

ACADEMIA MILITAR DAS AGULHAS NEGRAS
ACADEMIA REAL MILITAR (1810)

FILIFE OLIVEIRA DE LIMA

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE BODIESEL COMO ALTERNATIVA AOS COMBUSTÍVEIS
UTILIZADOS ATUALMENTE EM VIATURAS MILITARES**

RESENDE - RJ

2019

FILIPPE OLIVEIRA DE LIMA

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL COMO ALTERNATIVA AOS COMBUSTÍVEIS
UTILIZADOS ATUALMENTE EM VIATURAS MILITARES**

Monografia apresentada à Academia Militar das Agulhas Negras como parte integrante do Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Militares, sob a orientação do 1º Ten STT Anderson Gomes de Jesus.

Me. Anderson Gomes de Jesus – 1º Ten STT
Orientador

Marcos Vinícius Teixeira – 1º Ten QMB
Avaliador

Andrey Christian Reis dos Santos – 1º Ten QMB
Avaliador

RESENDE - RJ

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, que com sua infinita bondade me deu forças para continuar e permitiu que eu chegasse até aqui.

À minha mãe, que com seu amor incondicional, sempre foi meu refúgio, minha base forte e sempre me apoiou nessa cansativa caminhada, sendo, pra mim, exemplo de pessoa tanto na esfera pessoal, quanto nas esferas educacional e profissional.

Ao meu orientador, 1º Tenente Mestre Anderson Gomes de Jesus que, com sua paciência e preparo, me conduziu magistralmente até a conclusão deste trabalho.

À minha família, aos meus companheiros de turma e aos meus amigos que se fizeram presentes durante todo tempo, dividindo os fardos e tornando essa caminhada bem menos árdua.

E, por fim, parabênizo aos profissionais que se dedicam incansavelmente ao trabalho, se valendo do esforço próprio e da meritocracia individual, pois só o indivíduo é capaz de mudar o sua vida e obter orgulho próprio de seus atos.

*“Se pude enxergar mais longe, foi por estar sobre o ombro
de gigantes”.*

(Isaac Newton)

RESUMO

A monografia a seguir trata de uma revisão bibliográfica, onde foi analisada a aplicabilidade de biodiesel como alternativa aos combustíveis mais utilizados atualmente em viaturas militares. Foi realizada uma revisão bibliográfica abordando as principais características físico-químicas dos biodieseis provenientes das oleaginosas mais utilizadas no mercado atualmente, comparando-as com as características físico-químicas do Diesel de petróleo S10, obtidas também de revisão bibliográfica, e com os índices especificados pela ANP para o biodiesel no Brasil. Essa comparação tem por finalidade determinar a afinidade do biodiesel com o Diesel e sua consequente utilização em motores de viaturas militares com ciclo Diesel, bem como determinar os possíveis impactos da utilização das diferentes de biodiesel nesses motores do ponto de vista físico-químico e do ponto de vista prático.

Palavras-chave: Biodiesel. Combustíveis. Viaturas Militares. AMAN. Exército Brasileiro.

ABSTRACT

The following monography is a review, where the applicability of biodiesel fractions was analyzed as an alternative to the most commonly used fuels in military vehicles. A literature review was carried out, addressing the main physico-chemical characteristics of biodiesel from the most commonly used oilseeds on the market today, comparing them with the physico-chemical characteristics of S10 petroleum Diesel, also obtained from bibliographic review, and with the indices specified by ANP for biodiesel in Brazil. The purpose of this comparison is to determine the affinity of biodiesel with Diesel oil and its consequent use in military Diesel engines, as well as to determine the possible impacts of the use of the different fractions of biodiesel in these engines from a physico-chemical point of view and a practical point of view.

Keywords: Biodiesel. Fuel. Military Vehicles. AMAN. Brazilian Army.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Especificações do biodiesel segundo a ANP.....	16
TABELA 2 – Viscosidade e densidade média do biodiesel de variadas espécies vegetais.....	17
TABELA 3 – Ponto de fulgor médio do biodiesel de variadas espécies vegetais.....	18
TABELA 4 – Número de cetano médio do biodiesel de variadas espécies vegetais.....	19
TABELA 5 – Ponto de fluidez do biodiesel de variadas espécies vegetais.....	20
TABELA 6 – Poder calorífico do biodiesel de variadas espécies vegetais.....	21
TABELA 7 – Especificações do Diesel S10 segundo a ANP.....	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS.....	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos	11
2	REFERENCIAL METODOLÓGICO	12
2.1	TIPO DE PESQUISA.....	12
2.2	MÉTODOS.....	12
2.2.1	Avaliação das propriedades do biodiesel	12
2.2.2	Avaliação das propriedades do Diesel	12
2.2.3	Comparação da utilização do biodiesel e do Diesel	13
2.2.4	Dados dos motores das principais viaturas do Exército Brasileiro	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	A PRODUÇÃO DO BODIESEL.....	14
3.2	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO BODIESEL.....	15
3.2.1	Fluidodinâmica	16
3.2.2	Ponto de Fulgor	18
3.2.3	Número de cetano	18
3.2.4	Ponto de fluidez	19
3.2.5	Poder calorífico	20
3.3	PROPRIEDADES DO DIESEL.....	21
3.3.1	Ponto de fluidez	22
3.3.2	Poder calorífico	22
3.4	COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BODIESEL E DO DIESEL.....	22
3.4.1	Vantagens da utilização de biodiesel em detrimento do uso de Diesel como fonte energética	23
3.4.2	Desvantagens da utilização de biodiesel em detrimento do uso de Diesel como fonte energética	25
3.5	CARACTERIZAÇÃO DOS MOTORES DAS PRINCIPAIS VIATURAS MILITARES DO EXÉRCITO BRASILEIRO.....	27
3.5.1	Motor da Viatura Blindada de Combate (VBC) – Carro de Combate (CC) LEOPARD 1 A1	27
3.5.2	Motor da VBC – CC M60 A3 TTS	28
3.5.3	Motor da Viatura Blindada de Transporte de Pessoal (VBTP) – M113 B	28
3.5.4	Motor da VBTP – M113 BR	29
3.5.5	Motor da VBTP – MR GUARANI	30
3.5.6	Motor da VBTP – EE-11 URUTU	30
3.5.7	Motor do Caminhão Militarizado VW WORKER 15.210 4x4 – 5TON	31
3.5.8	Motor da Camionete Militarizada AGRALE MARRUÁ 4x4	32
4	DISCUSSÃO	33
5	CONCLUSÃO	36
6	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O Exército Brasileiro (EB) como instituição nacional, graças aos seus meios e a sua atuação, figura entre os grandes consumidores de combustíveis, em sua maioria de origem fóssil. A Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) por sua vez, é uma unidade singular e que encerra em si todas as Armas, Quadros e Serviços do EB, possuindo, em consequência, um consumo significativo desse tipo de combustível, principalmente do óleo Diesel.

A queima do óleo Diesel é amplamente conhecida pela liberação de óxidos de carbono que estão ligados à intensificação do efeito estufa, além de óxidos de enxofre e de nitrogênio, que são responsáveis por precipitações ácidas e são considerados substâncias cancerígenas.

Dessa forma, faz-se interessante problematizar a seguinte questão: é viável tecnicamente a utilização de biodiesel como fonte de energia sustentável alternativa a esse combustível fóssil nas viaturas militares do Exército Brasileiro?

Essa pesquisa justifica-se pela responsabilidade social do Exército Brasileiro como instituição, tendo o mesmo o compromisso de proteger o povo e as demais instituições brasileiras. É notória a fragilidade atual do meio ambiente, principalmente no tocante ao aumento da temperatura e consequente aumento do nível do mar, pelo derretimento de geleiras, e desaparecimento de espécies vegetais e animais, pela modificação de seus respectivos habitats.

