu Oil using Methanol-Ethanol Blends. **Eclética Química** 5 (1):47-54.

Silva TSDa et al. (2018) Mapeamento tecnológico e científico do buriti no período de 2005-2015. **Cadernos de Prospecção** 11: 261.

Silva LMSDa (2017) **Avaliação voltamétrica da conversão do óleo de babaçu (*Orbignya phalerata*) em biodiesel**. 102 f. Tese (Doutorado em Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal) Universidade Federal do Maranhão.

Silva DBDa (2018). **Buriti**. Disponível em: < <http://www.todafruta.com.br/buriti/>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

Singh Y, Sharma S, Hatton D, Sutton R (2018) Optimal path planning of. **Indian Journal of Geo Marine Sciences** 47(07):1325-1334.

Souza ECM de, Jesus LSdeJ, Gonzaga LF (2017). **Boletim da Sociobiodiversidade – Amêndoa de babaçu**. Brasília: Conab, 19-22.

Suota MJ, et al. (2018) Evaluation of biodiesel characteristics of alternative sources submitted to differential storage conditions. **Química Nova** 41(6):648-655.

Teixeira SA. (2018) **Filme comestível de galactomanana (*Caesalpinia pulcherrima*) e óleo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) para conservação de alimentos**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) Universidade Federal do Piauí.

Vieira AP, Santana SAA, Bezerra CWB, Silva HAS, Chaves JAP, Melo JCP, Silva Filho EC, Airolti C (2011) Removal of textile dyes from aqueous solution by babassu coconut epicarp (*Orbignya speciosa*). **Chemical Engineering Journal** 173 (2): 334–340.

Vinhal JO, Lima CF, Luiz CA, Barbosa LCA (2014) Analytical pyrolysis of the kernel and oil of babassu palm (*Orbignya phalerata*). **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 107: 73–81. Disponível em: <doi:10.1016/j.jaap.2014.02.005>.

Virapongse A, Endress BA, Gilmore MP, et al (2017) Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. *Glob Ecol Conserv* 10:70–92.

Vieira JSC, et al. (2018) Homogeneous esterification and transesterification of vegetable oils with high free fatty acids content. **Química Nova** 41(1) 10-16.

Weiss EA (1983) Oil seed crops. London; New York: Longman, 660p.

CAPÍTULO 3 – Desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras

RESUMO – Os estudos de utilização de biodiesel em motores ciclo diesel intensificaram-se principalmente no funcionamento de tratores agrícolas. Tais pesquisas possibilitam o maior conhecimento sobre a utilização de energia renovável, já que essas são fontes de energia com grande potencial de exploração, principalmente no Brasil. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, de buriti e de tucumã em proporções de mistura com diesel B S50). Os resultados evidenciaram que o biodiesel originado de palmeiras não comprometeu o funcionamento do motor durante os testes, bem como não apresentou diferença significativa entre os parâmetros potência na barra de tração e velocidade de deslocamento. Porém, o biodiesel de tucumã apresentou maior consumo quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti. Quando avaliado o consumo específico, o biodiesel de tucumã apresentou aumento de 5,7% e 11,31%, quando comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente.

Palavras-chave: palmáceas, *Orbignya martiana*, Mart., *Mauritia flexuosa* L., *Astrocaryum vulgare*, Mat., ensaio com trator, energia renovável.

3.1 Introdução

Motores de Combustão Interna (MCI) são máquinas térmicas largamente empregadas em diversos setores da economia mundial. Em caso específico, a utilização de motores ciclo diesel vão desde a aplicação no uso para transporte de passageiros e cargas, uso industrial no acionamento motriz de máquinas e no uso agrícola (tratores e colhedoras) (Rashedul et al., 2014). Sendo também utilizados na geração de energia distribuída, utilizando motores como elemento motriz de geradores elétricos (grupos geradores), tanto na área rural quanto urbana (Barros et al., 2018). A sua vasta utilização está interligada à eficiência de combustão, confiabilidade, adaptabilidade e custo-efetividade (Karagöz, 2018).

Ressalta-se que, apesar de o motor ciclo diesel desempenhar papel crucial e indispensável no mundo, o mesmo contribui para a poluição pelas emissões de escape que ocasionam efeitos adversos sobre a saúde humana e ao meio ambiente (Bortoleto et al., 2017; Reis et al., 2018). Outro dado importante é a expressiva dependência do petróleo para a obtenção de combustíveis fósseis, o que tem ocasionado aumento do consumo ao longo dos anos, gerando o enfraquecimento das reservas mundiais de petróleo (Patel e Kumar, 2017; Asokan et al., 2018). Esses fatores incentivaram pesquisas sobre combustíveis alternativos, em que se destaca o biodiesel, que pode substituir o óleo diesel total ou parcialmente em proporções de mistura em motores ciclo diesel (Koten, 2018; Rajesh Kumar et al., 2016).

