

Artigo

Avaliação Experimental do Desempenho de Motores do Ciclo Diesel Utilizando Misturas Biodiesel/Diesel Marítimo

Souza, L. S. A.; Guarieiro, L. L. N.; Santos, A. A. B.*

Rev. Virtual Quim., 2016, 8 (4), 1192-1203. Data de publicação na Web: 29 de julho de 2016

<http://rvq.sbq.org.br>

Experimental Evaluation of Marine Diesel Engine Performance Using Blends of Biodiesel and Diesel with High-Sulfur Concentration

Abstract: The diesel fuel is widely used in Brazil and its composition can have high sulfur contents (up to 5000 ppm, 0.5 wt%) depending on its purpose, such as the fuel used in vessels called marine Diesel. Thus, this study aimed to evaluate the performance (power, torque and fuel consumption) of diesel engines fueled with mixtures of marine diesel and biodiesel. The fuels were evaluated mixtures of 5% (B5); 10% (B10); 20% (B20); 40% (B40), 60% (B60) of biodiesel added to marine diesel and pure biodiesel (B100). The results obtained for power showed that biodiesel blends performed better around 2500 rpm. The results of torque to the fuel blends were in the range 366-374 Nm in rotation around 1500 rpm and 370 Nm for the same speed marine diesel. The marine diesel showed the best results in fuel consumption (20.8 kg / ha 1500 rpm). The use of 5% biodiesel added to marine diesel was 7.7% economically more advantageous than pure marine diesel.

Keywords: Biodiesel; marine diesel; high sulfur contents; diesel engine.

Resumo

O óleo diesel é um combustível muito utilizado no Brasil e sua composição pode apresentar teores de enxofre elevados podendo chegar até 5.000 ppm (0,5% em massa) a depender de sua finalidade, como é o caso do combustível utilizado em embarcações, o chamado diesel marítimo. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo diesel abastecidos com misturas de diesel marítimo e biodiesel. Os combustíveis avaliados foram as misturas de 5% (B5); 10% (B10); 20% (B20); 40% (B40), 60% (B60) de biodiesel adicionado ao diesel marítimo e o biodiesel puro (B100). Os resultados obtidos para potência demonstram que as misturas de biodiesel tiveram melhor desempenho na rotação em torno de 2500 rpm. Os resultados de torque para as misturas combustíveis estiveram na faixa de 366 – 374 Nm na rotação em torno de 1500 rpm e 370 Nm para o diesel marítimo em mesma rotação. O diesel marítimo apresentou os melhores resultados de consumo de combustível (20,8 kg/h a 1500 rpm). A utilização 5% de biodiesel adicionado ao diesel marítimo foi 7,7% mais vantajoso economicamente do que diesel marítimo puro.

Palavras-chave: Biodiesel; diesel marítimo; alto teor de enxofre; motor diesel.

* SENAI CIMATEC, Faculdade de Tecnologia, Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

✉ alex.santos@fieb.org.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20160085](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160085)

Avaliação Experimental do Desempenho de Motores do Ciclo Diesel Utilizando Misturas Biodiesel/Diesel Marítimo

Luciano S. A. Souza,^a Lilian L. N. Guarieiro,^{a,b} Alex A. B. Santos^{a,b,*}

^a SENAI CIMATEC, Faculdade de Tecnologia, Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

^b Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia e Ambiente, CEP 40170-290, Salvador-BA, Brasil.

* alex.santos@fieb.org.br

Recebido em 29 de julho de 2016. Aceito para publicação em 29 de julho de 2016

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

2.1. Características dos Combustíveis e motores ciclo diesel

2.2. Avaliação do desempenho dos motores em dinamômetro

3. Resultados e Discussão

3.1. Avaliação do desempenho de motores diesel marítimo usando Diesel e Biodiesel

3.2. Avaliação de tendências de desempenho de motor diesel com uso de biodiesel

4. Conclusões

1. Introdução

O motor diesel é o equipamento mais comum para promover a mobilidade dos meios de transporte terrestres e aquaviários. Isto é devido às suas características de ser um equipamento simples, tem bom desempenho, facilidade de manutenção, ser alimentado por um combustível de baixo consumo, baixo custo e tem boa durabilidade e eficiência.¹ O motor diesel é amplamente usado em aplicações marítimas (isto é, propulsão e auxiliares), com exceção de alguns casos, em que são utilizadas as turbinas a gás ou de vapor. Este é o resultado

da sua elevada eficiência e viabilidade em relação a outras fontes de energia alternativas ou compatíveis.

