

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM MOTOR DIESEL OPERANDO COM MISTURAS TERNÁRIAS DE DIESEL, BIODIESEL E ETANOL ANIDRO

Nelson Junior da Silva Rocha, nelsonjrrocha@gmail.com¹

Larissa Santos Queiroz, queirozlariss@gmail.com¹

Luiz Cláudio da Cunha Marques, luizmar7@yahoo.com.br¹

Hendrick Maxil Zarate Rocha, henzaro@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Pará –Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá, Belém – PA.

Resumo: Os motores de combustão interna alternativos são muito utilizados por todos os países do mundo, principalmente pelo setor de transportes, implicando o constante aumento do consumo de combustíveis fósseis, como é o caso do óleo diesel e da gasolina. Há muitas pesquisas que buscam por formas de reduzir este consumo sem que haja perda considerável da eficiência térmica do motor. Para isso, atualmente são muito empregados combustíveis alternativos como o biodiesel, óleo vegetal, etanol e diversos outros combustíveis. A utilização de biocombustíveis misturados aos combustíveis fósseis comercializados no Brasil vem crescendo ao longo dos anos, como alternativa para a redução das emissões poluentes decorrentes da combustão, bastante prejudiciais à saúde humana. O objetivo deste artigo é analisar a influência da adição de etanol anidro (EA) no óleo diesel, em concentrações de 5%, 6%, 8% e 10%. Para os ensaios foi utilizado um grupo gerador a diesel monocilíndrico, de injeção direta. O óleo diesel utilizado nos ensaios foi o diesel comercial S10, mistura de 8% de biodiesel com 72% de óleo diesel (B8) e o etanol anidro com 99% de pureza. Os parâmetros analisados foram a potência, temperatura dos gases, consumo específico de combustível e eficiência térmica do motor. Para a obtenção destes resultados, foi necessário realizar a instrumentação do motor, localizado no laboratório de motores da Universidade Federal do Pará. Por meio deste estudo, espera-se identificar a viabilidade dessa mistura ternária para os motores diesel.

Palavras-chave: Mistura Ternária, Motor Diesel, Etanol.

1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda por energia no Brasil, e de modo geral no mundo, deixa evidente que o consumo de petróleo para a geração de energia, constrói uma dependência muito grande das reservas não renováveis de combustíveis fósseis, estando essas fadadas a sua secar ao longo do tempo. O maior consumo de energia do mundo vem do uso de petróleo e seus derivados e, por isso, o uso de biocombustíveis busca reduzir a dependência do petróleo, oferecendo mais opções aos usuários diante da escassez de combustíveis derivados do petróleo (ESTRADA et al., jul, 2016). No Brasil o consumo de óleo diesel pode ser dividido em 03 grandes setores: de transportes, o qual representa mais de 75% do total consumido, o agropecuário representando 16% e o de transformação que utiliza o produto como na geração de energia elétrica e corresponde a 5% do total de diesel consumido no país (MORETTI, 2013). Tendo este combustível como o de maior consumo no Brasil, é também o que mais contribui para a poluição atmosférica, tornando-se necessário a melhora da sua qualidade, como um importante passo para a redução dos contaminantes.

Com essa crescente demanda, nas últimas décadas tem-se notado um grande esforço para reduzir as emissões de gases poluentes de motores de combustão interna através da modernização dos componentes mecânicos, sistemas eletrônicos de controle de injeção de combustível, sistemas de controle de emissões e utilização de combustíveis alternativos (OLIVEIRA, 2015).

Visando reduzir as emissões poluentes decorrentes da queima de combustíveis fósseis, a utilização de biocombustíveis misturados a combustíveis comercializados no Brasil vem crescendo ao longo dos anos. Atualmente no Brasil, não são comercializados combustíveis fósseis puros, no caso do óleo diesel em sua mistura há incorporado o biodiesel e na gasolina há o etanol. No ano de 2017 o percentual de biodiesel presente na mistura do diesel aumentou de 7% para 8%, com previsão de um novo aumento em 2019 para 10% (VIEIRA, 2016).