O biodiesel, quando comparado ao diesel convencional, apresenta vantagens na utilização, que são caracterizadas por ser combustível biodegradável, não apresentar enxofre na composição e quando utilizado como combustível em motores ciclo diesel apresenta menor emissão de exaustão geral (toxicidade e opacidade da fumaça). Vantagens também estão relacionadas às características físico-químicas deste tipo de biocombustível, que apresenta maior ponto de fulgor e lubrificação, que por ser oxigenado (contém 10-15% de oxigênio), resulta em combustão mais eficiente (Hasan e Rahman, 2017; Ouanji et al., 2016).

O biodiesel é produzido por meio da transesterificação de óleos (ácidos graxos de origem animal e vegetal) e álcoois de cadeia curta com catalisadores apropriados. Para a produção de biodiesel de primeira geração, são utilizados como

fonte de matéria-prima óleos vegetais comestíveis, como óleo de soja, de colza, de girassol, de amendoim e etc. Porém, a utilização desses óleos comestíveis para a produção de biodiesel pode ocasionar impacto na produção de alimentos, o que motiva a busca por novas fontes de matérias-primas que não tenham interferência sobre o setor alimentício devido à insegurança alimentar (Oliveira e Coelho, 2017), que segundo a FAO (2018), devido à rápida expansão populacional, à mudança climática e à degradação dos recursos hídricos, há risco de não ser possível alimentar toda a população até 2050. Portanto, há ampla pesquisa sendo realizada para aprimorar possível combustível alternativo para o motor a diesel (Asokan et al., 2018).

Para avaliar a viabilidade do biodiesel, torna-se fundamental o conhecimento das características do funcionamento dos motores com o combustível ou mistura dele com diesel, as quais podem ser conhecidas por meio de ensaios de desempenho. Oliveira et al. (2016) avaliaram o desempenho operacional de trator agrícola funcionando com diesel e proporções de biodiesel/diesel, variando a rotação do motor, e verificaram que biodiesel de soja e de murumuru não comprometeram o funcionamento do motor durante os testes, porém houve aumento do consumo específico para todos os tipos de combustível à medida que aumentou a rotação do motor.

Neves (2016) avaliou o desempenho operacional do trator agrícola em operação de preparo de solo operando com vários tipos de biodiesel e proporções de mistura, constatando que as proporções de biodiesel testadas não comprometeram o desempenho do motor durante os testes, bem como os distintos tipos de combustíveis condicionam a diferença no consumo horário volumétrico, consumo horário específico, consumo ponderal, e que diferentes proporções de misturas resultam em consumos distintos, aumentando à medida que se adiciona biodiesel na mistura.

Pressupõe-se que o tipo de combustível utilizado (diesel ou biodiesel), bem como a proporção de mistura tenham interferência sobre o desempenho operacional dos tratores. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel

de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, de buriti e de tucumã em proporções de mistura com diesel B S50).

3.2 Material e métodos

3.2.1 Local do experimento

O trabalho foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Câmpus Jaboticabal – SP, no Departamento de Engenharia Rural, no Laboratório de Biocombustíveis e Ensaio de Máquinas – BIOEM. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, cuja localização geodésica é definida pelas coordenadas 21° 15' latitude sul e 48° 18' longitude oeste, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2 °C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa. 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 (UNESP, 2018).

3.2.2 Solo da área experimental

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

3.2.3 Biodiesel

Foram utilizados três tipos de biodiesel: biodiesel etílico de babaçu (*Orbignya martiana*, Mart.), biodiesel etílico de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) e o biodiesel etílico de tucumã (*Astrocaryum vulgare*). O processo de produção e de fornecimento dos biocombustíveis ficou a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL, da Universidade de São Paulo, USP, Câmpus de Ribeirão Preto, num sistema de parceria com a FCAV/UNESP, Jaboticabal - SP.

3.2.4 Diesel

Foi utilizado o óleo diesel B S50, 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 50 mg kg⁻¹, adquirido na rede comercial da cidade de Jaboticabal – SP.

3.2.5 Tratores utilizados

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

O trator de frenagem - marca Valmet, modelo 118-4, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 82,43 kW (112 cv) no motor a 2.400 rpm, massa total de 7.310 kg, distribuídos 40% e 60%, respectivamente nos eixos dianteiro e traseiro, equipado com pneus 14.9-28 no eixo dianteiro e 23.1-30 no eixo traseiro.

3.2.6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho

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

3.2.6.1 Rotação dos rodados

Foi instalado sensor encoder da marca S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo GIDP-60-U-12V, em cada roda do trator, fornecendo, assim, o número de pulsos individual para as quatro rodas. Esse equipamento tem princípio de funcionamento com base no deslocamento angular, e cada volta completa da roda corresponde a 60 pulsos fornecidos pelo sensor.

3.2.6.2 Velocidade de deslocamento

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

3.2.6.3 Força na barra de tração

A força na barra de tração foi obtida por meio de célula de carga da marca M.Shimitsu, modelo TF 400, com escala nominal de 0 a 100 kN, acoplada à barra de tração do trator, sendo os valores de força obtidos em kN. Para a montagem da célula de carga, utilizou-se de sistema em formato de berço para acomodação e proteção. Tal estrutura foi fixada no trator de teste e teve a função de absorver todo tipo de impacto lateral, vertical, horizontal ou torção que pudesse comprometer a integridade física da célula de carga, provocado por acidentes devido a manobras ou mesmo em paradas bruscas.