Não existe, atualmente, perspectiva de mudança desse cenário para um melhor, porém os biocombustíveis figuram como uma possível alternativa para a estagnação do problema, por se tratar de uma fonte de energia que retira o carbono da atmosfera para depois lançá-lo novamente, formando um ciclo sustentável, ao contrário do que acontece com os combustíveis fósseis, cuja queima lança óxidos de carbono na atmosfera que não estavam ali anteriormente. Daí a relevância da utilização desses combustíveis alternativos pelo Exército Brasileiro, como forma de efetivar o seu compromisso com segurança da sociedade brasileira, fazendo a sua parte para garantir um país mais seguro para todos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica da utilização de biodiesel como fonte de energia alternativa sustentável nas viaturas militares do Exército Brasileiro.

1.1.2 Objetivos específicos

Comparar as eficiências do óleo Diesel e dos diferentes tipos de biodiesel.

Levantar os dados médios de características físico-químicas dos diferentes tipos de biodiesel e fazer a comparação desses dados médios com os do Diesel e com os padrões de qualidade da RANP nº 45/2014.

Levantar características técnicas das principais viaturas militares com motores do ciclo Diesel do Exército Brasileiro.

Avaliar a viabilidade da utilização dos tipos de biodiesel estudados como fonte energética nas viaturas militares consideradas.

2 REFERENCIAL METODOLÓGICO

2.1 TIPO DE PESQUISA

Foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos dados médios das propriedades do óleo Diesel e dos dados médios das propriedades do biodiesel. Também foi realizada um levantamento dos pareceres da comunidade científica a respeito da comparação da utilização de Diesel e de biodiesel nos aspectos econômicos, ambientais e sociais. Por fim, foi realizado um levantamento dos dados e especificações dos motores das principais viaturas militares do Exército Brasileiro.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Avaliação das propriedades do biodiesel

Foi considerado, para esta avaliação, as propriedades do Biodiesel produzido a partir do óleo de diversas oleaginosas, do Etanol e com catalisador básico. As propriedades consideradas foram a viscosidade, a densidade, o ponto de fulgor, o número de Cetano, o ponto de fluidez e o poder calorífico. A partir da revisão bibliográfica, foram levantados os valores médios para cada propriedade. A partir dessa média, foram feitas comparações com os parâmetros de qualidade estabelecidos pela Resolução nº 45/2014 da ANP, para avaliar a qualidade do biodiesel destacado. Bem como, foram comparados esses valores com os valores das propriedades do Diesel, como forma de avaliar a afinidade do biodiesel com os motores que utilizam o Diesel como forma de combustível.

2.2.2 Avaliação das propriedades do Diesel

Foi considerado, para esta avaliação, as propriedades do Diesel S10 (com 10mg de enxofre por quilograma de Diesel) e B0 (com 0% de adição de biodiesel). As propriedades consideradas foram a viscosidade, a densidade, o ponto de fulgor, o número de Cetano, o ponto de fluidez e o poder calorífico. A partir da consulta da resolução 50/2013 da ANP, que regula os parâmetros de qualidade para o Diesel S10 B0, foram estabelecidos os “valores ideais” para cada

propriedade estudada. Para as propriedades não abordadas pela resolução citada, foi feita uma revisão bibliográfica para estimar o valor médio da propriedade considerada.

2.2.3 Comparação da utilização do biodiesel e do Diesel

Foi realizada uma revisão bibliográfica para identificar os principais aspectos positivos e principais aspectos negativos da utilização do biodiesel em detrimento do Diesel. Os aspectos, nessa comparação, levaram em consideração as implicações técnicas, sociais, econômicas, de segurança e ambientais da utilização desse combustível.

2.2.4 Dados dos motores das principais viaturas militares do Exército Brasileiro

Foi realizada uma consulta aos manuais técnicos do Exército Brasileiro e dos manuais técnicos dos fabricantes dos motores das principais viaturas utilizadas pela força a fim de estabelecer a aplicabilidade do biodiesel como combustível desses motores.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A PRODUÇÃO DO BIODIESEL

O biodiesel é um biocombustível produzido a partir de fontes renováveis tendo como principais matérias primas gorduras animais e óleo de espécies vegetais oleaginosas, tais como a soja, a palma, o girassol, o babaçu, o amendoim, a mamona e o pinhão-manso. A matéria-prima mais comumente utilizada no Brasil para a produção desse biocombustível atualmente é a soja. (ANP, [201-?])

A transesterificação alcalina é um dos processos químicos de produção do biodiesel, sendo o mais utilizado atualmente. Outros tipos de processos também podem ser empregados como a esterificação, o craqueamento ou mesmo a transesterificação ácida. (ANP, 2012). O processo de transesterificação alcalina é, basicamente, uma reação entre um éster e um álcool, na presença de um catalisador básico, resultando em um novo éster e em um novo álcool (VIEIRA *et al.*, 2017). A seguir temos a equação dessa reação, onde R, R' e R'' são radicais orgânicos e X é um metal alcalino:

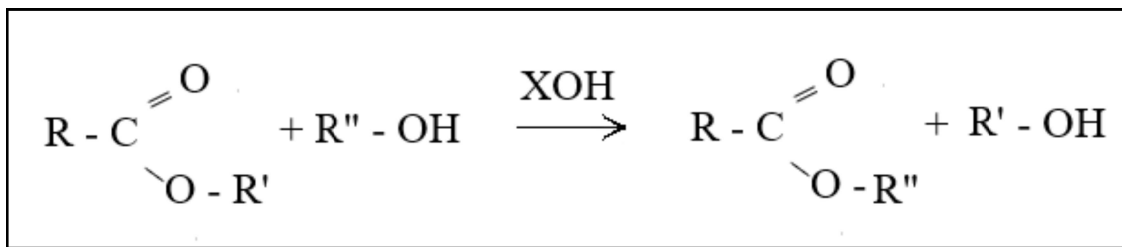


Figura 1 – reação de transesterificação alcalina. **Fonte:** AUTOR, 2019

No caso do biodiesel, a reação de transesterificação ocorre entre um triglicerídeo, presente nos óleos vegetais ou gorduras animais, e três moléculas de álcool, geralmente metanol ou etanol. (VIEIRA *et al.*, 2017). A seguir temos a reação de transesterificação do biodiesel produzido com metanol e tendo o hidróxido de sódio como catalisador, onde R é um radical orgânico:

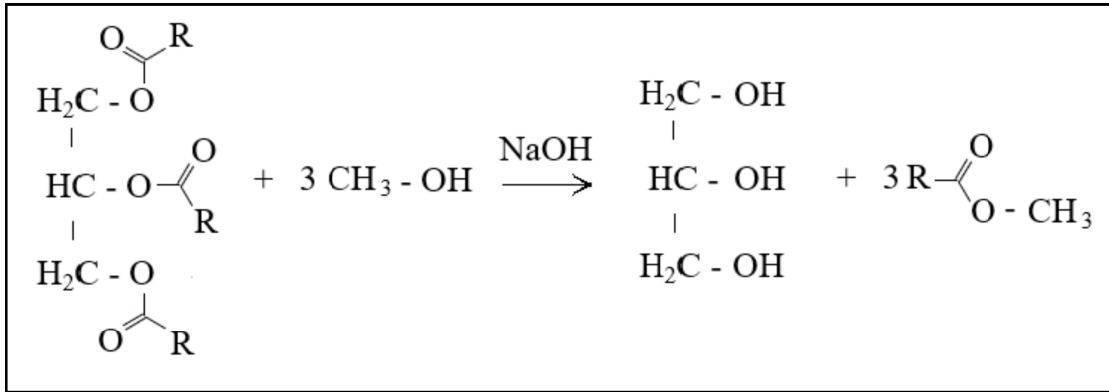


Figura 2 – reação de transesterificação alcalina. **Fonte:** AUTOR, 2019.