Uma alternativa para a redução do uso de óleo diesel puro é sua mistura com etanol, reduzindo as emissões poluentes, buscando manter a qualidade do combustível e eficiência da combustão (MORETTI, 2013). O Brasil já possui uma avançada tecnologia para obtenção do etanol a partir da cana, sendo esse combustível largamente utilizado no mercado nacional, não só nos motores movidos exclusivamente a álcool como também nos motores a gasolina, como

aditivo por apresentar comprovadas características antidetonantes (SANTOS et al., 2004). Para conseguir isso, é necessário analisar o processo de combustão que ocorre no motor diesel quando opera com as misturas ternárias de diesel, biodiesel e etanol.

A viabilização do uso de etanol em motores diesel pode beneficiar empresas que utilizam o óleo diesel como combustível em caminhões, máquinas agrícolas e grupos geradores de energia elétrica, através da implantação de usinas de produção de etanol para consumo próprio, evitando o deslocamento para transporte do óleo diesel a ser utilizado (OLIVEIRA, 2015). Assim, terá não só apenas o benefício da redução dos níveis de emissão de CO₂ como também um ganho econômico por evitar os custos de transporte.

As propriedades mais atraentes do etanol como combustível de motores de combustão interna é que ele pode ser produzido a partir de fontes de energia renováveis, como cana-de-açúcar, mandioca, muitos tipos de materiais biomassa de resíduos, milho e cevada. Além disso, o etanol tem maior calor de vaporização, teor de oxigênio e temperatura de inflamabilidade e, portanto, tem uma influência positiva no desempenho do motor e nas características de emissão do motor de CI (GNANAMOORTHY ; DEVARADJANE, 2012).

Quando os motores operaram com óleo diesel e etanol, em todas as faixas de substituição, as potências máximas são reduzidas. Obtêm-se o aumento do consumo específico de combustível, da intensidade do ruído e do atraso da ignição, quando comparados aos valores típicos no modo padrão do motor utilizando diesel. Nesses fenômenos a magnitude cresce de acordo com o aumento percentual do etanol utilizado na mistura do combustível (MORAIS, 2016).

As proporções adequadas para utilizar uma mistura renovável como combustível, respeitando as propriedades físico-químicas estabelecidas como padrão para o óleo diesel são 84% de diesel, 4,75% de etanol anidro, 0,25% de etanol hidratado e 11% de biodiesel (MORETTI, 2013).

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um motor a Diesel gerador monocilíndrico, queimando combustível comercial de diesel + Biodiesel - B8 e comparar com o desempenho deste mesmo motor queimando as misturas de B8 +5% de etanol anidro, B8 + 6% de etanol anidro, B8 + 8% de etanol anidro e B8 + 10% de etanol anidro, analisando a potência, o consumo de combustível, a temperatura dos gases e a eficiência térmica do motor.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para os ensaios de desempenho foi utilizado um gerador diesel Branco BD-6500, mostrado na figura 1, motor de ignição por compressão, monocilíndrico, injeção direta, arrefecido a ar, sem nenhuma alteração que descaracterize o motor das especificações do fabricante, para realizar a comparação do funcionamento com o óleo diesel e com as misturas de etanol anidro.

2.1. Instrumentação do Motor

O motor foi instrumentado, baseado no aparato da bancada experimental descrita por (ROCHA, 2016), para medir e monitorar as temperaturas de entradas e saídas do sistema, a potência elétrica gerada pelo grupo gerador, o consumo de combustível e a vazão mássica de ar, submetido a diferentes condições de cargas, conforme a Tabela 1.

- Na medição de temperatura, foram utilizados três termopares tipo K, aplicados para a medição do ar de admissão, para o combustível de entrada na bomba injetora e para a temperatura dos gases de escape.
- Para a medida de consumo de combustível, foi utilizada uma balança digital de precisão DIGIMED DG-15WT de 1mg, medindo-se a massa de combustível do tanque ao longo do tempo para determinar a vazão mássica do combustível consumida pelo grupo gerador.
- Na medição de vazão mássica do ar de admissão, foi utilizado o medidor MAF HFM 5
- Todos esses instrumentos geraram dados, automaticamente armazenados no aquisitor da COMTEMP A202 e monitorados por uma interface gráfica do DAQFactory-Pro v16.2.
- A potência elétrica foi medida usando o Landis+ Gyr SAGA4500, obtendo-se curvas de desempenho para cargas de 60%, 80% e 100% da capacidade do motor.