3.2.6.4 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado obtendo-se volume e temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora e volume e temperatura do combustível que retorna ao tanque, sendo combustível consumido a diferença entre as duas medidas. A temperatura do combustível medida foi utilizada para a correção da densidade do combustível.

O sistema consiste em dois conjuntos: um para a alimentação da bomba injetora e o outro para o retorno. Cada conjunto contém medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSF41, com precisão de 1% sobre a vazão nominal e vazão máxima de 100 L h^{-1} , e sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100Ω a 0°C), com faixa de medida de -200 a 800°C . Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em mL, e a temperatura, em $^\circ\text{C}$. O sistema conta com três depósitos auxiliares de combustível, permitindo a realização de ensaios com vários tipos de combustíveis sem contaminar o tanque original do trator.

3.2.6.5 Sistema de aquisição de dados

Todos os transdutores e sensores foram alimentados a partir da bateria auxiliar, montada junto ao sistema de aquisição de dados. Os dados referentes ao consumo de combustível, à temperatura do combustível, à força na barra de tração, à rotação dos rodados, à rotação da tomada de potência e à velocidade de deslocamento foram monitorados e armazenados em sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific, modelo Microllogger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz , sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232) para computador, a fim de serem processados.



Figura 1. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa (Lopes, 2006).

3.2.7 Delineamento experimental

O trabalho foi realizado de forma dinâmica em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 3×7 , tendo 21 tratamentos e três repetições, totalizando 63 resultados.

A combinação dos 21 tratamentos foi: três tipos de biodiesel e sete proporções de misturas de diesel e biodiesel. Em todos os tratamentos, as combinações e respectivas designações estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação e designação dos tratamentos.

Tratamentos	Fatores comparativos			Tipo de biodiesel
	Designação	Proporção (%)		
		Biodiesel	Diesel B S50	
T1	B ₀	0	100	Babaçu Etílico
T2	B ₅	5	95	
T3	B ₁₅	15	85	
T4	B ₂₅	25	75	
T5	B ₅₀	50	50	
T6	B ₇₅	75	25	
T7	B ₁₀₀	100	0	
T8	B ₀	0	100	Buriti Etílico
T9	B ₅	5	95	
T10	B ₁₅	15	85	
T11	B ₂₅	25	75	
T12	B ₅₀	50	50	
T13	B ₇₅	75	25	
T14	B ₁₀₀	100	0	
T15	B ₀	0	100	Tucumã Etílico
T16	B ₅	5	95	
T17	B ₁₅	15	85	
T18	B ₂₅	25	75	
T19	B ₅₀	50	50	
T20	B ₇₅	75	25	
T21	B ₁₀₀	100	0	

Para o ensaio de desempenho, cada parcela experimental possuía 40 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 15 m destinado à realização de manobras, ao tráfego de máquinas e à estabilização do conjunto motomecanizado em cada tratamento.

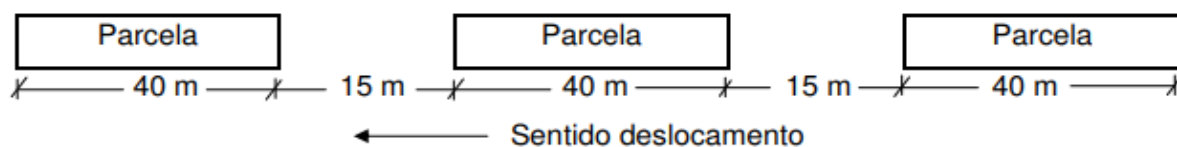


Figura 2. Esquema das parcelas.

3.2.8 Desempenho do trator

3.2.8.1 Escarificador

Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator de teste, foi utilizado um escarificador de arrasto Marchesan, modelo AST/MATIC 5, com massa total de 1.400 kg. Esse equipamento é constituído com cinco hastes espaçadas de 45 cm entre si, ponteira sem asa com 8 cm de largura, discos de corte de palha para cada haste, sistema de segurança de desarme automático e rolo destorroador. A regulagem foi estabelecida para trabalhar à profundidade média de 30 cm e relação espaçamento/profundidade de 1,5.

Em condições de campo, foi realizado um ensaio preliminar também denominado de experimento-piloto, com a finalidade de definir a carga na barra de tração do trator de teste correspondente ao esforço máximo, tecnicamente viável, que o trator de teste pôde tracionar; o ensaio compreendia a operação de escarificação da área experimental a 30 cm de profundidade. A força de tração necessária para realizar essa operação foi mensurada em aproximadamente 23 kN. Devido à grande variabilidade na resistência do solo durante a operação, o escarificador foi substituído por um segundo trator, denominado trator de frenagem.

Para a força mensurada, a patinagem ficou em torno de 10%, conforme recomendada pela ASAE (1997).