Os produtos dessa reação são três moléculas de um éster metílico de ácido graxo (o biodiesel) e o propano-1,2,3-triol (a glicerina). Normalmente, a reação acontece nos dois sentidos, simultaneamente, mas o catalisador básico desloca o equilíbrio da reação no sentido de produzir o biodiesel. O excesso ou a falta do catalisador, a impureza da matéria prima ou o desbalanceamento da reação, entre outros fatores, podem causar o processo conhecido como saponificação, que é, a grosso modo, a formação de sabão como produto da reação. Isso acontece devido a hidrólise dos lipídeos presentes no ácido graxo utilizado na reação, bem como a adição de uma base forte, que é utilizada como catalisador (VIEIRA *et al.*, 2017).

3.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO BIODIESEL

As propriedades físicas e químicas apresentadas por determinado biodiesel variam de acordo com a matéria-prima e método de produção utilizado, porém existem parâmetros nacionais que devem ser obtidos por qualquer dessas matérias-primas. (ZUNIGA *et al.*, 2011). Dentre as propriedades do biodiesel, as mais relevantes para uma futura comparação com as propriedades do óleo Diesel são a densidade, o ponto de fulgor, o teor de enxofre ponto de entupimento de filtro e o consumo específico (SILVA, 2014).

De acordo com a Lei nº 11.097 de 2005, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), tem a competência para determinar os critérios de qualidade a serem adotados para qualificar biocombustíveis. Assim, a ANP publicou a Resolução nº45/2014, determinando as características físico-químicas que o biodiesel deve ter para ser considerado utilizável e comercializável. A Tabela 1 apresenta os valores para as características que serão

observados nesse estudo.

TABELA 1 – especificações do biodiesel segundo a ANP. Fonte: Adaptado de ANP, 2014.

Característica	Unidade	Limite	Método	
			ABNT NBR	ASTM D
Massa específica a 20° C	kg/m ³	850 a 900	14065	4052
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0	10441	445
Ponto de fulgor, mín.	°C	100,0	14598	93
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130
Número Cetano	-	Anotar	-	6890
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	Anotar	14747	6371
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	15344	-
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.	h	6	-	-

3.2.1 Fluidodinâmica

Dentre os atributos fluidodinâmicos de um combustível de automotores, serão destacados viscosidade e densidade, que figuram entre os mais relevantes no que diz respeito ao funcionamento de motores do ciclo Diesel. Tais atributos exercem grande influência na circulação e injeção do combustível no motor propriamente dito, bem como na lubrificação do mesmo. (BIODIESELBR, 2011).

A viscosidade, para qualquer fluido, é dada pela relação entre a tensão de cisalhante, que é a “tensão gerada por forças aplicadas em sentidos opostos, porém em direções semelhantes no material analisado” (FERREIRA *et al.*, 2009, p. 02), e a taxa de deformação (ZUNIGA *et al.*, 2011), que é definida pela variação no tamanho ou forma de um corpo em relação ao tempo (PACHECO, 2014). Os fluidos, em geral tem viscosidade inversamente proporcional à temperatura a qual são submetidos. O biodiesel apresenta esse tipo de comportamento de viscosidade em função da temperatura. (KNOTHE *et al.*, 2006).

A viscosidade cinemática também pode ser descrita como a resistência apresentada pelo fluido ao escoamento. No caso do biodiesel, ter o controle cerrado dessa característica objetiva preservar as características de lubrificidade do biodiesel e garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível. (BIODIESELBR, 2011)

A densidade ou massa específica é definida pela razão entre a quantidade de massa de

um determinado material e o volume ocupado por essa massa, ou seja, materiais com maior densidade possuem uma estrutura molecular mais compacta e uma maior quantidade de massa por unidade de volume. A densidade do combustível tem influência direta no funcionamento do motor pois as bombas injetoras alimentam o motor com volumes constantes. Assim, uma densidade muito elevada propicia uma maior quantidade de massa de combustível consumida por admissão, gerando maior quantidade de poluentes e materiais particulados, enquanto uma densidade muito baixa pode causar a perda de potência do motor e aumento de consumo de combustível. (FOLQUENIN, 2008).

Para fins de comparação, segundo a ANP (2014), os índices de viscosidade do biodiesel devem estar dentro do intervalo entre 3,0mm²/s e 6,0mm²/s, enquanto os índices de densidade devem estar entre 850Kg/m³ e 900Kg/m³. Nas Tabelas 2 disposta a seguir, encontram-se os valores médios de viscosidade e densidade, de biodiesel de variadas espécies vegetais.

TABELA 2 - viscosidade e densidade do biodiesel de variadas espécies vegetais. Fonte: ZUNIGA et al. (2011); LIMA et al. (2015); CAVALVANTE (2010) e SOUZA (2008)

Origem do biodiesel	Viscosidade cinemática a 40°C(mm ² /s)	Densidade a 20°C (Kg/m ³)
Soja	3,97	880,0
Farelo de Arroz	4,12	880,0
Cutiera	3,10	916,8
Algodão	4,05	880,0
Pequi	5,95	880,0
Babaçu	4,00	880,0
Palma	4,71	860,0
Dendê	5,22	873,0
Girassol	4,03	880,0
Milho	4,17	880,0
Canola	4,34	880,0

3.2.2 Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor ou *flash point* pode ser caracterizado como a menor temperatura na qual um líquido combustível qualquer, a partir de uma fonte de ignição na presença de quantidade suficiente de comburente, gera uma quantidade de vapores suficientes para que ocorra a combustão. Essa propriedade é um indicativo não só dos procedimentos de segurança a serem tomados durante o uso, transporte, armazenamento e manuseio do biodiesel, mas também da menor temperatura de utilização desse material como combustível. No entanto, somente quando diz respeito à segurança nos transportes, manuseios e armazenamentos é que esse atributo assume importância. (ZUNIGA *et al.*, 2011).

De acordo com a ANP (2014), o biodiesel deve ter ponto de fulgor superior a 100°C. Na Tabela 3 encontram-se os valores médios de Ponto de Fulgor de biodiesel de variadas espécies vegetais. (ZUNIGA *et al.*, 2011)

TABELA 3 – ponto de fulgor do biodiesel de variadas espécies vegetais. Fonte: ZUNIGA *et al.* (2011)

Origem do biodiesel	Ponto de Fulgor (°C)
Soja	139
Farelo de Arroz	205
Cutiera	110
Algodão	149
Babaçu	112
Palma	100
Dendê	174
Girassol	157
Milho	192
Canola	107

3.2.3 Número de cetano

A escala de número de cetano representa, para o Diesel, aquilo que em combustíveis do ciclo Otto, como álcool e gasolina, é representado pela escala de octanagem. Basicamente, serve para qualificar a ignição de combustíveis do ciclo Diesel, estando relacionada com a velocidade de ignição do combustível, sendo que quanto maior for o Número de Cetano (NC), menor a resistência de um determinado combustível à compressão. (ZUNIGA *et al.*, 2011)

Valores muito altos ou muito baixos de NC podem causar problemas no funcionamento do motor. Caso seja muito alto, a combustão ocorre de forma incompleta e liberação excessiva de fumaça devido ao fato de a mesma iniciar antes que ocorra a mistura combustível-comburente de forma completa. Caso seja muito baixo, a queima do combustível não ocorre no tempo correto para o motor, causando trepidação, combustão incompleta e perda de potência. (KNOTHE *et al.*,2006). Segundo a ANP (2014), os valores de NC devem apenas ser “anotados”. Na Tabela 4 encontram-se os valores médios de NC de biodiesel de variadas espécies vegetais.