Diferente dos motores de veículos, os motores diesel utilizados em barcos são projetados especialmente no que diz respeito a sua calibração, o que pressupõe condições de velocidade constante. Em termos da característica do combustível utilizado nos motores ciclo diesel, pode-se dizer que existem diferentes tipos de óleo diesel sendo comercializados tanto no Brasil como no exterior. Uma das principais diferenças entre os tipos de óleo diesel é a concentração de enxofre em sua composição química. Assim, o óleo diesel com maior teor de enxofre deve

ser utilizado em barcos, devido aos problemas técnicos e ambientais que podem ocorrer. Dessa forma, os gases nocivos emitidos para a atmosfera é mais facilmente dissipado por causa do ambiente marinho não trazendo impactos diretos nos grandes centros urbanos.²

Como a maioria dos equipamentos de combustão, motores marítimos queimam óleo diesel para converter energia química em energia mecânica, conseqüentemente ocorre a oxidação de hidrocarbonetos e, por conseguinte, a emissão de poluentes.³ O enxofre presente no óleo diesel é um elemento indesejável devido à ação corrosiva dos seus compostos e a formação de gases tóxicos com SO₂ (dióxido de enxofre) e SO₃ (trióxido de enxofre), que ocorre durante a combustão do óleo. Na presença de água, o trióxido de enxofre promove à formação de ácido sulfúrico (H₂SO₄), que é altamente corrosivo para peças metálicas de equipamentos. Cerca de 70-80% das emissões dos navios estão dentro de um raio de até 400 km da costa, causando a morte prematura de 60 mil pessoas a cada ano devido as doenças carcinogênicas e cardiopulmonares.⁴

Para reduzir as emissões de poluentes oriundos da exaustão de motores marítimos é necessário o desenvolvimento de tecnologias e produtos que melhorem a eficiência do sistema de propulsão e também a utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre.³ No entanto, é importante destacar que o conteúdo em enxofre dos combustíveis fósseis é benéfico para o motor, pois pode reduzir o atrito entre as partes, devido a sua melhor lubrificidade.

Atualmente, no Brasil estão disponíveis diferentes tipos de óleo diesel, que são caracterizados pela concentração de enxofre presente neste. O diesel marítimo possui a maior concentração de enxofre entre os combustíveis comercializado, e pode chegar até 5000 ppm, enquanto que o diesel de menor concentração de enxofre comercializado no Brasil possui apenas 10 ppm (diesel S10). Além disso, o diesel marítimo é o único diesel vendido no Brasil

sem a adição de biodiesel, a adição de biodiesel ao diesel marítimo poderia colaborar para reduzir as taxas de emissão de compostos de enxofre, e contribuir para reduzir o processo de refino (dessulfurização).

Vários estudos têm sido realizados usando biocombustível e óleos vegetais adicionado ao diesel fóssil, a fim de avaliá-los como possíveis substitutos parciais e/ou totais ao diesel puro.⁵⁻¹¹ Dessa forma, a adição de biodiesel ao óleo diesel tem sido motivada por fatores como seu efeito de aumento no número de cetano do combustível, a sua capacidade de reduzir as emissões de escape de alguns poluentes a dependência do petróleo importado, bem como o apoio dos subsídios agrícolas em certas regiões do país.¹² Pode-se dizer que o biodiesel pode produzir 4,5 unidades de energia contra cada unidade de energia fóssil necessária para produzir biodiesel.¹³

Neste contexto, poucas pesquisas têm avaliado a viabilidade do uso de biodiesel puro ou adicionado ao diesel marinho (com alta concentração de enxofre).^{2,14,15,16} No entanto, as condições de contorno são necessários para viabilidade da inclusão dos biocombustíveis no sector da navegação, apesar de muitos biocombustíveis serem hidroscópicos. Poucos estudos têm sido realizados visando a avaliação do desempenho dos motores diesel para embarcações que utilizam misturas de biodiesel e diesel com alta concentração de enxofre. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar experimentalmente o desempenho de motores diesel marítimos usando diesel puro com alto teor de enxofre (diesel marítimo) e suas misturas com biodiesel.

2. Materiais e Métodos

2.1. Características dos Combustíveis e motores ciclo diesel

Os combustíveis utilizados no presente

estudo, diesel e biodiesel, foram fornecidos pela BR Petrobrás Company (Petrobrás Distribuidora, Brasil). Algumas características físico-químicas dos combustíveis utilizados neste estudo estão apresentadas na Tabela 1. Cinco misturas de combustível foram preparadas nas proporções de 5, 10, 20, 40, 60% de biodiesel adicionado ao diesel

marítimo. As misturas foram feitas em tambores com capacidade de 200 litros com as respectivas proporções suficientes para executar cada um dos testes de desempenho. A percentagem de biodiesel em cada mistura foi avaliada por espectroscopia de infravermelho (Nicolet, modelo Avatar 330 FT-IR) para verificar a qualidade da mistura.

Tabela 1. Características físico-químicas dos combustíveis utilizados no motor diesel

| Características | Diesel | Biodiesel |
|--|--------|-----------|
| Densidade (kg.m^{-3} at 20 °C) | 848 | 889 |
| Viscosidade (cSt, at 40 °C) | 4.7 | 5.8 |
| Ponto de Fulgor (°C) | 74 | 157 |
| Número de Cetano | 49 | 61 |
| Teor de ésteres (%) | - | 98 |
| Monoacilglicerídeo (% w) | - | 0.05 |
| Diacilglicerídeo (% w) | - | 0.1015 |
| Triacilglicerídeo (% w) | - | 0.1486 |
| Teor de enxofre (wt%) | 4.5 | - |

A avaliação experimental do desempenho do motor diesel com misturas de biodiesel e diesel com alta concentração de enxofre foi realizada utilizando dois motores MWM-International, modelo 229-6 com finalidades específicas marítimas, de ciclo diesel, com ignição por compressão, quatro tempos e de seis cilindros (Tabela 2). Os motores foram denominados motor A (abastecido apenas com diesel puro) e motor B (abastecido com misturas combustíveis e biodiesel puro). É importante destacar que não foi realizado ajustes no motor para o uso de biodiesel. Os motores foram montados sob uma bancada dinamométrica Positron Brown Boveri, modelo 8121, com potência nominal de 370 kW e velocidade máxima de 5.000 rpm.

