

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM GRUPO GERADOR A DIESEL OPERANDO COM MISTURAS DE ÓLEO DE SOJA REFINADO COM DIESEL

Amanda Cristina Ferreira Carvalho, amanda.carvalho@itec.ufpa.br¹

Hendrick Maxil Zárate Rocha, hendrick@ufpa.br²

João Antônio Monteiro da Silva, eng.joaoantonio8@gmail.com³

Larissa Santos Queiroz, queirozlariss@gmail.com⁴

Arthur Vilhena Lima, arthurvlima25@gmail.com⁵

Leilane Maria Ribeiro Nogueira, leilanemaria0106@gmail.com⁶

¹Universidade Federal do Pará, amanda.carvalho@itec.ufpa.br

² Universidade Federal do Pará, hendrick@ufpa.br

³ Universidade Federal do Pará, queirozlariss@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Pará, eng.joaoantonio8@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Pará, arthurvlima25@gmail.com

⁶ Universidade Federal do Pará, leilanemaria0106@gmail.com

Resumo: Devido aos impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis, busca-se substituí-los por energias renováveis. Nesse contexto, alguns combustíveis alternativos vêm sendo testados, como etanol, biodiesel, óleos vegetais, entre outros. No caso do Brasil, o biodiesel é misturado regularmente ao óleo diesel e vendido na proporção de 10% em volume (B10). Entre as desvantagens do uso do biodiesel estão seu menor poder calorífico, sua instabilidade química e maior viscosidade, que causam condições desfavoráveis para a combustão, reduzindo a eficiência do motor e refletindo diretamente no aumento do consumo de combustível. Além das desvantagens encontradas nas propriedades do biodiesel, existem desvantagens significativas quanto à sua produção, pois necessita de profissionais especializados e equipamentos sofisticados para realizar o processo de transesterificação, elevando ainda mais o custo final do biodiesel, devido aos custos e logística da matéria-prima às indústrias especializadas e posterior devolução do biodiesel aos pontos de distribuição e locais de consumo. O uso direto do óleo vegetal (OV) como combustível poderia solucionar os problemas apresentados com a produção e logística do biodiesel, entretanto, a utilização de OV como combustível apresenta múltiplos problemas associados às suas propriedades, como sua alta viscosidade e longa estrutura química, exigindo maiores tempos de vaporização e combustão no interior do cilindro, refletindo negativamente no desempenho do motor. Para tentar resolver esses problemas vários pesquisadores sugerem o uso de misturas de óleos vegetais com diesel, apesar de apresentarem diminuição na eficiência térmica do motor, refletindo no aumento do consumo de combustível e emissões. Assim, sabe-se que mesmo as misturas de óleos vegetais não podem resolver os problemas associados à sua combustão incompleta, como alternativa de modificar as propriedades do óleo vegetal antes da mistura. A partir deste preceito o refino de óleo vegetal passa a ser uma opção atrativa, pois permite a redução da viscosidade e sua acidez, devido à degomagem e neutralização durante o processo de refino. Este trabalho analisa a influência do uso de misturas de óleo de soja refinado com diesel em um grupo gerador a diesel monocilíndrico simplesmente aspirado. Os resultados fornecerão uma visão mais abrangente dessa influência e sua possível aplicação prática em usinas termelétricas.

Palavras-chave: Biocombustíveis, Óleo de soja refinado, Grupos geradores a diesel

1. INTRODUÇÃO

A constante incógnita global relacionada aos combustíveis derivados do petróleo é a necessidade crescente da redução das emissões de gases do efeito estufa, resultando em uma busca constante por fontes renováveis que substituam o diesel e a gasolina. Segundo Siqueira et al (2011) a utilização da biomassa é uma alternativa viável, além disso, de modo a reafirmar essa tendência, em nota técnica o Ministério Minas Energia (BRASIL, 2020), dá orientações para o uso de óleos vegetais (OV) em motores a diesel.