TABELA 4 – número de cetano do biodiesel de variadas espécies vegetais. Fonte: ZUNIGA *et al.* (2011)

Origem do biodiesel	Número de Cetano
Soja	60,1
Coco	67,4
Farelo de Arroz	50,0
Algodão	60,3
Pequi	60,0
Babaçu	65,0
Palma	62,6
Mamona	46,5
Dendê	50,0
Girassol	60,9
Milho	60,9
Canola	61,5

3.2.4 Ponto de fluidez

O ponto de fluidez, também entendido como ponto de entupimento, é a menor temperatura na qual o óleo flui quando submetido aos efeitos da gravidade. Essa propriedade é de extrema importância para a avaliação da utilização desses óleos em regiões de clima frio. No caso do Brasil, essa característica tem sua importância valorada ao notar-se que as principais Organizações Militares (OM's) Blindadas estão localizadas na região sul, região de clima subtropical, que chega a alcançar temperaturas negativas durante o ano. Na Tabela 5 abaixo explicitada encontram-se os valores médios de Ponto de Fluidez de biodiesel de variadas espécies vegetais.

TABELA 5 – ponto de fluidez do biodiesel de variadas espécies vegetais. Fonte: Adaptado de ZUNIGA *et al.* (2011)

Origem do biodiesel	Ponto de Fluidez (°C)
Soja	0
Cutiera	-9
Algodão	6
Pequi	5
Palma	12
Girassol	-1
Milho	-1
Canola	-8
Pinhão Manso	-6 a 2

3.2.5 Poder calorífico

Toda reação de combustão, ao formar água e, quase sempre, gases de carbono, libera uma quantidade fixa de energia. Essa energia é medida e quantificada através de métodos experimentais e é designada por poder calorífico (SANTOS; SANTOS, 2010). “O poder calorífico 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.” (OLIVEIRA, 2016, p. 14)

Um combustível que possui um menor poder calorífico apresenta, proporcionalmente, um maior nível de consumo, o que pode resultar em maiores gastos logísticos, devido ao maior espaço para estocagem e transporte, e em uma menor autonomia do veículo, se comparado com um combustível com maior poder calorífico. (OLIVEIRA, 2016)

Outro aspecto negativo de um menor poder calorífico de determinado combustível é a consequente perda de torque, que pode ser entendido como a força que o motor imprime ao eixo fazendo-o girar para impulsionar o veículo, bem como de potência, já que irá realizar uma menor quantidade de trabalho por unidade de tempo. (CASTELLANELLI *et al.*, 2008).

Na tabela 6 encontram-se os valores médios de poder calorífico de biodiesel produzidos a partir de variadas espécies vegetais.

TABELA 6 – poder calorífico do biodiesel de variadas espécies vegetais. Fonte: Adaptado de ZUNIGA *et al.* (2011)

Origem do biodiesel	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Soja	9.301
Algodão	9.520
Pequi	9.590
Babaçu	9.440
Mamona	9.046
Dendê	9.530
Milho	10.746,4
Canola	10.681,8
Pinhão Manso	9.485,6

3.3 PROPRIEDADES DO DIESEL

As propriedades físicas e químicas apresentadas por determinado óleo diesel variam de acordo com o seu grau de refinamento e pela quantidade de biodiesel que pode ser ou não adicionada a essa mistura de hidrocarbonetos (SILVA, 2006). Para o presente trabalho, foi escolhido como parâmetro o óleo Diesel S10 B0, com 10mg de enxofre por quilograma de óleo e 0% de adição de biodiesel. A tabela 7 disposta a seguir expõe algumas das especificações para o Diesel, segundo a Resolução nº 50/2013 da ANP.

TABELA 7 – especificações do diesel S10 segundo a ANP. Fonte: Adaptado de ANP, 2013.

Característica	Unidade	Limite	Método	
			ABNT NBR	ASTM D
Massa específica a 20° C	kg/m ³	815 a 850	14065	4052
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0 a 4,5	10441	445
Ponto de fulgor, mín.	°C	38	14598	93
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,010	6294	874
Enxofre total, máx.	mg/kg	10,0	15867	5453
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130
Número Cetano, mín	-	48	-	6890

3.3.1 Ponto de fluidez

O ponto de fluidez do Diesel tende a aumentar conforme aumenta-se a concentração de biodiesel na mistura de hidrocarbonetos. No caso do Diesel B0, o ponto de fluidez chega a ser menor que 0°C conforme LIMA *et al.*(2014)

3.3.2 Poder calorífico

O poder calorífico do Diesel possui uma considerável taxa de variação de acordo com sua produção ou fonte de matéria prima. Essa variação também pode ser ocasionada pelo método de medição ou ainda pureza do material utilizado. Os valores para o poder calorífico do Diesel, conforme observados na revisão bibliográfica realizada variam de 10.178Kcal/Kg (LAURINDO, 2014) até 10.950Kcal/Kg (STONA, 2011). Segundo ainda a “TABELA DE CONVERSÃO, DENSIDADES E PODERES CALORÍFICOS” da ANP, publicada em 2015, esse valor é de 10.100Kcal/Kg.

3.4 COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL E DO DIESEL

A utilização do biodiesel, seja puro ou misturado ao óleo Diesel, pode apresentar vantagens e desvantagens técnicas, ambientais, sociais e de segurança, se comparadas ao Diesel. Dentre as vantagens podemos destacar a redução do perigo de explosão, maior biodegradabilidade e menor toxicidade. Dentre as desvantagens podemos citar a dependência de matérias-primas, menor estabilidade e problemas de fluidez a baixas temperaturas (SILVA, 2014).

3.4.1 Vantagens da utilização de biodiesel em detrimento do uso de Diesel como fonte energética

Existem muitas vantagens da utilização do biodiesel como fonte alternativa de energia. Uma das notáveis vantagens, especificamente no Brasil, está a grande vastidão territorial do país, que permite a produção de oleaginosas em quantidade suficiente para a produção de biodiesel para boa parte dos setores potenciais consumidores desse combustível. É válido levantar ainda que, comumente, as oleaginosas não necessitam de solos muito férteis para sua produção. Dessa forma, os locais onde a produção de alimentos é restrita, poderiam fornecer um bom solo para essas oleaginosas, a exemplo da mamona e babaçu. (BIODIESELBR, 2011)

Uma das vantagens logísticas da utilização do biodiesel é a sua lubricidade. Devido a sua viscosidade e densidade, o biodiesel figura como um excelente aditivo lubrificante. Destarte, o seu uso como combustível pode aumentar a vida útil dos motores e sistemas auxiliares dos veículos, reduzindo os atritos entre as diversas peças e protegendo de intempéries e da formação de oxidação. (BIODIESELBR, 2011)

O biodiesel, em relação ao seu concorrente fóssil, possui em média um número de cetano mais adequado aos motores utilizados atualmente o que possibilita uma melhoria do desempenho do motor pela sincronização dos movimentos de compressão e descompressão dos pistões com os momentos de ignição e explosão do combustível, além da lubricidade que possibilita a redução de desgastes, como já citado. (BIODIESELBR, 2011)

Como o ponto de fulgor do biodiesel é em média mais alto que o do Diesel, o risco de explosão durante a produção, o transporte, a distribuição, o armazenamento e a utilização do biodiesel são relativamente menores, se comparado com o seu substituto fóssil, o que facilita essas diversas fases logísticas. Em média, para ocorrer a explosão do biodiesel é necessária uma fonte de calor com temperatura maior que 150°C. (BIODIESELBR, 2011)

Apesar de a queima do biodiesel também liberar gases relacionados ao efeito estufa, esses gases liberados durante a queima foram retirados da atmosfera, durante o crescimento da oleaginosa que foi utilizada para a produção do combustível. Dessa forma, o uso do biodiesel como combustível assegura um grande ganho ambiental, no que diz respeito a reduzir o avanço do efeito estufa. O Diesel de petróleo, por sua vez, é um combustível não renovável e sua queima lança na atmosfera gases de carbono provenientes de uma reserva que antes estava acondicionada no solo em forma de petróleo. Dessa forma, ao contrário do biodiesel, o Diesel contribui para o avanço do efeito

estufa. (BIODIESELBR, 2011)