2.2. Avaliação do desempenho dos motores em dinamômetro

Os testes de desempenho foram realizados seguindo os requisitos da Norma Brasileira NBR ISO 1585: 1996, Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva.¹⁷ Todos os resultados de potência e torque apresentados neste trabalho foram corrigidos de acordo com esta norma NBR. Todos os valores obtidos de dispersão que se mantiveram mais ou menos 5% foram considerados como o estatisticamente iguais, devido à resistência dos motores.

Antes da avaliação de desempenho dos motores, estes foram submetidos aos testes de durabilidade, inicialmente com um período de 30 horas de amaciamento e em seguida os ciclos de durabilidade de 300 horas. As revisões foram feitas em 50, 100, 200 e 300 horas, conforme estabelecido pelo fabricante.

Tabela 2. Ficha técnica dos motores utilizados nos ensaios

| Característica | Descrição |
|---------------------------|---------------------------------|
| Modelo | D229-6 |
| Ciclo do motor | Diesel |
| Cabecote | Individual |
| Disposição dos cilindros | 6 cilindros verticais em linha |
| Válvulas por Cilindro | 2 |
| Tipo de cilindro | Camisa úmida removível |
| Capacidade (cilindrada) | 5.883 cm ³ |
| Diâmetro dos cilindros | 102 mm |
| Curso do pistão | 120 mm |
| Sistema de Combustão | Injeção direta |
| Sistema de injeção | Mecânico |
| Injetora | Bosch - Tipo A S1000 |
| Aspiração | Natural |
| Rotação | 2.500 rpm |
| Torque | 40,9 Kgf.m (402 Nm) @ 1.400 rpm |
| Potência contínua | 81 kW (110 cv) |
| Potência máxima bloqueada | 88 kW (120 cv) |
| Peso Seco | 600 Kg |
| Taxa de compressão | 17:1 |

Durante os testes de durabilidade foram avaliadas as curvas de desempenho em 30, 50, 100, 200, 300 e 330 horas de testes. Assim, foram obtidas as curvas de potência, torque e o consumo de combustível específico para todos os combustíveis. No caso específico do motor B (abastecido com misturas combustíveis e B100), no final de cada curva de potência, o combustível usado foi substituído por outro combustível que seriam testados através do esvaziamento de toda a linha de combustível (incluindo a troca de filtro) e do tanque de combustível. O motor foi ligado após cada troca de combustível com o objetivo de queimar qualquer mistura residual do teste anterior, e só depois de vários minutos, foram levantados os novos parâmetros para o outro combustível testado.

3. Resultados e Discussão

3.1. Avaliação do desempenho de motores diesel marítimo usando Diesel e Biodiesel

Os motores de A e B, respectivamente, abastecidos com diesel e misturas de combustíveis (diesel com biodiesel) foram avaliados por um teste de durabilidade de 330 horas em que as primeiras 30 horas eles estavam no processo de amaciamento. Durante todos os ensaios foram avaliados potência, torque e BSFC. Inicialmente foram comparados os resultados do uso do diesel puro com aqueles obtidos a mistura B5. Os valores de potências obtidos usando diesel marítimo puro (DM) e B5 estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas das médias da potência nas rotações de cada motor e pode-se perceber que o aumento da rotação refletiu no aumento da média da potência, para ambos os combustíveis. Pode-se concluir por meio dos desvios padrão obtidos (Figura 1) para este teste que não existe diferença significativa de valores até a rotação de 1800 rpm. A partir dessa rotação pode-se afirmar que a potência obtida para o combustível B5 foi maior que a obtida para DM, chegando ao valor de potência máxima média (à 2500 rpm) de 93 kW para B5 e de 85 kW para o DM. Estes resultados estão de acordo com os dados obtidos por Gokalp e colaboradores.¹⁴