Ainda segundo o MME, a projeção percentual obrigatória de biodiesel para 2023 será de 15%, ou seja, aumento da demanda de OV, sendo necessários mais estudos para suprir a demanda desse mercado crescente. O biodiesel apesar de suas vantagens quanto a redução nas emissões de O₂, CO₂, CO e SO₂. REIS et al (2013), afirma em seu estudo do

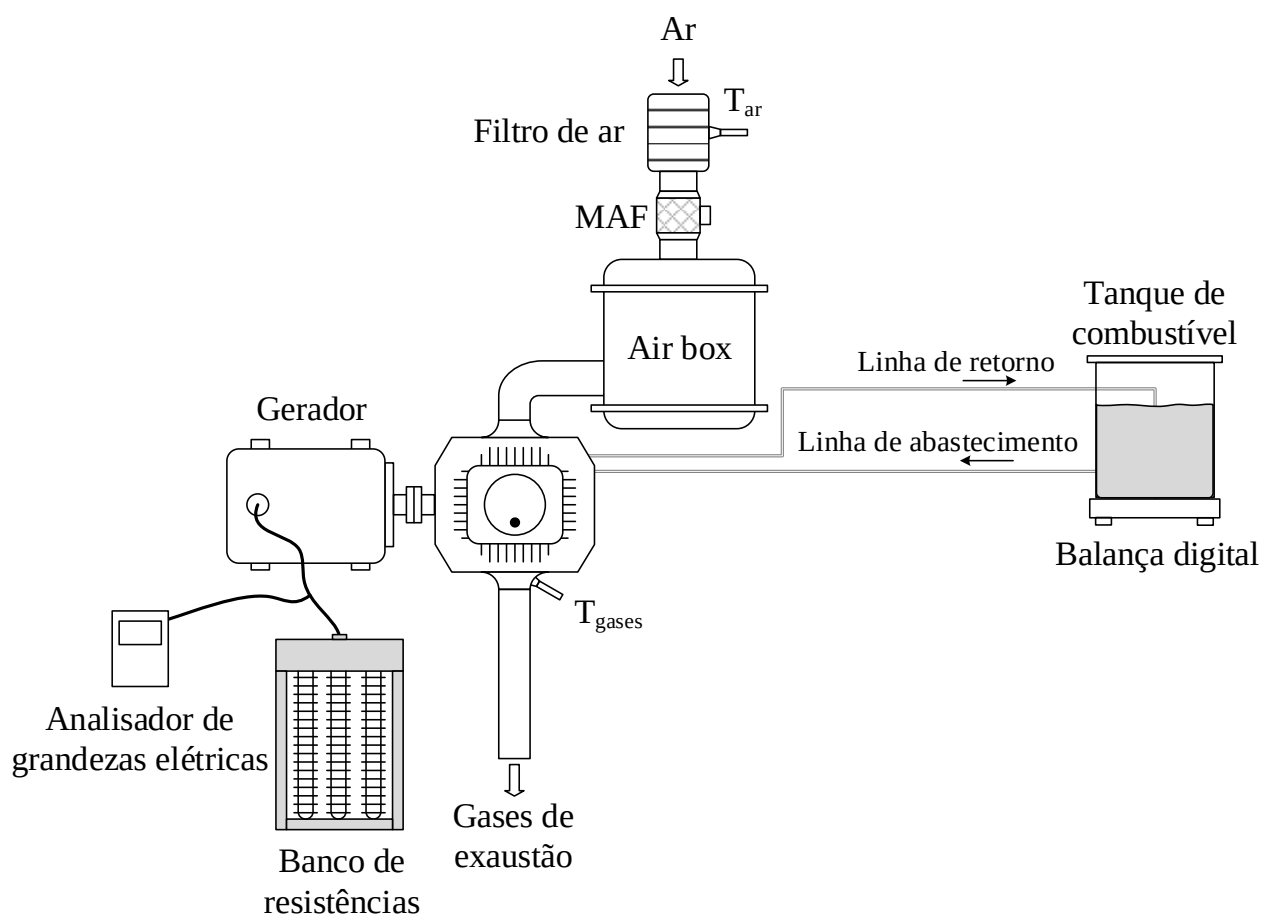
Análise do Desempenho de um Grupo Gerador a Diesel com Misturas de Óleo de Soja Refinado com Diesel
desempenho de emissões de um motor gerador sob diferentes concentrações de biodiesel de soja, que ocorreram aumento nas emissões de óxido de nitrogênio (NOx). Além disso, verificou-se o aumento do consumo de combustível diretamente proporcional a concentração de biodiesel. Enquanto, Fernandes et al (2010), em análise óleo refinado de soja (ORS) para acionamento de motores a diesel, notou que a utilização de misturas de ORS com diesel demonstrou tendência de aumento da potência do motor proporcional a adição de ORS na mistura.