O uso do biodiesel B100 já foi viabilizada após avaliação da sua ação nos componentes do motor, demonstrando sua combustão ocorre, na maioria das vezes, de forma completa, não apresentando, dessa forma, nenhum resíduo ou subproduto indesejado proveniente da queima do mesmo. Além disso, já foi comprovado que não se faz necessária nenhuma adaptação em caminhões, tratores ou máquinas para a utilização desse combustível. E apesar de sua utilização de forma pura (B100) já haver sido comprovada viável, o biodiesel possui uma considerável versatilidade e pode ser utilizada em qualquer fração na mistura com Diesel, visto que é um produto miscível com o Diesel do petróleo. (BIODIESELBR, 2011)

Além de se tratar de uma fonte de energia renovável e que contribui para a diminuição do severo avanço do efeito estufa, como já citado, a sua utilização também possui vantagens dos pontos de vista sociais e econômicos. A produção das oleaginosas e do biodiesel em si pode estimular a agricultura, inclusive a agricultura familiar, e agroindústria do país, gerando renda e emprego no setor primário e setor secundário da economia. Além disso, existe ainda a possibilidade da criação e manutenção de programas de subsidio a pequenos produtores, nos quais o produtor pode receber algum desconto na compra de combustível para a produção de matéria prima ou realiza a compra de combustível por meio da permuta da matéria prima pelo combustível. (BIODIESELBR, 2011)

A diversidade de oleaginosas que podem ser utilizadas para a produção de biodiesel possibilitam ao produtor realizar a rotação de culturas em sua propriedade, o que diminui os déficits de nutrientes no solo, diminuem as chances de alastrar fitopatologias na região e reduz a necessidade da utilização de adubos e de agrotóxicos. Também é válido levantar que o biodiesel é uma fonte de energia renovável, seguindo o ciclo dos produtos provenientes da agroindústria. No caso do biodiesel, a planta absorve gás carbônico da atmosfera durante o seu crescimento e a queima do biocombustível lança novamente esses gases na atmosfera, contribuindo para um equilíbrio no ciclo do carbono. (BIODIESELBR, 2011)

A pesquisa e a prospecção do petróleo demandam muitos gastos e investimentos. No caso do biodiesel, esse gasto é praticamente anulado, visto que não existe a prospecção do biodiesel e a pesquisa do mesmo resume-se a trabalhos relativamente baratos e que precisam de equipamentos e materiais relativamente bem mais baratos que os utilizados na pesquisa do petróleo, que inclui, muitas vezes, sondas e radares submarinos que podem custar milhões. (BIODIESELBR, 2011)

A grande maioria dos veículos automotivos utilizados no transporte industrial e agropecuário, atualmente, utilizam o Diesel como fonte combustível. O biodiesel vem a ser uma alternativa econômica, social e ambientalmente viável, tendo as vantagens de ser confiável, por já ter sido testada; ser renovável e fortalecer a economia do país pela geração de empregos e maior distribuição de renda. (BIODIESELBR, 2011)

A utilização do biodiesel em detrimento do Diesel contribui para uma redução da emissão de óxidos de nítricos e óxidos de enxofre que são tóxicos para o ser humano e podem causar diversos problemas ambientais, tais como: chuva ácida, diminuição do pH de massas de água e do solo, contribui para a extinção da macro e da micro flora e fauna. (BIODIESELBR, 2011).

3.4.2 Desvantagens da utilização de biodiesel em detrimento do uso de Diesel como fonte energética

Apesar de ser considerada uma alternativa tecnicamente viável para o Diesel de petróleo, o custo de produção do biodiesel ainda é relativamente muito alto, variando de 1,5 (um vírgula cinco) a 3 (três) vezes o do Diesel, o que o torna menos competitivo se considerarmos apenas o viés econômico, além dos seus benefícios em relação ao meio ambiente, à manutenção de empregos, à distribuição de renda e ao desenvolvimento da economia. (BIODIESELBR, 2011)

Com o aumento da produção de biodiesel, haverá também o aumento da produção de seu subproduto, a glicerina. Esse aumento da oferta desse subproduto deve diminuir os preços do mesmo, o que pode afetar todo o mercado de óleo-químicos, do qual a glicerina faz parte como uma das principais matérias primas. Além disso, a diminuição do preço do subproduto vai tornar a produção do biodiesel em si relativamente mais cara. (BIODIESELBR, 2011)

Existe uma preocupação com os efeitos negativos do biodiesel para o meio ambiente, visto que a busca por áreas agricultáveis pode estimular o desmatamento de florestas e matas nativas, diminuindo a biodiversidade, tanto da flora, quanto da fauna. (BIODIESELBR, 2011)

Apesar da grande extensão territorial do Brasil, além da preocupação com o aumento do desmatamento, como citado anteriormente, outra preocupação a respeito do aumento da utilização do biodiesel é que terras produtivas, utilizadas atualmente para a produção de alimentos ou rações para atividades pecuárias, sejam utilizadas para a produção de matéria prima para esse biocombustível. Destarte, pode ocorrer a escassez de alimentos, bem como a inflação de demanda dos preços de alimentos, o que é um fator muito preocupante a ser considerado para a utilização

desse e de outros biocombustíveis. (BARROS; ALVES; OSAKI, 2008)

Em relação à flexibilização do uso do biodiesel, atualmente, a legislação não autoriza a utilização do biodiesel em carros de passeio que possuem motores a Diesel, o que é agravado por a legislação não ser eficiente em especificar o que seria carro de passeio, acabando por classificar alguns carros que são utilizados como carros para transporte de carga, principalmente em zonas rurais, sejam considerados carros de passeio (BIODIESELBR, 2006). Por mais que atualmente tramite na Câmara dos Deputados o projeto de lei nº 6942/10, que visa permitir o uso do B100 em carros de passeio, essa proibição ainda figura como um grande fator de redução do consumo do biodiesel. (JUSBRASIL, 2010)

Um outro problema da utilização do biodiesel é o seu ponto de fluidez, que é maior que o do Diesel de petróleo. Dessa forma, em temperaturas amenas, ocorre a formação de cristais no biodiesel, que podem causar entupimentos e mau funcionamento no motor. Por mais que o nosso país tenha um clima tropical, em algumas regiões do país, durante algumas épocas do ano, existe a possibilidade de ocorrer temperaturas negativas. (BIODIESELBR, 2006) Além disso, alguns desses óleos, provenientes de alguns tipos de matéria prima, como o biodiesel proveniente da mamona ou da palma, o ponto de fluidez pode alcançar 12°C (BENJUMEA; AGODELO; AGODELO, 2008), o que impossibilita seu uso em várias regiões do país.

Geralmente, nos motores que utilizaram Diesel de petróleo durante muito tempo, ocorrem acúmulos de sujeiras e resíduos no tanque. Embora seja uma vantagem da utilização do biodiesel, o seu uso acaba por liberar esses resíduos que podem provocar entupimentos ou mau funcionamento no motor. Dessa forma, faz-se necessário a limpeza do tanque de combustível antes de iniciar a utilização do biocombustível, bem como realizar uma troca de filtro de óleo quando completar 100 (cem) horas da utilização do mesmo. (BIODIESELBR, 2006)

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS MOTORES DAS PRINCIPAIS VIATURAS MILITARES DO EXÉCITO BRASILEIRO

3.5.1 Motor da Viatura Blindada de Combate (VBC) – Carro de Combate (CC) LEOPARD 1 A1

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da VBC – CC LEOPARD 1 A1, segundo a IP 17-82/2000, do Exército Brasileiro:

a. Fabricante - MTU (Daimler Benz).

b. Modelo - MB 838 C A M 500.

(1) MB - Mercedes-Benz.

(2) 838 - Número do projeto.

(3) C A M

C - Admissão de ar por compressão;

A - Bloco de alumínio; e

M - Multicarburente (DIESEL ou Querosene de aviação, JP4).