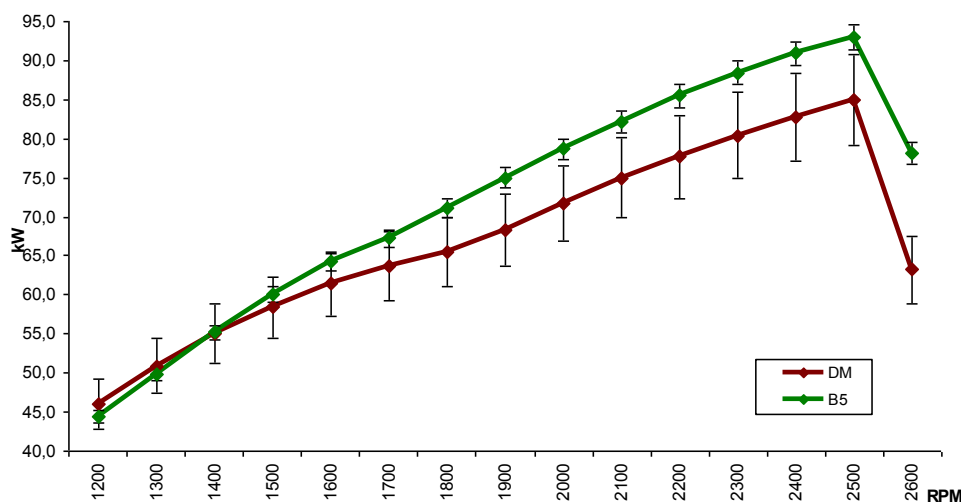


Figura 1. Média das potências nas rotações dos motores utilizando DM e B5

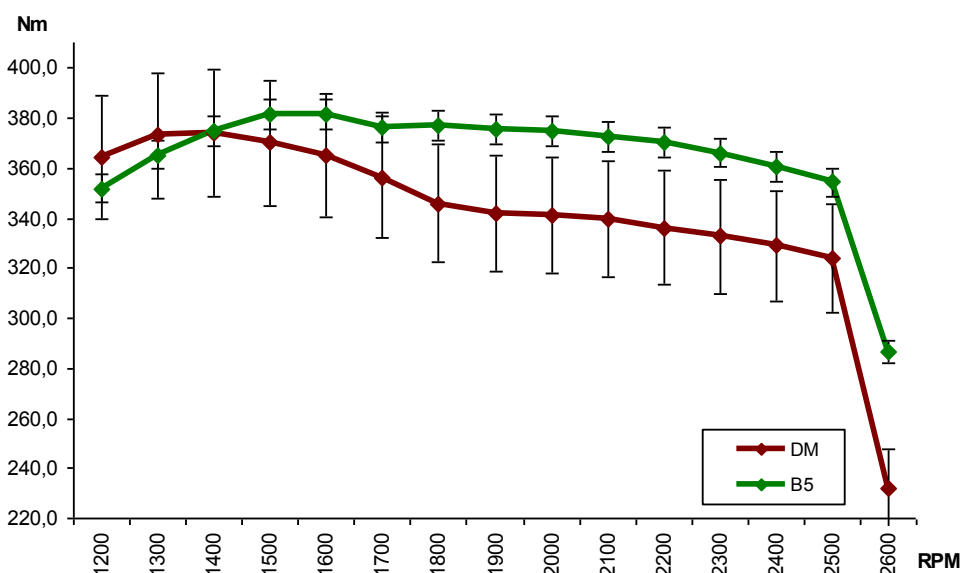


Figura 2. Torque médio de motores do ciclo diesel utilizando DM e B5

A média de torque máximo de cada combustível não seguiu a característica da média da potência máxima, no que se refere à similaridade da rotação para os combustíveis estudados. Foram obtidos médias de torques máximos de 374 Nm à 1400 rpm para o DM e 378 Nm à 1600 rpm para B5 (Figura 2). Estes valores de torque máximo podem ser considerados equivalentes, não tendo, portanto, diferenciação entre os resultados obtidos pelo uso de diferentes percentuais de

biodiesel adicionado ao DM. Porém a partir de 1800 rpm as curvas se afastam e os valores obtidos em cada rotação, para os combustíveis, não mais coincidem dentro da faixa dos desvios padrão e os valores obtidos são estatisticamente diferentes.

Os dados obtidos para potência média em função da velocidade (Figura 1) provavelmente pode ser justificado pela maior eficiência da combustão de B5, dado o número de cetano maior do biodiesel em

relação ao DM. Um combustível com maior número de cetano vai entrar mais facilmente em combustão por ignição por compressão do que outro com menor número de cetano.

Van Gerpen¹⁸ relata que existem lacunas nos sistemas de um motor ciclo diesel de fornecimento e de injeção. Assim, a maior viscosidade do biodiesel e suas misturas com DM pode causar menor perda de combustível a partir destas lacunas. A redução da perda faz com que uma maior quantidade de combustível entre na câmara de combustão. Este fato pode explicar a melhor energia obtida por B5 em relação ao DM com base na operação de um motor diesel e as características físico-químicas do DM e o biodiesel puro (e suas misturas). Kaplan et al.¹⁹ compararam o biodiesel puro com o diesel convencional em um motor turbo a 1400 rpm em plena carga, equipado com duas bombas de injeção diferentes. Foi observado que não só a massa do combustível, mas também o volume injetado foram maiores (1,2-3,2%) para o biodiesel. A viscosidade mais elevada pode reduzir o fluxo de volta e a folga entre o pistão da bomba de

injeção foi indicada como responsável por esta redução.

Muitos estudos têm sido realizados para avaliar o desempenho dos motores a diesel, utilizando biodiesel e suas misturas com diesel. Tais estudos têm apontado para o fato de que a adição de biodiesel aumenta o consumo específico de combustível.^{14,20,21} Estudos utilizando 5% de biodiesel adicionado ao óleo diesel concluem que o aumento no consumo de combustível podem chegar até 8%.²² A Figura 3 apresenta o BSFC para DM e B5.