Tabela 1. Instrumentação do Motor

Instrumento	Medição	Precisão	Unidade
Termopar tipo K	Temperatura	1,0	°C
Balança digital	Vazão Mássica de Combustível	0,001	G
MAF HFM 5	Vazão Mássica de ar	3%	Kg/h
SAGA4500	Potência Elétrica	1%	W

2.2. Misturas Ternárias Como Combustíveis

Segundo (ESTRADA et al., jul, 2016) a adição de etanol no óleo diesel provoca, nas últimas mudanças físicas e químicas, uma redução notável no número de cetano, viscosidade e ponto de fulgor. Essas modificações alteram as características do jato de combustível injetado no cilindro, a qualidade da combustão e as emissões de poluentes do

motor. Neste trabalho, as misturas ternárias como combustíveis são para melhorar as condições que o óleo diesel oferece como poluente e as modificações que o etanol causa no motor de combustão interna.

Conforme (VIEIRA, 2016), o uso de emulsificadores e elevadores do número de cetano permitia até 5% da adição de etanol, com valores de 8% sendo teoricamente possíveis. Apesar de valores acima destes serem considerados muito elevados, ABU-QUDAI, HADDAD e QUDAIAT afirmaram que o melhor compromisso em termos de redução de emissões se encontraria próximo a 15% de etanol. O uso do biodiesel então se torna uma ideia interessante, pensando em sua utilização como aditivo que permita concentrações superiores de etanol na mistura devido a sua molécula possuir partes polares e apolares.

Uma amostra de cada combustível foi retirada e medida em provetas graduadas apropriadas para análise em laboratório a fim de melhores resultados e comparações após os testes realizados.

Para o início dos testes, foram analisados as amostras de combustíveis para determinar a massa específica, a viscosidade e o PCS, conforme a Tab.2, a seguir.

Tabela 2. Propriedades Físicas dos Combustíveis.

Combustível	Massa Específica [kg/mm ³]	Viscosidade [CST]	PCS [kcal/kg]
Diesel	835,0	2,9 – 4,5	10950
Etanol Anidro	791,5	1,2	6500
B8 + 5%EA	812,2	2,9	10728
B8 + 7%EA	804,5	2,9	10639
B8 + 10%EA	796,7	2,8	10505

2.3. Ensaios

O primeiro ensaio foi realizado usando diesel B8 sem adição de etanol, com duração de 65 minutos, divididos em quatro etapas. Os primeiros 20 minutos de funcionamento do motor foram feitos sem carga, para o motor entrar nas condições de temperatura de trabalho e estabilizar o regime de funcionamento. As três etapas seguintes tiveram duração de 15 minutos, com adição das cargas de 60%, 80% e 100% da capacidade do motor. Os dados do primeiro ensaio serão usados como referência do desempenho do motor. Esses ensaios foram repetidos três vezes, para maior consistência nos resultados.

Sendo assim foram realizados novos ensaios, utilizando o mesmo tempo do ensaio de referência e as misturas ternárias B8 +5% de EA, B8 + 7% de EA e B8 + 10% de EA como combustível do motor. Tais misturas estão referenciadas nas literaturas (VIEIRA, 2016) e (OLIVEIRA, 2015) seguindo rigorosamente o mesmo processo e metodologia do primeiro ensaio de referência.