(4) 500 - Tipo de veículo (LEOPARD 1).

c. Tipo - 10 cilindros em “V” (5 em cada bancada) a 90°, DIESEL, 4 tempos com pré-câmara (Injeção Indireta) e assimétrico.

d. Cilindrada - 37,4 l (diâmetro 165 mm x curso 175 mm).

e. Combustíveis admissíveis - DIESEL, F54, Querosene e JP4.

f. Compressão:

(1) motor novo - 36 bar;

(2) motor usado - 18 bar;

(3) diferença máxima entre cilindros - 8 bar.

g. Potência máxima - 830 cv a 2.200 RPM.

h. Torque máximo - 286 Kgm a 1.500 RPM.

i. Peso a seco - 1.920 Kg.

j. Regimes:

- (1) marcha lenta - 850 RPM;
- (2) máximo vazio - 2.400 RPM;
- (3) com carga - 2.200 RPM; e
- (4) de trabalho - 1.800 a 2.000 RPM.

l. Pressão mínima de óleo do motor:

- (1) 1,2 bar a 850 RPM;
- (2) 2,5 bar a 2.200 RPM.

m. Pressão normal do óleo do motor - 4,5 a 5,0 BAR a 2.200 RPM.

n. Temperatura de trabalho - 75 a 93° C.

o. Capacidade de óleo lubrificante - SAE 15 W 40.

- (1) Total - 54 l;
- (2) Troca – 57 l

3.5.2 Motor da VBC – CC M60 A3 TTS

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da VBC – CC M60 A3 TTS, segundo a IP 17-84/2002, do Exército Brasileiro:

- a. Fabricante - Continental.
- b. Modelo – AVDS – 1790 – 2CA.
- c. Tipo - 12 cilindros em “V” a 90°, DIESEL, 4 tempos com ignição por compressão.
- d. Combustíveis admissíveis – DIESEL.
- e. Potência máxima - 750 HP a 2.400 RPM.
- f. Peso a seco – 2.217 Kg.
- g. Capacidade de óleo lubrificante - 95 l;

3.5.3 Motor da Viatura Blindada de Transporte de Pessoal (VBTP) – M113 B

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da VBTP – M113

B, segundo o Manual de Instruções de Motores Industriais OM-352A, da Mercedes-Benz:

- a. Fabricante – Mercedes-Benz.
- b. Modelo – OM-352A.
- c. Tipo - 6 cilindros verticais em linha, DIESEL, 4 tempos.
- d. Cilindrada – 5.675 cm³
- e. Combustíveis admissíveis – DIESEL.
- f. Taxa de compressão: 16:1
- g. Pressão de compressão: 22 a 24bar
- h. Potência máxima - 130cv a 2.600 RPM.
- i. Pressão mínima de óleo do motor:
 - (1) 0,5 bar a 1800 RPM;
 - (2) 2,5 bar a 2.600 RPM.
- j. Temperatura de trabalho - 80 a 95° C.
- k. Capacidade de óleo lubrificante: 14 l no carter e 2,5 l no filtro.
- l. Torque Máximo: 44Kgm a 2800RPM

3.5.4 Motor da VBTP – M113 BR

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da VBTP – M113 BR, segundo o “Specification & Application Data” e o “Detroit Diesel – Series 53 Operators Manual”, da Detroit Diesel Corporation:

- a. Fabricante – Detroit Diesel Coporation
- b. Modelo – 6V-53T
- c. Tipo - 6 cilindros em V, DIESEL, 2 tempos, turbinado
- d. Cilindrada – 5.220 cm³
- e. Combustíveis admissíveis – DIESEL.
- f. Taxa de compressão: 18,7:1
- g. Pressão de compressão: 24 a 26 bar

- h. Potência máxima – 278,8cv a 2.400 RPM.
- i. Temperatura de trabalho - 71 a 85° C.
- j. Capacidade de óleo lubrificante: 37,85L (10 galões)
- k. Torque Máximo: 78,53 Kgm a 1800RPM

3.5.5 Motor da VBTP – MR GUARANI

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da VBTP – MR GUARANI, segundo o Manual Técnico MT 2355-005-12/2015, do Exército Brasileiro:

- a. Fabricante – Iveco.
- b. Modelo – FPT Cursor 9 F2C.
- c. Tipo - 6 cilindros verticais em linha, DIESEL, 4 tempos.
- d. Cilindrada – 8.710 cm³
- e. Combustíveis admissíveis – DIESEL e QAV.
- f. Taxa de compressão: 15,9:1
- g. Pressão de compressão: 21 A 25 bar
- h. Potência máxima - 383cv a 2.100 RPM.
- i. Pressão mínima de óleo do motor:
 - (1) 1,2 bar a 1.000 RPM;
 - (2) 2,5 bar a 2.100 RPM.
- j. Temperatura de trabalho - 79 a 93° C.

3.5.6 Motor da VBTP – EE-11 URUTU

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da VBTP – EE-11 URUTU, segundo o Manual de Operação MM-015-048/2000, do Exército Brasileiro:

- a. Fabricante – Mercedes Benz do Brasil
- b. Modelo – OM-352A.
- c. Tipo - 6 cilindros verticais em linha, DIESEL, 4 tempos.

- d. Cilindrada – 5.675 cm³
- e. Combustíveis admissíveis – DIESEL.
- f. Taxa de compressão: 16:1
- g. Pressão de compressão: 22 a 24bar
- h. Potência máxima - 130cv a 2.600 RPM.
- i. Pressão mínima de óleo do motor:
 - (1) 0,5 bar a 1800 RPM;
 - (2) 2,5 bar a 2.600 RPM.
- j. Temperatura de trabalho - 81 a 95° C.
- k. Capacidade de óleo lubrificante: 14 l no carter e 2,5 l no filtro.
- l. Torque Máximo: 44Kgm a 2800RPM

3.5.7 Motor do Caminhão Militarizado VW WORKER 15.210 4X4 – 5 TON

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor do Caminhão Militarizado VW WORKER 15.210 4X4 – 5 TON, segundo o “Manual de Oficina Série 10”, da MWM International:

- a. Fabricante – MWM Motores Diesel
- b. Modelo – 6.10 TCA DIESEL
- c. Tipo - 6 cilindros verticais em linha, DIESEL, 4 tempos.
- d. Cilindrada – 6.450 cm³
- e. Combustíveis admissíveis – DIESEL.
- f. Taxa de compressão: 15,8:1
- g. Pressão de compressão: 22 a 24 bar
- h. Potência máxima - 206cv a 2.600 RPM.
- i. Pressão mínima de óleo do motor:
 - (1) 1,0 bar à rotação nominal;
 - (2) 4,5 bar à marcha lenta.

- j. Temperatura de trabalho – 90 a 110° C.
- k. Capacidade de óleo lubrificante: 17 l no carter e 1,7 l no filtro.
- l. Torque Máximo: 67 Kgm a 1.700RPM

3.5.8 Motor da Camionete Militarizada AGRALE MARRUÁ 4X4

A seguir, serão citados os dados relativos às características do motor da Camionete Militarizada AGRALE MARRUÁ 4X4, segundo o “Manual de Oficina – SPRINT 4.07”, da MWM International:

- a. Fabricante – MWM Motores Diesel
- b. Modelo – SPRINT 4.07 TCA DIESEL
- c. Tipo - 4 cilindros verticais em linha, DIESEL, 4 tempos.
- d. Cilindrada – 2.800 cm³
- e. Combustíveis admissíveis – DIESEL.
- f. Taxa de compressão: 17,8:1
- g. Pressão de compressão: 20 a 23 bar
- h. Potência máxima – 150 cv a 3.200 RPM.
- i. Pressão mínima de óleo do motor:
 - (1) 0,7 bar à marcha lenta;
 - (2) 4,9 bar à rotação máxima.
- j. Temperatura de trabalho – 106 a 115°C.
- k. Capacidade de óleo lubrificante: 5 l no carter e 3 l no filtro.
- l. Torque Máximo: 36,7 Kgm a 1.800RPM

4 DISCUSSÃO

No que diz respeito à eficiência do biodiesel quando comparada com a eficiência do Diesel, podemos considerar vários pontos distintos. O biodiesel, como combustível de motores do ciclo Diesel, tem vantagens e desvantagens se comparado com o Diesel. A partir de agora, iniciaremos uma análise desses pontos.