Os dados apresentados na Figura 3 corroboram com as pesquisas que veem sendo desenvolvidas com o uso de biodiesel. Mesmo quando se trata do B5 preparado a partir de diesel com alto teor de enxofre, o BSFC apresentou um aumento comparado com o uso de DHS. As barras de erro apresentadas na Figura 3 representam os desvios-padrão obtidos em cada intervalo de tempo de teste. A partir de 1800 rpm a 2500 rpm os consumos específicos de B5 foram cerca de 3% maior que o consumo utilizando DM.

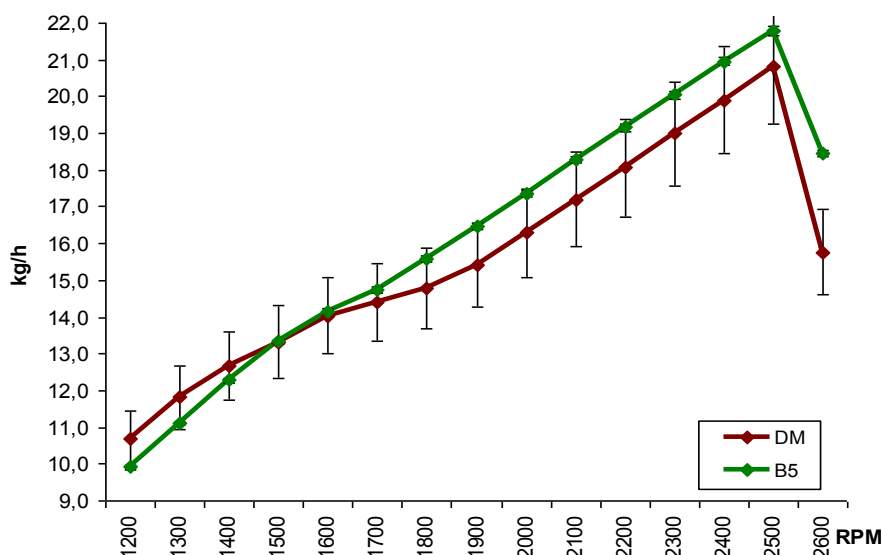


Figura 3. Consumo médio de motores do ciclo diesel utilizando DM e B5

3.2. Avaliação de tendências de desempenho de motor diesel com uso de biodiesel

Os resultados obtidos na avaliação do desempenho do “motor B” abastecido com diferentes misturas de biodiesel e DM (B5, B10, B20, B40 e B60) e biodiesel puro (B100) estão apresentados nas Figuras 4, 5 e 6. Os dados obtidos para a potência do motor (Figura 4) demonstraram que o aumento do percentual de biodiesel em DM reduziu a

potência, mas essa redução não ultrapassou 5%. Na rotação de 2500 rpm (potência máxima para todas as misturas de combustível) a potência variou de 88 kW a 93 kW para B100 e B5, respectivamente (Figura 4). Tais resultados estão de acordo com outros estudos da literatura.^{14,19} O poder calorífico inferior do B100 pode ser responsável por essa redução. Kaplan et al.¹⁹ relataram que o B100 (de óleo de girassol) comparado ao diesel apresentou uma redução da potência entre 5% e 10% com a variação da carga.

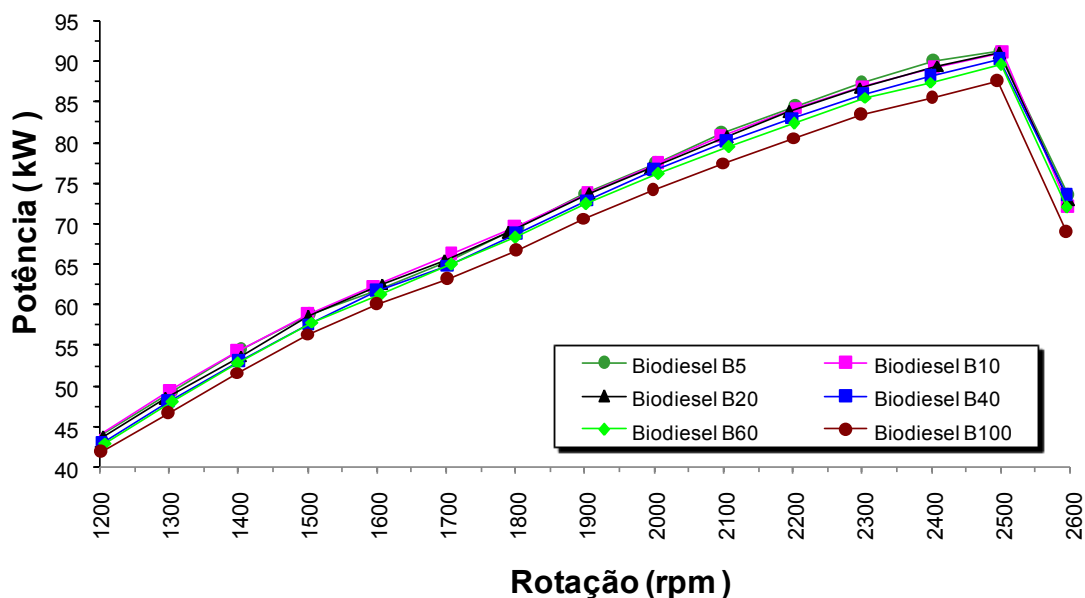


Figura 4. Potência versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas

Os valores máximos de torque obtidos para todas as misturas de combustível foram avaliados entre 1500 e 1600 rpm, e os dados obtidos estão de acordo com outros estudos presentes na literatura.^{14,23} O maior valor de torque (373,9 Nm) foi obtido com B10 e o menor (358,4 Nm) foi obtido para B100. Assim, o combustível B100 apresentou o pior