3.2.8.2 Uso dos tratores

No momento dos ensaios, o trator de teste operou a 2.000 rpm, com tração dianteira auxiliar (TDA), sendo a velocidade de trabalho conseguida com a

combinação do câmbio 3^a L ($6,06 \text{ km h}^{-1}$). O trator de frenagem foi acoplado ao trator de teste por meio de cabo de aço, formando comboio, e, em virtude da combinação de marchas do trator de frenagem, o esforço na barra de tração foi semelhante à escarificação a 30 cm de profundidade, ressaltando-se que tal carga foi obtida por meio da combinação de marchas do trator de frenagem (4^a L), com tal força sendo de aproximadamente 25 kN. O referido trator foi tracionado, desligado e engrenado, pois a única função era oferecer carga na barra de tração do trator de teste o mais uniforme possível. A dinâmica do ensaio é ilustrada conforme Figura 3.



Figura 3. Dinâmica do ensaio de desempenho (Lopes, 2006).

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

Referente ao ensaio de desempenho, simultaneamente, em cada parcela, o sistema de instrumentação fornecia diretamente:

- Tempo de percurso;
- Velocidade real de deslocamento;
- Força integrada;
- Volume de combustível consumido;
- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora;
- Número de pulsos individual das rodas dianteira direita e esquerda, e
- Número de pulsos individual das rodas traseira direita e esquerda.

3.2.8.3 Patinagem dos rodados

A patinagem foi determinada, individualmente, para cada roda do trator, sendo possível verificar o comportamento individualizado nas quatro rodas. O sistema de instrumentação forneceu o valor integrado do número de pulsos de cada roda, no momento em que o trator operava na condição com e sem carga na barra de tração. A condição sem carga na barra, denominada condição zero (ASAE, 1997), foi determinada em local plano de pista pavimentada. Para o cálculo da patinagem, utilizou-se da equação (1):

$$P = \left(1 - \frac{NPS}{NPC} \right) * 100 \quad (1)$$

em que,

P = patinagem (%);

NPC = número de pulsos da roda, trator operando com carga na barra de tração;

NPS = número de pulsos da roda, trator operando sem carga na barra de tração;

100 = fator de conversão.

Os resultados apresentados são a média aritmética da patinagem dos rodados dianteiros e traseiros.

3.2.8.4 Velocidade de deslocamento

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

3.2.8.5 Força média na barra de tração

Os valores de força foram utilizados para substituir o escarificador por um trator lastro, ressaltando-se que tal medida não é uma variável analisada no presente trabalho, mas um valor o mais constante possível para não influenciar no desempenho de trator de testes.

A força na barra de tração exercida pelo trator de teste foi determinada de forma direta pela célula de carga acoplada ao trator de teste. Os valores fornecidos em kgf foram transformados em kN, conforme equação (2).

$$FT = \left(\frac{F_t}{1.000} \right) * 9,81 \quad (2)$$

em que,

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

Ft = força de tração média (kgf);

1.000 e 9,81 = fator de conversão.

3.2.8.6 Potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi determinada de forma indireta, conforme equação (3):

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

em que,

PB = potência na barra de tração (kW);

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

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

3,6 = fator de conversão.

3.2.8.7 Consumo de combustível

Para a obtenção do consumo horário expresso em massa, foi necessário determinar a densidade em função da temperatura nas seis proporções de mistura. A temperatura do combustível foi monitorada nos mesmos pontos onde foram realizadas as medidas de fluxo. A densidade foi determinada no intervalo de temperatura de 10 a 70 °C, em passos de 5 e 5 °C, pela análise de regressão, obtida por meio de análises estatísticas.

O protótipo utilizado para determinar o consumo em todas as parcelas forneceu valores expressos em mL s⁻¹, referentes ao débito da bomba injetora e o retorno dos bicos, respectivamente. Por meio de diferença entre os valores, obteve-se o volume realmente consumido pelo trator durante o percurso da parcela. De posse desses dados, determinaram-se o consumo horário (volumétrico e ponderal) e o consumo específico.

3.2.8.7.1 Consumo horário volumétrico

O consumo horário volumétrico foi medido com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, conforme equação (4):

$$Chv = \left(\frac{Va - Vr}{t} \right) * 3,6 \quad (4)$$

em que,

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

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

3,6 = fator de conversão.

3.2.8.7.2 Consumo horário ponderal

Para o cálculo do consumo horário ponderal, considerou-se a influência da temperatura no momento do teste para corrigir a densidade. Optou-se por conversão em massa do volume de alimentação separado do retorno. Esse consumo foi calculado utilizando-se da equação (5):

$$Chp = \frac{(V_a D_{ca} - V_r D_{cr})}{t} \cdot 0,0036 \quad (5)$$

em que,

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

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

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

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

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

0,0036 = fator de conversão.

3.2.8.7.3 Consumo específico

Consumo específico é o consumo de combustível expresso em unidade de massa por unidade de potência requerida na barra de tração, conforme equação (6):

$$Ce = \frac{Chp}{PB} \cdot 1000 \quad (6)$$

em que,

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

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

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

1000 = fator de conversão.

3.2.9 Análise estatística

3.2.9.1 Análise de variância e teste de médias

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

3.2.9.2 Análise de regressão

Para o consumo específico, foi estudado modelo de ajuste de regressão que melhor explicasse o comportamento dos combustíveis. Para o caso da densidade, ajustou-se um modelo de superfície de resposta que também explicasse essa variável em função da temperatura e do tipo de combustível.