A análise comparativa foi realizada a partir dos parâmetros de potência, temperatura dos gases e consumo específico de combustível. O consumo específico foi determinado pela eq. 1, de (BRUNETTI, 2002), usando os valores de potência, vazão mássica de combustível e eficiência térmica do motor, determinada pela eq. 2, de (BRUNETTI, 2002), identificando os valores do poder calorífico Inferior – PCI. Para a obtenção desses resultados, foi necessário realizar a instrumentação de um motor de ignição por compressão, localizado no laboratório de motores da Universidade Federal do Pará.

$$C_{esp} = \frac{\dot{m}_{comb}}{N_e} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\eta_{tglobal} = \frac{N_e}{\dot{m}_{comb} \times PCI} \quad (\text{Equação 2})$$

3. RESULTADOS

Dentre os ensaios realizados, a primeira rodada de ensaios foi descartada por inconsistências nas medições realizadas; as duas séries de ensaios utilizadas foram realizadas conforme a metodologia descrita e as instrumentações citadas anteriormente. Obteve-se uma gama de resultados, que foram tratados, analisados e plotados gráficos na plataforma do office Excel 2010, para uma melhor visualização do desempenho das misturas ternárias e sua utilização para testes posteriores.

A Figura 1 mostra os valores de temperatura dos gases de emissão do motor, observando-se o aumento da temperatura dos gases de escape conforme o percentual de Etanol Anidro era adicionado na mistura do combustível queimado. Dentre os valores de temperatura medidos, o ganho de temperatura com a adição de 7% de EA foi de 13% do valor da temperatura na queima com o combustível B8.

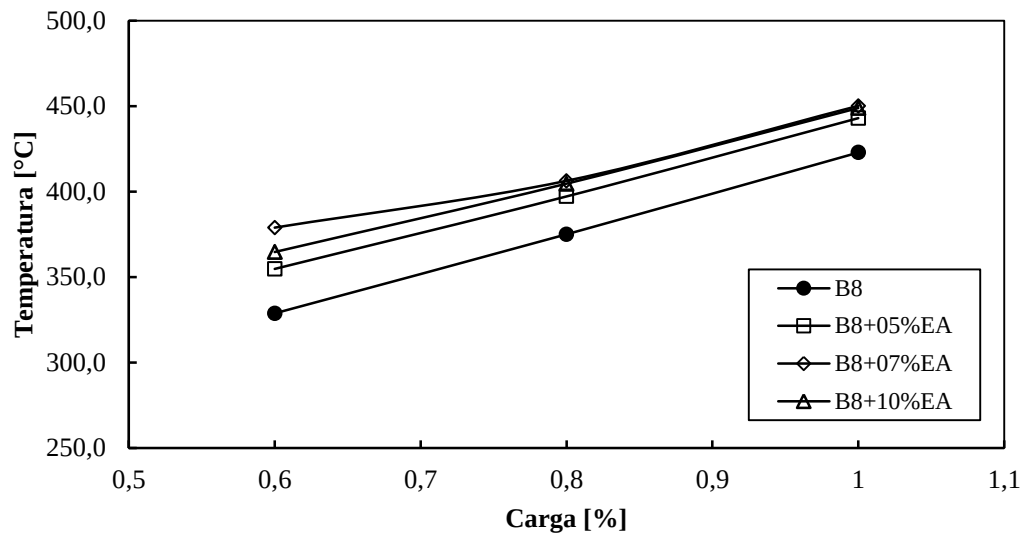


Figura 1. Temperatura dos gases de escape para cargas diferentes cargas

A Figura 2 mostra a vazão mássica de combustível, a qual relaciona o aumento do consumo específico com o aumento da concentração de EA, exceto na mistura com 5% de EA que mostrou um menor consumo de combustível. Os valores de consumo do combustível para a mistura de 5% de EA ficaram muito próximos dos valores de referência que utiliza apenas B8.