No Brasil, a soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é a oleaginosa com pacote tecnológico mais bem consolidado no país, sendo o principal fator para a sua utilização como principal matéria-prima na produção do biodiesel. A soja é uma cultura tradicional, plantada de norte a sul do Brasil, conta com uma cadeia produtiva estruturada, alta tecnologia de produção, centros de pesquisa, além de ser um dos óleos vegetais de menor custo.

A partir deste preceito o refino de óleo vegetal passa a ser uma opção atrativa, pois permite a redução da viscosidade e sua acidez, devido à degomagem e neutralização durante o processo de refino. Este trabalho analisa a influência do uso de misturas de óleo de soja refinado com diesel em um grupo gerador a diesel monocilíndrico simplesmente aspirado. Os resultados fornecerão uma visão mais abrangente dessa influência e sua possível aplicação prática em usinas termelétricas.

2. Metodologia

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Motores da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA). Para a realização dos ensaios, projetou-se uma bancada experimental constituída por um grupo gerador de ciclo Diesel da marca Branco, modelo BD6500, como motor monocilíndrico de quatro tempos, com potência nominal de 5,5 KVA, resfriado a ar e injeção direta. Para a medição e controle, foram utilizados diferentes sensores que permitiram aferir a pressão dentro do cilindro, consumo específico de combustível, energia elétrica gerada, vazão mássica do ar de admissão e eficiência volumétrica, temperatura dos gases de exaustão, do ambiente e do combustível, a Fig. 1 apresenta o desenho esquemático da bancada experimental. Os ensaios foram realizados utilizando uma carga resistiva para atingir as potências percentuais de 60%, 80% e 100% nas quais representam as respectivas potências 2,7 kW, 3,7kW, 4,4kW.



Fonte: Carvalho, 2022.

Figura 1. Representação esquemática da bancada experimental

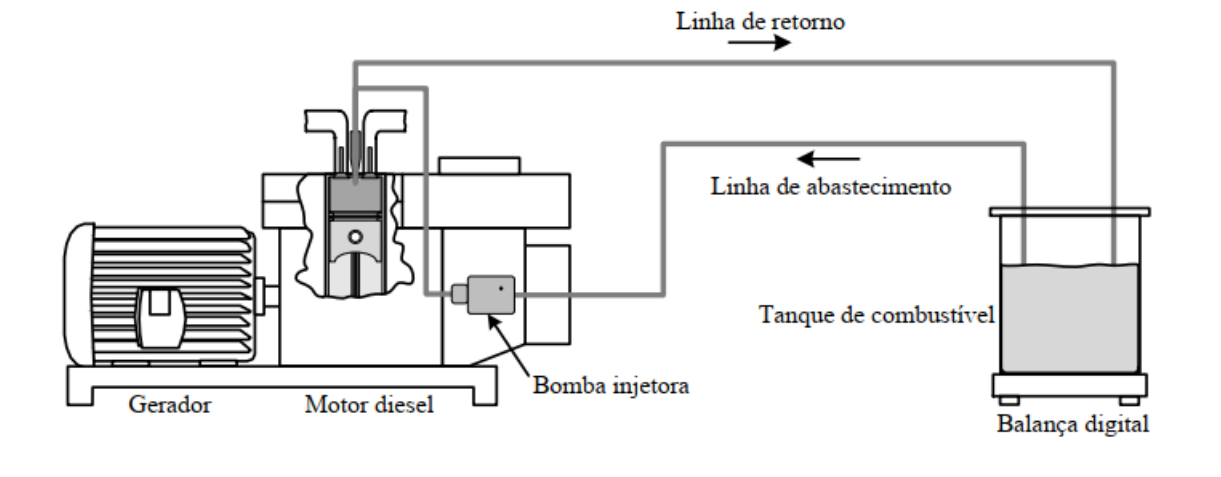
Quanto ao combustível aplicou-se óleo diesel automotivo S-10 tipo B, composto por 7% de biodiesel em volume de óleo diesel (B7), adquirido em posto de combustível local. O óleo de soja refinado empregado nas misturas, também foi comprado em supermercado regional. As proporções de óleo diesel e óleo de soja nas misturas são apresentados na tabela 01.