Para selecionar o modelo de equação de maior expoente significativo utilizou-se da análise da variância (teste F).

3.3 Resultados e discussão

Os resultados de desempenho do trator estão apresentados na forma de Tabelas, Figuras e Equações. Nessas tabelas, os dados referentes aos fatores tipo e proporção de biodiesel representaram médias de 63 observações.

3.3.1 Potência na barra e velocidade de deslocamento

Na Tabela 2, verifica-se que os fatores tipo de biodiesel e proporção de biodiesel não influenciaram na potência na barra de tração, tampouco na velocidade de deslocamento do trator, cujas médias foram 42,68 kW e 6,06 km h⁻¹, respectivamente. Tal comportamento é explicado por ser a referida variável produto da força, que fora mantida invariavelmente próxima a 25 kN.

Tabela 2. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis potência média na barra (PB) e velocidade de deslocamento (V).

Fatores	Potência (kW)	Velocidade (km h⁻¹)
Tipo de Biodiesel (TB)		
Babaçu	42,81 a	6,07
Tucumã	42,71 a	6,06
Buriti	42,53 a	6,06
Proporção de Biodiesel (Bn)		
B0	42,69 a	6,05 a
B5	42,43 a	6,05 a
B15	42,79 a	6,06 a
B25	42,91 a	6,06 a
B50	42,43 a	6,09 a
B75	42,73 a	6,07 a
B100	42,81 a	6,07 a
TESTE F		
TB	2,463 ^{NS}	0,987 ^{NS}
B _n	1,816 ^{NS}	1,601 ^{NS}
TBxB _n	0,852 ^{NS}	1,595 ^{NS}
C.V.(%)	0,97	0,55
Média	42,68	6,06

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

Os resultados observados para os fatores potência na barra de tração e velocidade de deslocamento do trator teste corroboram Iamaguti et al., (2016), que obteve valores médios na potência na barra de tração de 44,58 kW e velocidade de deslocamento do trator 6,47 km h⁻¹, utilizando biodiesel de buriti em proporções de mistura com diesel B S1800 e B S50. Esses resultados observados mostram que o uso de biodiesel como fonte de combustível em motores ciclo diesel, em caso específico o trator agrícola, seja em proporções de mistura com o diesel, seja na substituição total do diesel, não afeta a potência disponível na barra de tração e a velocidade de deslocamento, pois a forma de compensação do menor poder calorífico do biodiesel é o aumento no consumo de combustível para que a potência na barra de tração não seja comprometida (Camara, 2009). Dados importantes, pois segundo Ouanji et al. (2016), o biodiesel é originado de diferentes fontes de matéria-prima e possui diferentes propriedades físicas e químicas, o que poderia interferir nas variáveis analisadas.

3.3.2 Consumo de combustível (Chv, Chp e Cesp)

Na Tabela 3, encontram-se a síntese da análise de variância e o teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.

Tabela 3. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Cesp).

Fatores	Chv L h ⁻¹	Chp Kg h ⁻¹	Cesp g kW h ⁻¹
Tipo de Biodiesel (TB)			
Babaçu	13,83 a	11,91 a	278,34 b
Tucumã	15,17 b	12,91 b	294,22 c
Buriti	13,76 a	11,80 a	264,32 a
Proporção de Biodiesel (Bn)			
B0	14,15 a	11,86 a	274,21ab
B5	13,84 a	11,68 a	262,69 a
B15	14,04 a	11,91 a	273,24 a
B25	14,15 a	12,06 ab	273,82 a
B50	14,31 a	12,28 abc	278,63 abc
B75	14,65 a	12,78 bc	293,17 bc
B100	14,63 a	12,90 c	296,97 c
TESTE F			
TB	36,961**	32,681**	27,037**
B _n	2,247 ^{NS}	8,128**	7,535**
TBxB _n	1,205 ^{NS}	1,161 ^{NS}	1,581 ^{NS}
C.V.(%)	4,18	4,03	4,72
Média	14,25	12,21	278,96

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

3.3.2.1 Consumo horário volumétrico (CHV)

Segundo Neves (2016), o consumo horário volumétrico (CHV) é caracterizado como sendo a razão da diferença entre o volume admitido pelo sistema de alimentação do motor e o montante que retorna ao tanque de armazenamento. Para essa variável, quando analisado o fator tipo de biodiesel, é observado na Tabela 3

que o biodiesel de tucumã apresentou diferença significativa entre o biodiesel de babaçu e de buriti, tendo aumento no consumo horário volumétrico de 9,68% e 10,25%, quando comparado com o biodiesel de babaçu e buriti, respectivamente. Porém, para o fator proporções de mistura, observa-se que não houve diferença significativa. Os dados obtidos diferem dos apresentados por Santos (2014), que ao estudar o desempenho do trator agrícola em operação de preparo do solo, funcionando com diesel B S1800, B S50 e proporções de mistura com biodiesel metílico de babaçu (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100), verificou que o consumo horário volumétrico aumentou 7,4%, para o diesel B S50, quando comparado B0 com B100, porém não houve diferença significativa para o diesel B S1800.