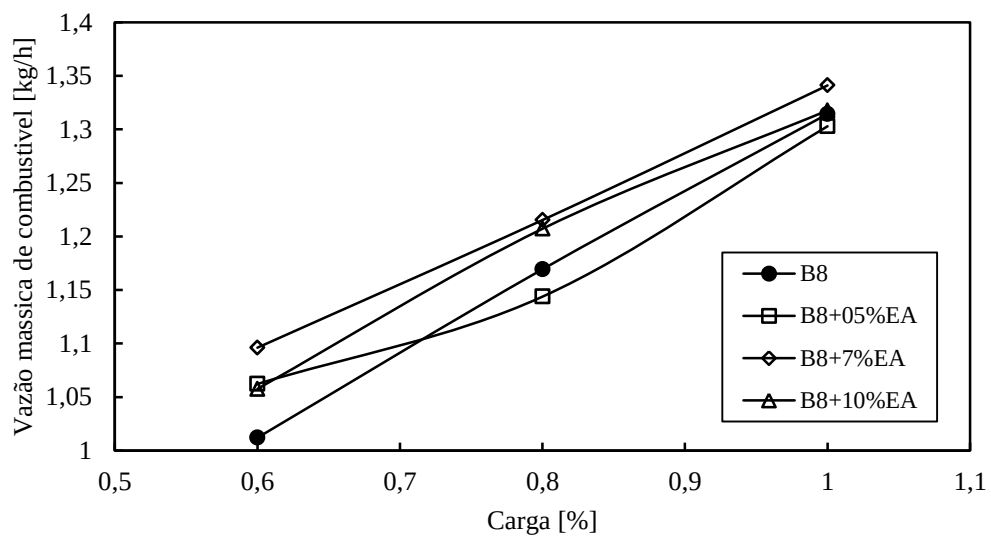


Figura 2. Vazão mássica de ar de admissão para cargas diferentes cargas

Foram obtidas também as curvas de potência elétrica gerada, mostrada na Fig. 3, que descreve uma grande queda na potência do gerador quando adicionado etanol anidro na queima da mistura, expressando uma queda de 245W, aproximadamente. Observou-se, ainda, o aumento do consumo específico do motor, como mostra a Fig. 4, devido ao uso de etanol na mistura do combustível.