Em relação à viscosidade, o biodiesel possui, em média, valores para viscosidade maiores que os valores para essa propriedade do Diesel S10. Enquanto a ANP determina que a viscosidade do biodiesel esteja entre 3,0 e 6,0mm²/s à 40°C e viscosidade média do biodiesel das diferentes espécies vegetais citadas no referencial teórico é de 4,23mm²/s na mesma temperatura, o valor para a viscosidade do Diesel é de 2,0 a 4,5mm²/s à 40°C, também segundo a ANP. Dessa forma, em relação ao Diesel, o biodiesel proporciona uma maior lubrificidade para os componentes do motor, sendo que essa viscosidade não é alta o suficiente para atrapalhar o funcionamento do motor.

Quando focamos na densidade, o biodiesel proveniente das matérias primas citadas no referencial teórico possui, em média, o valor de 880,89kg/m³ para densidade à 20°C, sendo que segundo à ANP esse valor deve estar entre 850 e 890kg/m³ também à 20°C. Já o Diesel, segundo a resolução nº 50/2013 da ANP, deve possuir a densidade entre 815 e 850kg/m³. Essa maior densidade do biodiesel proporciona uma maior quantidade de massa de combustível em cada ciclo de admissão. Esse fato ajuda a equiparar o biodiesel ao Diesel no que diz respeito ao poder calorífico: como o biodiesel possui um menor poder calorífico por unidade de massa e uma maior densidade, se comparada ao Diesel, o poder calorífico por unidade de volume é aproximadamente o mesmo, como veremos a frente. Além disso, o biodiesel, sendo uma mistura de ésteres, possui uma queima completa, sem a liberação de resíduos sólidos. Dessa forma, a maior densidade do biodiesel não se traduz em uma maior liberação de resíduos nos componentes do motor.

Quando voltamos nossas vistas para o ponto de fulgor, percebemos uma das grandes vantagens da utilização do biodiesel em relação ao Diesel. Enquanto o Diesel possui um ponto de fulgor a partir de 38°C a média aritmética do ponto de fulgor das espécies vegetais levantadas anteriormente é de 144,5°C, quase quatro vezes maior. Isso se traduz em uma enorme margem de segurança durante o transporte, armazenamento e distribuição desse biocombustível, se comparado com essas fases para o Diesel, pois, por seu ponto de fulgor, o biodiesel tem uma chance muito

menor de provocar explosões e incêndios.

Os valores de NC dos dois combustíveis é relativamente parecido, sendo que o biodiesel possui um NC um pouco maior que o do diesel, em média. Enquanto que para o óleo Diesel os valores giram em torno de 48 na escala de NC, para o biodiesel esse valor, de acordo com a média aritmética dos valores obtidos do biodiesel das diferentes espécies vegetais levantadas anteriormente, é de 58,8 na escala. Esse é um bom indicativo da aplicabilidade do biodiesel nos motores ciclo Diesel: os valores próximos na escala de NC, indicam uma resistência à compressão semelhante.

Considerando as viaturas militares ou militarizadas que foram pesquisados anteriormente, no geral as suas taxas de compressão e, conseqüentemente, os seus valores para a pressão de compressão são relativamente baixos para um motor ciclo Diesel, com taxas de compressão de 15,8:1 a 18,7:1 e pressão de compressão entre 20 e 26 bar. Os motores do ciclo Diesel possuem taxas de compressão entre 14:1 e 25:1 e pressão de compressão entre 20 e 50 bar. Dessa forma, esses motores pesquisados apresentam um melhor funcionamento com combustíveis de maior número de cetano, que possuem uma menor resistência à compressão.

Nesse cenário, o biodiesel se destaca em relação ao óleo Diesel, visto que seu maior NC proporciona uma menor resistência à compressão e como os motores das viaturas do EB possuem essa taxa de compressão relativamente baixa, um combustível de menor resistência à compressão proporcionaria um melhor desempenho para o motor, além de reduzir gastos com manutenções e reparos.

O ponto de fluidez, por sua vez, se apresenta como um dos principais pontos negativos para a utilização do biodiesel. Embora a média aritmética dos pontos de fluidez do biodiesel das espécies vegetais citadas anteriormente seja próximo de 0°C (0,22°C), existem alguns dos biodieseis podem apresentar ponto de fluidez de até 12°C, bem maior que o ponto de fluidez do Biodiesel, que geralmente fica abaixo de 0°. Essa condição se agrava quando tomamos em conta que várias das OM's Blindadas do EB estão localizadas na Região Sul do país, onde o clima tropical temperado proporciona temperaturas baixas, e até negativas, durante parte do ano. Dessa forma, a utilização de biodiesel de certas origens vegetais representaria um risco de ocorrer entupimentos e danos ao motor, devido a formação de cristais que ocorre em temperaturas baixas.

Em relação ao poder calorífico, como já tratado anteriormente, o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao óleo Diesel não se traduz, necessariamente, em perda de autonomia ou

torque graças a sua maior densidade. Enquanto a média aritmética do poder calorífico do biodiesel das espécies vegetais citadas anteriormente é de 9.704,5 Kcal/Kg, o valor dessa propriedade para o óleo Diesel é de 10.100 Kcal/Kg. Entretanto, tendo em vista os valores de densidades dos dois combustíveis, o poder calorífico do biodiesel é de 8.548,6 Kcal/l, enquanto o óleo Diesel possui um poder calorífico de 8.484 Kcal/l. Assim, como o motor admite um volume fixo de combustível por ciclo, o uso do biodiesel proporciona, inclusive, um pequeno ganho de torque e autonomia em relação ao uso do óleo Diesel, visto que o primeiro possui um pouco mais de energia por unidade de volume que o segundo.

Um dos aspectos que não podem ser ignorados quando consideramos a utilização de biodiesel em viaturas militares é a degradação desse biocombustível, que ocorre mais rapidamente que a do diesel devido a ação microbiana ser mais intensa no biodiesel, graças a composição química do biodiesel que é mais simples que a do óleo Diesel (VAZ, 2010), sendo que uma das consequências dessa degradação é a formação de água. Como no EB, por muitas vezes, o combustível é estocado por longos períodos e é comum que as viaturas fiquem estacionadas com tanque cheio, também por períodos consideravelmente longos; essa degradação torna-se extremamente problemática, tanto no que tange a perda de eficiência do combustível em si, quanto no que diz respeito a possibilidade de oxidação de partes do motor, do sistema de alimentação e do tanque de combustível devido a formação de água pela degradação.

5 CONCLUSÃO

Como destacado no presente trabalho, o biodiesel, mesmo em sua forma pura (B100), representa uma alternativa viável para o óleo Diesel. A sua utilização como combustível nas viaturas militares do EB pode trazer diversas vantagens tanto para a instituição, quanto para a economia nacional, para o meio ambiente e para a sociedade. O aumento do consumo desse biocombustível pelo EB pode reduzir gastos com manutenção das viaturas, beneficiar pequenos agricultores e estimular a economia, proporcionar um melhor funcionamento das viaturas e possibilitar uma melhora a imagem do EB frente a população brasileira.