Os resultados podem estar interligados com o número de cetano, que é relacionado com a velocidade de ignição do combustível/bicombustível, que corresponde ao período entre o início da injeção de combustível e o início da combustão (ANP, 2018). Ruschel et al., (2014) afirmam que cada combustível/bicombustível apresenta valor distinto para o número de cetano. Ao avaliarem amostras das blends de biodiesel/diesel, observaram variação do número de cetano de 20, 45 e 57.

3.3.2.2 Consumo horário ponderal (CHP)

Nos resultados demonstrados para consumo horário ponderal (CHP) (Tabela 3), verifica-se diferença significativa na variável tipo de biodiesel. Ressalta-se que o maior CHP foi para o biodiesel de tucumã que, quando comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, o aumento no consumo foi de 8,40% e 8,56%, respectivamente. Analisando o fator proporção de biodiesel, nota-se que o consumo ponderal foi semelhante entre as proporções B0, B5, B15, B25 e B50, não apresentando diferença estatística significativa, porém as proporções B75 e B100 apresentaram maior consumo e diferença significativa entre as proporções B0, B5, B15 e B25. Os resultados observados para CHP podem ser explicados devido a essa variável levar em consideração a densidade do combustível, que por sua vez está diretamente ligada a sua estrutura molecular.

Segundo Zuñica et al., (2011) e Oliveira et al., (2012), a densidade constitui indicativo de como a matéria está organizada num corpo, ou seja, pode ser representada pela quantidade de massa por unidade de volume do combustível injetado no motor. Os materiais com estrutura molecular mais compacta apresentam maiores densidades. A densidade do biodiesel, ligeiramente superior a do óleo diesel convencional, exerce efeito direto sobre o desempenho do motor. Dessa forma, quanto maior a concentração de biodiesel na mistura, maior será a concentração de alquísteres com cadeia carbonônica mais longa, sendo maior a densidade, reduzindo a eficiência do combustível.

3.3.2.3 Consumo específico de combustível (CESP)

O consumo específico de combustível é a relação entre a massa de combustível utilizada por unidade de potência durante o regime de trabalho (Telli, 2018). Porém conforme Ouanji et al. (2017), o biodiesel possui diferentes propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades está o poder calorífico, que é a quantidade de energia interna contida no combustível, ou seja, quanto mais alto o poder calorífico, maior será a energia contida (Oliveira et al., 2018).

Observando os resultados para consumo específico de combustível (CESP) (Tabela 3), verifica-se que, para o fator tipo de biodiesel, houve diferença entre os três tipos de biodiesel utilizados no trabalho, sendo expresso maior consumo para o biodiesel de tucumã, seguido do biodiesel de babaçu e de buriti. Comparando os valores apresentados, o biodiesel de tucumã apresentou aumento de 5,7% e 11,31%, quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente.

Para o fator proporção de biodiesel/diesel (Tabela 3), verifica-se que houve aumento no consumo de combustível à medida que foram acrescidas maiores proporções de biodiesel, porém as proporções B0, B5, B15, B25 e B50 não apresentaram diferenças estatísticas. Já a proporção B100 apresentou diferença significativa entre as proporções B0, B5, B15 e B25. Os resultados apresentados corroboram Iamaguti (2017), que ao avaliar o desempenho operacional do trator agrícola utilizando seis proporções de mistura de biodiesel de soja e de murumuru, combinados com sete rotações do motor, verificou que o consumo específico

aumentou quando foram utilizadas as proporções 90% biodiesel de soja + 10% biodiesel de murumuru, e 90% biodiesel de murumuru + 10% biodiesel de soja.

Dados apresentados têm revelado que o poder calorífico do biodiesel é de cerca de 37,27 MJ/L, que é 9% inferior ao óleo diesel derivado de petróleo (Aprobio, 2018). Dessa forma, estes resultados podem ter sido influenciados pelo poder calorífico de cada biodiesel. Em estudo de Andrade et al. (2012), avaliando o comportamento cinético do biodiesel de buriti e das suas misturas com óleo diesel, observaram que a adição de biodiesel de buriti no óleo diesel diminui o poder calorífico do combustível e da combustão.

O consumo específico médio em função do tipo de biodiesel e a proporção de mistura foram ajustados, resultando em modelos lineares, conforme ilustrado na Figura 4.