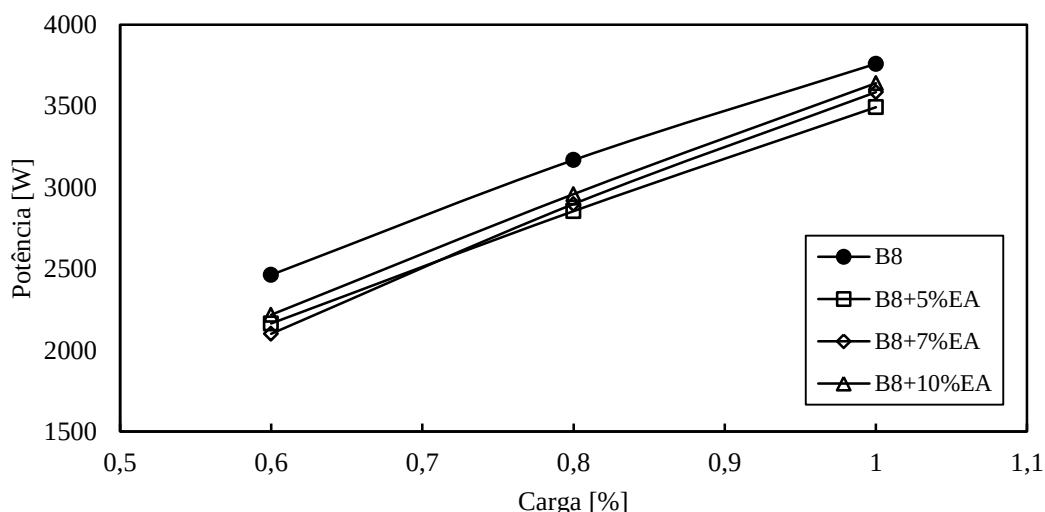


Figura 3. Potência para cargas diferentes cargas

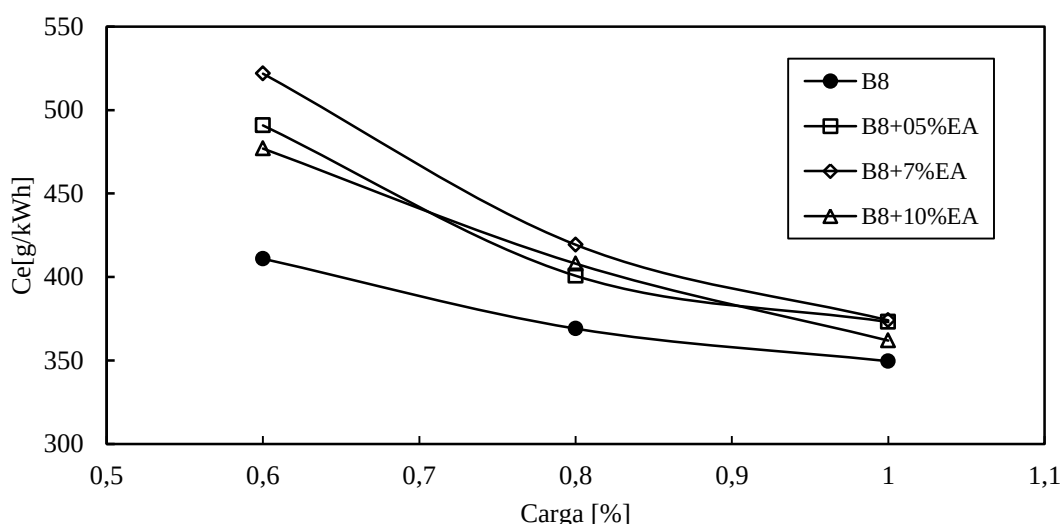


Figura 4. Consumo específico para cargas diferentes cargas

Verificou-se que a mistura ternária com 5% de etanol anidro foi a melhor entre as três misturas testadas, mostrando-se a mais parecida com o diesel; visto que, para um motor monocilíndrico, foi identificada uma grande dificuldade na estabilidade da queima que permita um regime de funcionamento contínuo. Dentre as misturas testadas, a mistura mais provável para diminuir o uso de óleo diesel (um combustível fóssil não renovável) na composição do combustível, que não afete significativamente o funcionamento do motor, foi a mistura de 5% de adição de Etanol Anidro ao B8 comercial, compondo 12,6% de biocombustível usado.

A ideia é produzir combustíveis de desempenho equivalentes ou próximos ao diesel, econômicos e que permitam uma diminuição de custo para grandes empresas com geradores de energia, que ainda operem com esse combustível, como as transportadoras com caminhões que trabalham por longos intervalos de tempo e percorrem longas distâncias.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho busca novas formas de substituir o diesel por combustíveis menos poluentes e mais econômicos. Por isso, foram testadas misturas ternárias de diesel + biodiesel + etanol anidro a 5%, 7% e a 10%. A avaliação comparativa foi realizada a partir dos parâmetros de potência, temperatura dos gases, consumo específico de combustível e eficiência térmica do motor.

Após todos os testes, verificou-se que as misturas que contêm 5% e 7% de EA atingiram certa estabilidade em regime de funcionamento. Contudo, a mistura contendo 10% de EA apresentou uma grande dificuldade para estabilizar em regime de funcionamento, devido a variação de potência causada pelo sistema regulador da bomba injetora, que

equipa o motor usado nos testes, dificultando, assim, a medição de valores mais instáveis e confiáveis à medida que era variada a carga.

Desta maneira, a viabilidade, nesse primeiro momento, se concentra apenas na interpretação do teste com a mistura ternária de 5%, que, por sua vez, estabilizou o regime de funcionamento ao apresentar aumento do consumo de combustível, da temperatura dos gases de escape e diminuição da potência efetiva.

Após todos os experimentos finalizados, pode-se concluir a redução da eficiência global para o uso das misturas com EA, a partir do aumento do consumo específico, por haver uma relação inversamente proporcional entre as duas grandezas. A experiência foi realizada em um motor monocilíndrico, que dificultou um melhor desempenho utilizando misturas ternárias que apresentam mais de 5% de EA, por conta da queima mais demorada. Estes problemas, entretanto, podem ser minimizados se utilizados motores com mais de um cilindro.