desempenho, seguido do B60, B40, B20, B5 e o melhor desempenho foi obtido quando utilizado o combustível B10 (Figura 5). Contudo, todos os valores estão dentro de uma margem de 5% de erro e, por isso, podem ser considerados estatisticamente iguais entre si, ficando dentro do valor médio de $366,15 \pm 18,31$ Nm ($347,84 < x < 384,46$).

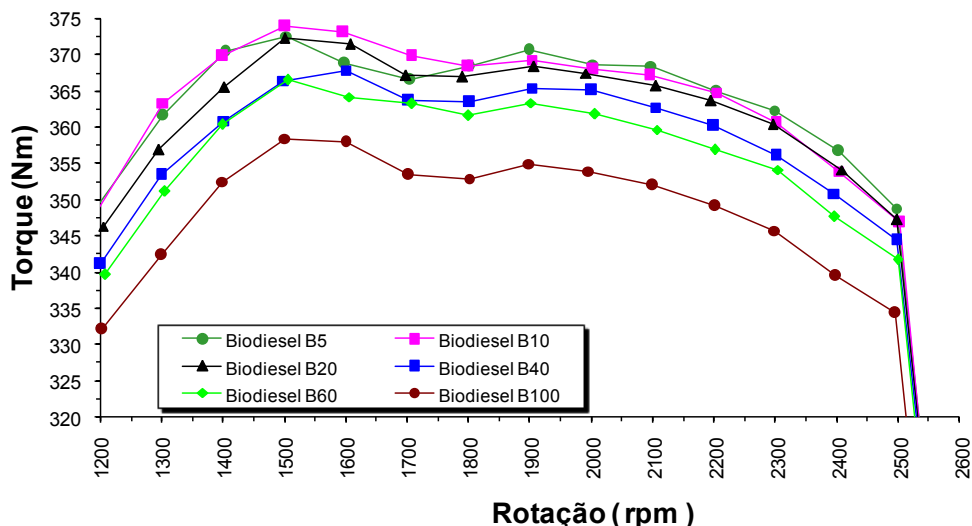


Figura 5. Torque versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas

O consumo específico (BSFC) do motor B que foi abastecido com as misturas combustíveis, com uma função da rotação do motor a plena carga, está apresentado na Figura 6. Em 2500 rpm, o BSFCs para combustíveis B5 e B100 foram 258 g/kWh e 274 g/kWh, respectivamente e, das misturas B40, B60 e o B100 foram observados como sendo superiores em 2%, 3% e 6% do combustível B5, respectivamente. O maior consumo de combustível foi obtido utilizando o B100 e podem ser relacionado com poder calorífico inferior deste o B100. Em geral o consumo de combustível é proporcional à

densidade de energia volumétrica do combustível com base no valor de aquecimento inferior e líquido.²⁴ Outra razão para o aumento do BSFC com o aumento da concentração de biodiesel no DM pode ser relacionado a mudança no tempo de combustão causada pelo maior número de cetano do biodiesel, bem como as alterações de tempo de injeção. A grande maioria dos autores relataram que encontraram aumentos no consumo de combustível utilizando biodiesel e este aumento pode estar relacionado à perda de valor de aquecimento.^{10,11,14,23,25-28}

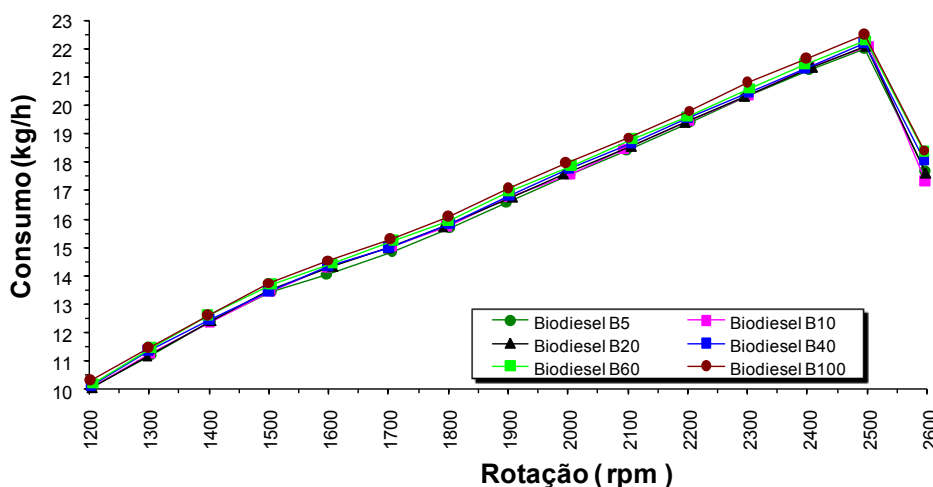


Figura 6. Consumo de combustível versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas

De acordo Jóvaj,²⁹ a qualidade da formação da mistura ar/combustível em motores diesel depende de vários fatores, sendo o mais importante: (i) os parâmetros da injeção (tempo de injeção de combustível, a qualidade da pulverização, a profundidade de penetração e a forma do jacto na câmara de combustão) e (ii) as propriedades do combustível. Assim, a influência das propriedades dos combustíveis podem explicar os resultados encontrados utilizando biodiesel misturado com DM em proporções cada vez maiores, uma vez que os parâmetros do motor utilizado não mudou para receber as misturas de combustíveis.

Em geral, B100 e suas misturas com óleo diesel tem densidade maior do que puro diesel.⁹ E quando se aumenta a densidade do combustível, a injeção move-se para a frente devido ao aumento da velocidade da onda de pressão que se abre o bocal. Além disso, a profundidade de penetração do jacto na câmara aumenta com o aumento do teor de biodiesel adicionado ao DM, ou seja, com o aumento da densidade do combustível. O aumento da penetração do jacto de combustível pode gerar uma maior quantidade de combustível líquido atingindo as paredes da câmara de combustão. Isto pode prejudicar os parâmetros termodinâmicos do processo de combustão, como a vaporização do combustível com uma mistura apropriada de ar, que pode causar uma diminuição na taxa de aumento da pressão (dp/dt) no estado de combustão rápida, por isso há é uma queda na potência e torque.

Em geral, observou-se que a concentração de enxofre no diesel marítimo (DM) não teve influência nas definições dos parâmetros do desempenho do motor quando este continha concentrações de biodiesel, ou seja, a adição de biodiesel ao diesel, tanto marítimo quanto o diesel com baixo teor de enxofre mostram a mesma tendência de desempenho do motor.

4. Conclusão

O uso de misturas de biodiesel com DM mostrou-se vantajosa do ponto de vista dos resultados de desempenho do motor diesel. A adição de 5% de biodiesel ao DM não apresentou diferença significativa nos parâmetros de desempenho do motor. Esta concentração de biodiesel pode ser considerada suficiente para trazer muitas vantagens em questões ambientais, sociais e econômicas de um país. O aumento do percentual de biodiesel para o DM não afetou drasticamente o desempenho de potência, torque e consumo de combustível para ser utilizado em navios. Embora os valores de desempenho encontrados para as misturas de biodiesel tenham apresentado uma tendência de queda no desempenho, os dados obtidos foram considerados estatisticamente semelhantes. Assim, estes resultados indicam que os países que ainda usam DM pode discutir a inclusão do uso de biodiesel em sua matriz energética, porque isso não vai causar impactos significativos sobre o desempenho dos motores diesel marítimos. No entanto, mais estudos de viabilidade são necessários para verificar outros parâmetros que não foram avaliados neste estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Financiadora de Estudos e Projetos (Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES) e a Marinha do Brasil.