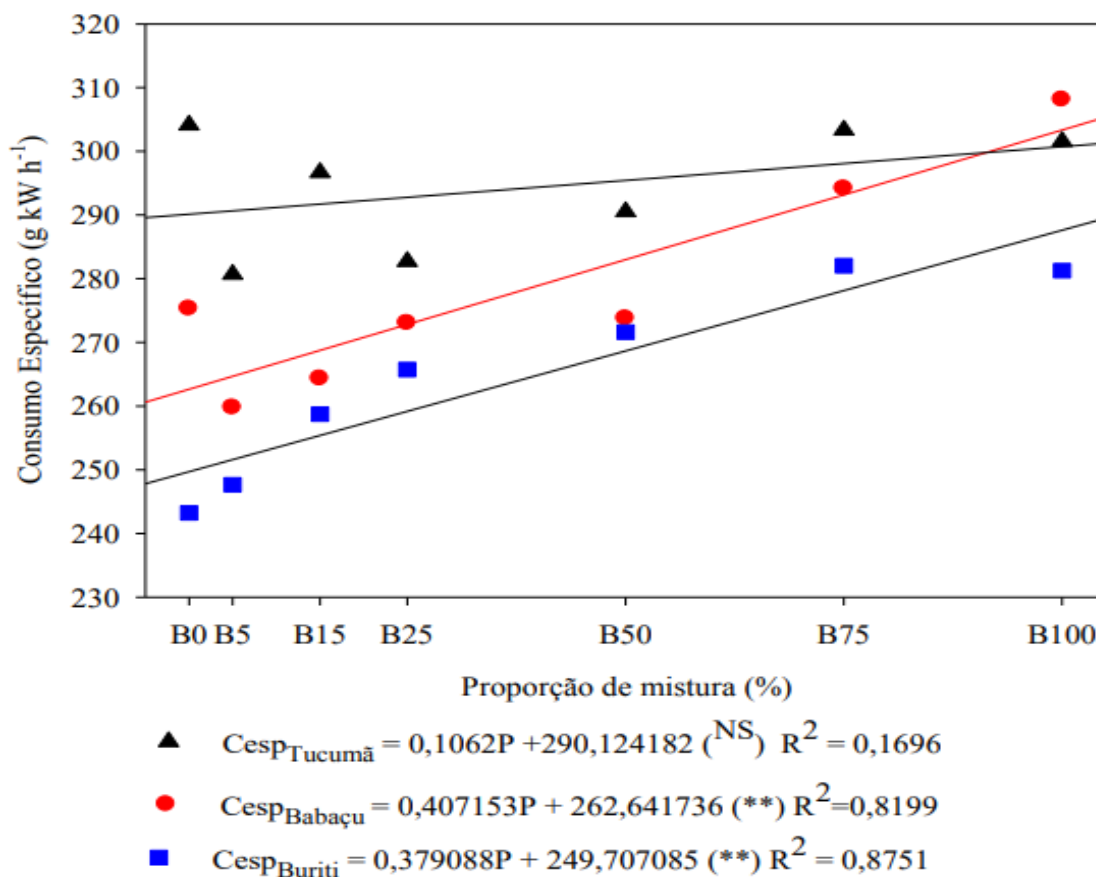


Figura 4. Modelo de regressão para consumo específico (Cesp) em função do tipo de biodiesel (babaçu, tucumã e buriti) e das proporções de mistura de biodiesel com diesel B S50.

Souza (2016) revela que, além da diferença na composição do biodiesel a partir de óleos vegetais, estudos indicam que a forma e o local de cultivo, considerando características como latitude, temperatura, data da semeadura e regime de irrigação, podem influenciar no teor de ácidos graxos dos óleos vegetais. Assim, óleos de uma mesma cultura, quando cultivados em condições distintas, podem apresentar diferenças em propriedades que têm influência direta sobre o biodiesel.

Outro fator de possível influência sobre as características físico-químicas do biodiesel são os processamentos a que os óleos vegetais são submetidos. Processos como degomagem, refino, deceragem e desodorização não afetam muito as características relacionadas à composição dos óleos, como viscosidade e densidade, porém influenciam na oxidação térmica e, conseqüentemente, no desempenho do óleo como combustível. Os óleos crus, sem processamento, apresentaram maior tendência à carbonização e pior desempenho em motor de injeção direta, em comparação aos óleos submetidos a processamento (Ryan III et al., 1984).

3.4 Conclusões

O biodiesel de babaçu, de buriti e de tucumã não comprometeram o funcionamento do motor (combustão e eficiência) durante os testes.

Em relação ao consumo horário volumétrico, o biodiesel de tucumã apresentou maior consumo, tendo aumento no consumo de 9,68% e 10,25%, quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente.

O biodiesel de tucumã apresentou maior consumo ponderal, comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, apresentando aumento de 8,40% e 8,56%, respectivamente. Para as proporções utilizadas no estudo, o maior consumo foi para as proporções B75 e B100.

O maior valor apresentado para o consumo específico foi para o biodiesel de tucumã, seguido do biodiesel de babaçu e de buriti. Comparando os valores apresentados, o biodiesel de tucumã apresentou aumento de 5,7% e 11,31%, quando comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente. Para as

proporções de mistura, houve aumento no consumo de biodiesel à medida que foram acrescentadas maiores proporções de biodiesel.

3.5 Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code SAE J708. In: ASAE standards 1997: standards engineering practices data. 44. ed. St. Joseph: ASAE, 1997. p.407– 411.

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

Andrade RDA, Pozzebom E, Faria EA, D. Filho F, Suarez PAZ, Prado AG (2012) S. Thermal behavior of diesel/biodiesel blends of biodiesel obtained from buriti oil. **Acta Scientiarum-Technol** 34:243-248.

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: 12 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Óleo diesel**. 2018. 2018. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel> >. Acesso em: 10 mai. 2018.