5. REFERÊNCIAS

- BRUNETTI, F.; **Motores de combustão interna**: volume1 / Franco Brunetti. – São Paulo: blucher, 2002.
- Ministério de Minas e Energia, “Resenha Energética Brasileira,” Brasília, 2015.
- ESTRADA, Javier Solis et al. **Performance of an agricultural engine using blends of diesel and ethanol**. Ciência Rural, Santa Maria,: [s.n.], [jul, 2016]. 1200-1205 p.
- GNANAMOORTHY, V.; DEVARADJANE, G. **Effect of Diesel-Ethanol Blends on Performance, Combustion and Exhaust Emission of a Diesel Engine**. India: International Journal of Current Engineering and Technology, v. 3, [s.n.], 2012.
- MORAIS, André Marcelino de. **Conversão reversível de um motor de ciclo diesel para ciclo otto utilizando etanol hidratado**. Belo Horizonte: [s.n.], 2016.
- MORETTI, Ricardo Roquette. **Mistura Diesel, Biodiesel e Etanol Anidro: uma Possibilidade para Reduzir o Custo da Cadeia de Produção da Cana-de-Açúcar**. Campinas: [s.n.], 2013.
- OLIVEIRA, Alex de. **Desempenho e emissões de um motor diesel utilizando diferentes técnicas de injeção de etanol**, Belo Horizonte, 2015.
- ROCHA, H. M. Z. ; PEREIRA, R. S. ; NOGUEIRA, M. F. M.; BELCHIOR, C. R. P.; TOSTES, M. E. L. **Experimental investigation of hydrogen addition in the intake air of compressed ignition engines running on biodiesel blend**. International Journal of Hydrogen Energy, v. 42, p. 4530-4539, 2016.
- SANTOS, Rodrigo Fernando Estella dos et al. **Análise de detonação, torque e potência em um motor de ignição por compressão turboalimentado por um sistema ternário de combustíveis – diesel, biodiesel e etanol..** São Carlos: [s.n.], 2004
- VIEIRA, Daniel Santana Nogueira. **Otimização de misturas ternárias de diesel, biodiesel e etanol**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

PERFORMANCE ANALYSIS OF A DIESEL ENGINE OPERATING WITH TERNARY MIXTURES OF DIESEL, BIODIESEL AND ETHANOL ANIDRO

Nelson Junior da Silva Rocha, nelsonjrrocha@gmail.com¹

Larissa Santos Queiroz, queirozlariss@gmail.com¹

Luiz Cláudio da Cunha Marques, luizmar7@yahoo.com.br¹

Hendrick Maxil Zarate Rocha, henzaro@gmail.com¹

¹Department of Mechanical Engineering, Federal University of Pará, Augusto Corrêa street, 1 – Guamá, Belém, Brazil.

Abstract. *Alternative internal combustion engines are widely used by all countries in the world, mainly in the transport sector, implying a constant increase in the consumption of fossil fuels, such as diesel and gasoline, among others. There are many searches that look for ways to reduce this consumption without considerable loss of thermal efficiency of the engine. To this end, alternative fuels such as biodiesel, vegetable oil, ethanol and various other fuels are currently used. The use of biofuels mixed with fossil fuels marketed in Brazil has been growing over the years as an alternative to reduce pollutant emissions from combustion, which are quite harmful to human health. The objective of this paper is to analyze the influence of the anhydrous ethanol (EA) in diesel oil addition's, in concentrations of 5% and 10%. For the tests, a direct injection single-cylinder diesel generator set was used. The diesel oil used in the tests was commercial diesel S10, 8% biodiesel blend with 72% diesel oil (B8) and anhydrous ethanol with 99% purity. The parameters analyzed were power, gas temperature, specific fuel consumption and thermal efficiency of the engine. In order to obtain these results, it was necessary to perform the engine instrumentation, located in the engine laboratory of the Federal University of Pará. Through this study, it is expected to identify the viability of this ternary mixture for diesel engines.*

Keywords: *Ternary Mixture, Diesel engine, Ethanol.*