Essa substituição de combustível (do óleo Diesel para o biodiesel), apesar de poder ser muito vantajosa, ainda necessita de bastante estudo dos seus impactos econômicos, ambientais e sociais; de adaptações logísticas, técnicas e procedimentais e de especialização de pessoal. É interessante que seja dada atenção a essas pautas em estudos futuros.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Biodiesel**. Brasil, [201-?]. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/simp-biodiesel>. Acesso em: 5 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores**. [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?dw=82253>. Acesso em: 25 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **RANP nº 45, 26 de agosto de 2014**. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>. Acesso em: 28 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **RANP nº 50, 23 de dezembro de 2013**. [S. l.], 24 dez. 2013. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2013/dezembro&item=ranp-50--2013>. Acesso em: 25 maio 2019.

BARROS, G.; ALVES, L.; OSAKI, M. **Biocombustíveis, segurança alimentar e subsídios compensatórios**. Piracicaba, 2008. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/biocombustiveis-segurancaalimentar-e-subsidios-compensatorios.aspx>. Acesso em: 18 maio 2019.

BIODIESELBR. **As desvantagens do biodiesel**. [S. l.], 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2006/biodiesel-desvantagens/>. Acesso em: 18 maio 2019.

BIODIESELBR. **Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel**. [S. l.], 9 nov. 2011. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/especificacoes/biodiesel-propriedades-fisicas-quimicas>. Acesso em: 1 abr. 2019.

BIODIESELBR. **Vantagens do Biodiesel**. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel>. Acesso em: 11 maio 2019.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 6942/2010**. [S. l.], 2010. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=469136>. Acesso em: 18 maio 2019

CASTELLANELLI, M. *et al.* **Desempenho de motor ciclo Diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas Diesel/biodiesel**. ENGENHARIA AGRÍCOLA, v.28, Jaboticabal, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n1/a15v28n1.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2019.

CAVALCANTE, R. M. **Predição da densidade de biodiesel proveniente de diferentes matérias primas**. 2010. Dissertação de Mestrado (Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://epqb.eq.ufrj.br/download/predicao-da-densidade-de-biodiesel.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DETROIT DIESEL CORPORATION. **Specification & Application Data**. [S. l.: s. n.], [198-?]. Disponível em: http://powerforce.com/PDFs/2Cycle_Engines/DS_PF6V-53T_CMP.pdf. Acesso em: 28 maio 2019.

DETROIT DIESEL CORPORATION. **Technical Manual - Detroit Diesel Engine (Series 53)**. [S. l.: s. n.], 1981. Disponível em: <http://manuals.chudov.com/Detroit-Diesel/Detroit-Diesel-Series-53/Detroit-Diesel-Series-53-Operators-Manual.pdf>. Acesso em: 27 maio 2019.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **A viatura Blindada de Combate - Carro de Combate LEOPARD 1 A1**. [S. l.: s. n.], 2000.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **A viatura Blindada de Combate - Carro de Combate M60 A3 TTS**. [S. l.: s. n.], 2002.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **A Viatura Blindada de Transporte de Pessoal - GUARANI (VBTP 6x6 - MR)**. [S. l.: s. n.], 2015.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **EE-11 URUTU – Manual de Operação**. [S. l.: s. n.], 2000.

FERREIRA, A. F. *et al.* **Tensão de Cisalhamento**. Trabalho acadêmico (Graduação em Engenharia Civil) - FUNORTE - Faculdades Unidas do Norte de Minas, Montes Claros, 2009. Disponível em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAA9A0AD/tensao-cisalhamento#>. Acesso em: 2 abr. 2019.

FOLQUENIN, E.K.F. **Validação das análises físico-químicas exigidas pela ANP para misturas diesel-biodiesel**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química analítica) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2053>. Acesso em: 9 abr. 2019.

KNOTHE, G. *et al.* **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

LAURINDO, J. C. **Poderes Caloríficos de Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos**. Curitiba, 2014. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM365/Exercicios/Poderes%20Calor%EDficos%20de%20Combust%EDveis%20solidos%20%EDquidos%20e%20gasosos.docx. Acesso em: 3 maio 2019.

LIMA, C. J. B *et al.* **Transesterificação do biodiesel metílico de óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) catalisado por Hidróxido de Sódio.** 2015, 15 abr. 2015. Disponível em: <http://www.abq.org.br/biocom/2015/trabalhos/70/6438-17599.html>. Acesso em: 15 jun. 2019.

LIMA, A. K. S. *et al.* **Avaliação do ponto de névoa e do ponto de fluidez do biodiesel de ouricuri e das suas misturas com Diesel.** *In:* XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2014. Florianópolis: [s. n.], 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0102-27029-163559.pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.

MERCEDES-BENZ DO BRASIL S.A. **Motores Industriais OM-352A.** [S. l.: s. n.], 1987. Disponível em: <https://manuall.pt/mercedes-benz-om-352-motor/>. Acesso em: 25 maio 2019.

MWM INTERNACIONAL. **Manual de Oficina - Série 10.** São Paulo: [s. n.], 2007. Disponível em: <http://polipeças.com/wp-content/uploads/2016/11/MO-SERIE-10.pdf>. Acesso em: 31 maio 2019.

MWM INTERNACIONAL. **Manual de Oficina - Sprint.** São Paulo: [s. n.], 2001. Disponível em: <http://polipeças.com/wp-content/uploads/2016/10/MO-SPRINT-4.07-6.07.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2019.

OLIVEIRA, M. C. J. **Diesel e biodiesel de murumuru e de soja: Desempenho operacional de trator agrícola no preparo do solo.** 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/134252/oliveira_mcyj_dr_jabo_int.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 20 abr. 2019.

PACHECO, L. J. *et al.* **Efeito da temperatura e da taxa de deformação do comportamento mecânico do PEAD reciclado.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. Disponível em: <http://www.mec.uff.br/pdfteses/LiviaJulioPacheco2014.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2019.

SANTOS, F. M. S. M. ; SANTOS, F. A. C. M. O combustível "Hidrogênio". *In:* COMPENDIUM DA EDUCAÇÃO 2005, Florianópolis. **O Combustível Hidrogênio [...].** Florianópolis: [s. n.], 2005. Disponível em: <http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/435/1/Combustível%20hidrogênio.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2019.

SILVA, L. C. M. **Processo de Produção de Biodiesel e Análise de Parâmetros de Qualidade.** 2014. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Bragança, 2014. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/10321/1/Lu%C3%ADs%20Carlos%20Matos%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

SILVA, M. V. I. **Efeitos do uso do biodiesel sobre propriedades do óleo lubrificante usado em motor de ignição por compressão.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-02102006-153234/publico/SILVA_MVI_2006_Dissertacao_Efeitos_do_biodiesel.pdf. Acesso em: 30 abr. 2019.

SOUZA, T. S. **Estudo da Transesterificação Metílica do Óleo da Cutieira (*Joannesia Princeps Vell.*) e da Munguba (*Pachira Aquatica Aubl.*) em Meio Alcalino.** 2008. Dissertação de Mestrado (Mestre em Biocombustíveis) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/4643/1/tese_3350_.pdf. Acesso em: 15 jun. 2019.

STONA, S. A. **Produção, estudo e caracterização físico-química de biodiesel a partir de óleos de soja *in natura* e residual, girassol, canola, milho e mamona.** 2011. Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) - Instituto Federal do Paraná, Palmas, 2011. Disponível em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAE9ecAE/producao-caracterizacao-biodieseis>. Acesso em: 3 maio 2019.

VAZ, F. S. **Bactérias Degradadoras de Biodiesel, Diesel e Misturas em Tanques de Armazenamento.** 2010. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <https://posstrictosensu.iptsp.ufg.br/up/59/o/DissertacaoFernandoVaz2010.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2019.

VIEIRA, J. S. C. *et al.* **Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais contendo alto teor de ácidos graxos livres.** [S. l.], 2017. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6701. Acesso em: 5 jun. 2019.

ZUNIGA, A. D. G. *et al.* **Revisão: Propriedades físico-químicas do biodiesel. Ecotoxicol e meio ambiente,** Curitiba, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/25939>. Acesso em: 21 mar. 2019.