Asokan MA, Senthur Prabu S, Kamesh S, Khan W (2018) Performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with papaya and watermelon seed oil bio-diesel/diesel blends. **Energy** 145:238-245.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL – APROBIO. **Biodiesel e suas propriedades**. 2018. 2018. Disponível em: < <http://aprobio.com.br/2017/01/12/biodiesel-e-suas-propriedades/>> Acesso em: 12 mai. 2018.

Banzatto DA, Kronka SN (2006) **Experimentação agrícola**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

Barros RWDAS, Guerrero JRH, Dutra JCC (2018) Experimental Evaluation of the use of Cottonseed Biodiesel and Mixtures With Commercial Diesel Engine Generator. **IEEE Latin America Transactions** 16(2):489-496.

Bortoleto GG, Silva, CPD, Alves LA, Yoshinaga F (2018) Produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos de frango. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, p. 77, 2018.

Camara FT (2009) **Biodiesel de dendê em trator agrícola: desempenho em função do tempo de armazenamento e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal.

Hasan MM, Rahman MM (2017) Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: a review. **Renew Sustain Energy Ver** 74:938–948.

Iamaguti PS, Lopes A, Oliveira MCJDe, Neves MCT, Lira TAM, Moreti TCF, Lima LPDe, Koike GHA (2016) Operational performance of tractor running with diesel and biodiesel from buriti oil (*Mauritia flexuosa*) **AJCS** 10(3):336-341.

Iamaguti PS (2017) **Desempenho operacional do trator agrícola com proporções de biodiesel**. 2017. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal.

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

Karagöz Y (2018) Effect of hydrogen addition at different levels on emissions and performance of a diesel engine. **Journal of Thermal Engineering, Research Article** 4(2) Special Issue 7:1780-1790.

Koten H (2018) Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions. **Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions, International Journal of Hydrogen Energy** (2018).

Neves MCT (2016) **Mistura de biodiesel de soja e de murumuru em trator agrícola**. 2016. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

Oliveira DS, et al (2012) Obtenção do biodiesel de Moringa Oleifera Lam e do ecodiesel na proporção B5, B10, B20 E B30. **Química: ciência, tecnologia e sociedade** 1(2) 49-60.

Oliveira MCJ, Lopes A, De Lima, LP, Neves MCT, Iamaguti PS, Lira TAM, Moreti TCF, Koike GHA, Santos AP, Silva RA (2016) Effect of type of fuel and speed of engine on the performance of agricultural tractor. **Afr J Agric Res** 11(40):4048–4054.

Oliveira FCDe, Coelho ST (2017) History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 75:168–179.

Oliveira LRADe, Pedroza MM, Paz RRDeS, Silva EMDa, Paz EDaCS, Santos MLQDos (2018) Estudo dos produtos da pirólise e potencial energético da fibra de coco da baía. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

Ouanji F, Kacimi M, Ziyad M, Puleo F, Liotta LF (2016) Production of biodiesel at small-scale (10 L) for local power generation. **Int J Hydrogen Energy**.

Patel HK, Kumar S (2017) Experimental analysis on performance of diesel engine using mixture of diesel and bio-diesel as a working fuel with aluminum oxide nanoparticle additive. **Thermal Science and Engineering Progress** 4:252-258.

Rashedul HK, Masjuki HH, Kalam MA, Ashraful AM, Ashrafur Rahman SM, Shahir SA (2014) The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**. 88:348–364.

Rajesh Kumar B, Saravanan S, Rana D, Anish V, Nagendran A. (2016) Effect of a sustainable biofuel e n-octanol e on the combustion, performance and emissions of a DI diesel engine under naturally aspirated and exhaust gas recirculation (EGR) modes. **Energy Convers. Manag** 118:275-286.

Reis H, Reis C, Sharip A, Reis W, Zhao Y (2018) Sinclair, R.; Beeson, L. Diesel exhaust exposure, its multi-system effects, and the effect of new technology diesel exhaust. **Environment International** 114:252-265.

Ryan III TW, Dodge LG, Callahan TJ (1984) The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. **Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCs)** 61(10)1610-1619.

Ruschel CFC, Huang CT, Samios D, Ferrão MF, Yamamoto CI, Plocharski RCB (2014) Determinação do número de cetano de blendas de biodiesel/Diesel utilizando espectroscopia no infravermelho medio e regressao multivariada. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry** 6(1):39-46.

Santos AP (2014) **Desempenho de trator agrícola em operação de preparo do solo utilizando diesel e proporções de biodiesel de babaçu**. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

Souza NM (2016) **Variabilidade qualitativa de grãos de soja**. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

Telli GD (2018) **Análise do desempenho de um motor a combustão de ignição por compressão monocilíndrico no funcionamento bicomustível diesel-etanol**. 126 f. Dissertação (mestrado profissional em ENGENHARIA MECÂNICA), Universidade de Caxias Do Sul, Caxias Do Sul.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” – CÂMPUS DE JABOTICABAL. Departamento de Ciências Exatas: **Estação.meteorológica..Dados.normais...2018...**Disponível..em:..<<http://www.fcav.unesp.br/#!/estacao-agroclimatologica/dados/dados-meteorologicos-diarios/>>.
Acesso em 12 mai. de 2018.

Zuñiga, ADG, et al (2011) Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas**, 21:55-72.