Referências Bibliográficas

- ¹ Lin, C. Y.; Huang, J. C. An oxygenating additive for improving the performance and emission characteristics of marine diesel engines. *Ocean Engineering* **2003**, *30*, 1699. [[CrossRef](#)]
- ² Lin, C. Y.; Huang, T. H. Cost-benefit evaluation of using biodiesel as an alternative fuel for fishing boats in Taiwan. *Marine Policy* **2011**, *36*, 103. [[CrossRef](#)]
- ³ Eyring, V.; Köhler, H.W.; Lauer, A.; Lamper, B. Emissions from international shipping: impact of future technologies on scenarios until 2050. *Journal of Geophysical Research* **2005**, *110*, D17305. [[CrossRef](#)]
- ⁴ Corbett, J. J.; Wang, C.; Winebrake, J. J.; Green, E. Green, Allocation and Forecasting of Global Ship Emissions, submitted as a formal Annex submission to the International Maritime Organization, pp. 26, *Clean Air Task Force and Friends of the Earth International*, Boston, MA, 2007.
- ⁵ Pinto, A. C.; Guarieiro, L. L. N.; Rezende, M. J. C.; Ribeiro, N. M.; Torres, E. A.; Lopes, W. A.; Pereira, P. A. P.; de Andrade, J. B. Biodiesel: an Overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2005**, *16*, 1313. [[CrossRef](#)]
- ⁶ Guarieiro, L. L. N.; Pereira, P. A. P.; Torres, E. A.; da Rocha, G. O.; de Andrade, J. B. Carbonyl compounds emitted by a diesel engine filled with diesel and biodiesel-diesel blends: sampling optimization and emissions profile. *Atmospheric Environment* **2008**, *42*, 8211. [[CrossRef](#)]
- ⁷ Rodrigues, M. C.; Guarieiro, L. L. N.; Cardoso, M. P.; Carvalho, L. S.; da Rocha, G. O.; de Andrade, J. B. Acetaldehyde and formaldehyde concentrations from sites impacted by heavy-duty diesel vehicles and their correlation with the fuel composition: Diesel and diesel/biodiesel blends. *Fuel* **2012**, *92*, 258. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Martins, L. D.; Silva Júnior, C. R.; Solci, M. C.; Pinto, J. P.; Souza, D. Z.; Vasconcellos, P.; Guarieiro, A. L. N.; Guarieiro, L. L. N.; Sousa, E. T.; de Andrade, J. B. Particle emission from heavy-duty engine fuelled with blended diesel and biodiesel. *Environmental Monitoring and Assessment* **2012**, *184*, 2663. [[CrossRef](#)]
- ⁹ Guarieiro, L. L. N.; de Souza, A. F.; Torres, E. A.; de Andrade, J. B. Emission profile of 18 carbonyl compounds, CO, CO₂, and NO_x emitted by a diesel engine fuelled with diesel and ternary blends containing diesel, ethanol and biodiesel or vegetable oils. *Atmospheric Environment* **2009**, *43*, 2754. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Xue, J. Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2013**, *23*, 350. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Palash, S. M.; Masjuki, H. H.; Kalam, M. A.; Atabani, A. E.; Rizwanul Fattah, I. M.; Sanjid, A. Biodiesel production, characterization, diesel engine performance, and emission characteristics of methyl esters from *Aphanamixis polystachya* oil of Bangladesh. *Energy Conversion and Management* **2015**, *91*, 149. [[CrossRef](#)]
- ¹² Ribeiro, N. M.; Pinto, A. C.; Quintella, C. M.; da Rocha, G. O.; Teixeira, L. S. G.; Guarieiro L. L. N.; Rangel, M. C.; Veloso, M. C. C.; Rezende, M. J. C.; da Cruz, R. S.; de Oliveira, A. M.; Torres, E. A.; de Andrade, J. B. The role of additives for diesel and diesel blended (ethanol or biodiesel) fuels: a review. *Energy Fuels* **2007**, *21*, 2433. [[CrossRef](#)]
- ¹³ McCarthy, P.; Rasul, M. G.; Moazzem, S. Analysis and comparison of performance and emissions of an internal combustion engine fuelled with petroleum diesel and different bio-diesels. *Fuel* **2011**, *90*, 2147. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Gokalp, B.; Buyukkaya, E.; Soyhan, H. S. Performance and emissions of a diesel tractor engine fueled with marine diesel and soybean methyl ester. *Biomass and Bioenergy* **2011**, *35*, 3575. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Bengtsson, S.; Fridell, E.; Andersson, K. Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping. *Energy Policy* **2012**, *44*, 451. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Kalligeros, S.; Zannikos, F.; Stournas, S.; Lois, E.; Anastopoulos, G.; Teas, C.H.; Sakellaropoulos, F. An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine. *Biomass and Bioenergy* **2003**, *24*, 141. [[CrossRef](#)]

- ¹⁷ ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996, "NBR ISO 1585: Veículos rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva". Rio de Janeiro, Brasil, 26p. [\[Link\]](#)
- ¹⁸ Van Gerpen, J. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology* **2005**, *86*, 1097. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁹ Kaplan, C.; Arslan, R.; Surmen, A. Performance characteristics of sunflower methyl esters as biodiesel. *Energy Source Part A* **2006**, *28*, 751. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁰ Valente, O. S.; da Silva, M. J.; Pasa, V. M. D.; Belchior, C. R. P.; Sodré, J. R. Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel. *Fuel* **2010**, *89*, 3637. [\[CrossRef\]](#)
- ²¹ Hossain, A. K.; Ouali, M.; Siddiqui, S. U.; Yang, Y.; Brammer, J.; Hornung, A.; Kay, M.; Davies, P. A. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of an indirect injection multi-cylinder CI engine fuelled by blends of deinking sludge pyrolysis oil with biodiesel. *Fuel* **2013**, *105*, 135. [\[CrossRef\]](#)
- ²² Ropkins, K.; Quinn, R.; Beebe, J.; Li, H.; Daham, B.; Tate, J.; Bell, M.; Andrews, G. Real-world comparison of probe vehicle emissions and fuel consumption using diesel and 5% biodiesel (B5) blend. *Science of the Total Environment* **2007**, *376*, 267. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- ²³ Buyukkaya, E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel* **2010**, *89*, 3099. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁴ Graboski, M. S.; McCormick, R. L. Combustion of fat and vegetable-oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science* **1998**, *24*, 125. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁵ Raheman, H.; Phadatare, A. G. Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass Bioenergy* **2004**, *27*, 393. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁶ Ramadhas, S.; Jayaraj, S.; Muraleedharan, C. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels - a review. *Renewable Energy* **2004**, *29*, 727. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁷ Ramadhas, A. S.; Jayaraj, S.; Muraleedharan, C. Characterization and effect of using rubber seed oil as fuel in compression ignition engines. *Renewable Energy* **2005**, *30*, 795. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁸ Roskilly, A. P.; Nanda, S. K.; Wang, Y. D.; Chirkowski, J. The performance and the gaseous emissions of two small marine craft diesel engines fuelled with biodiesel. *Applied Thermal Engineering* **2008**, *28*, 872. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁹ Jóvaj, M. S.; *Motores de automóvil*, Editorial Mir, 1982.