Medição da potência elétrica

A potência elétrica gerada (Pelet) foi medida utilizando o medidor de grandezas elétricas Landis+Gyr SAGA 4500. Além da potência elétrica foram registradas também a frequência, tensão e corrente elétrica de cada uma das fases. Este equipamento foi configurado para coletar os dados a cada dois segundos. Posteriormente, calculou-se a média desses dados a cada um minuto e encaminhou-se para o computador por meio de software próprio de monitoramento.

Consumo de combustível

Para determinar a vazão mássica de combustível consumida pelo motor, utilizou-se uma balança digital com precisão DIGIMED DG-15WT. O sistema de aferição foi montado, colocando-se o reservatório do combustível sobre a balança, conforme demonstrado na Fig. 2.



Fonte: Carvalho, 2022.

Figura 2. Sistema de aferição do consumo de combustível

A variação da massa foi aquisitada a cada um minuto. O cálculo da vazão mássica do combustível Eq. (1) foi determinado dividindo a variação da massa medida pela balança pelo tempo transcorrido a cada aferição. Quanto a vazão mássica total das misturas dos combustíveis consumidos pelo grupo gerador, foi calculada em função da soma das vazões mássicas de todos os combustíveis que estão sendo introduzidos no motor Eq. (2).

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{m_i - m_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \quad (1)$$

$$\dot{m} = \dot{m}_{OSR} + \dot{m}_{OD} \quad (2)$$

Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível ($C_{esp.comb.}$) é um parâmetro usual para medir a eficiência de um motor, em função do consumo de combustível e o trabalho. Este consumo é inversamente proporcional a eficiência térmica do motor. Neste estudo, o consumo específico de combustível foi calculado pela Eq. (3) em função da vazão mássica total ($\dot{m}_{comb}$) de todos os combustíveis consumidos pelo motor, que foram utilizados para gerar uma determinada potência elétrica ($P_{eletrica}$).

$$C_{esp.comb.} = \frac{\dot{m}_{comb}}{P_{eletrica}} \quad (3)$$

Também foram calculadas a eficiência térmica de cada mistura e as respectivas cargas, através da Eq. (4).

$$\eta = \frac{1}{C_{esp.comb.} * PCI_{Mistura}} \quad (4)$$

Vazão mássica do ar de admissão e eficiência volumétrica

Para a determinação da vazão mássica do ar admitido pelo motor foi usado o anemômetro AMI 300 do tipo turbina instalado a montante de uma câmara de expansão (air-box) projetada para evitar as flutuações do ar devido a abertura e fechamento das válvulas no motor.

Inicialmente foi determinada a massa específica do ar (par) utilizando os resultados da medição de temperatura e pressão atmosférica do ar ambiente, posteriormente, com o diâmetro da sonda e a velocidade do ar obtida pelo anemômetro AMI 300 foi determinada a vazão mássica do ar admitido pelo motor utilizando a Eq.(5).

$$\dot{m}_{ar} = \frac{\pi}{4} d^2_{sonda} v_{ar} \rho_{ar} \quad (5)$$

Medição de temperaturas

Foram instalados três termopares tipo K, em locais distintos do motor. Para determinar a temperatura do ar de admissão instalou-se termopar na entrada do coletor de admissão de ar após o *air-box*. Ao mesmo tempo foi utilizado um termopar para medição da temperatura dos gases no início da saída do coletor de exaustão. O terceiro termopar foi instalado na linha de baixa pressão próximo da entrada da bomba injetora.

Aquisição dos dados

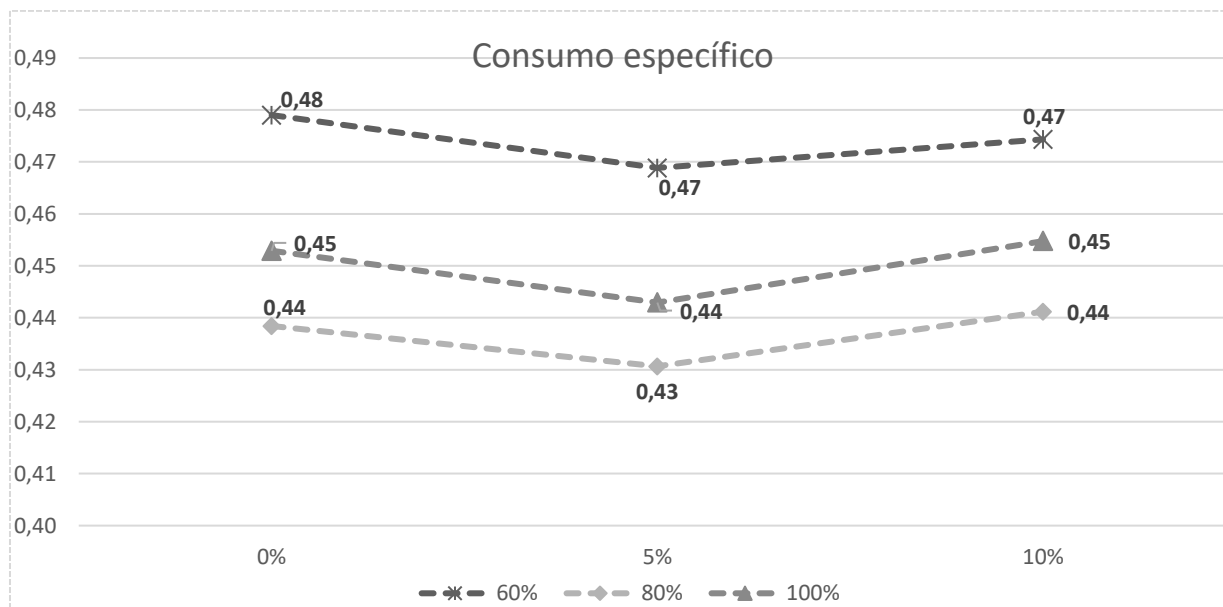
Para a coleta e registro de todas as variáveis medidas nos ensaios foi utilizado o coletor de dados COMTEMP A202. Já para o monitoramento dos dados coletados foi necessária a criação de uma ferramenta SCADA de supervisão e controle, a qual foi desenvolvida usando o programa DAQFactory-Pro v16.2. Com esta ferramenta foi possível supervisionar em tempo real o consumo de combustível, temperaturas do ar de admissão, do combustível injetado e dos gases no pleno.

Os dados para os cálculos foram extraídos da tabela 01 abaixo.

Tabela 1		
	Diesel S10	Soja refinado
C [%]	84,3	74,4
H [%]	15,7	11,4
O [%]	0,0	14,2
N [%]	0,0	0,0
S [%]	0,0	0,0
PCS [kJ/kg]	43133,0	39191,3
PCI [kJ/kg]	39705,7	36702,7
Massa específica à 25°C [kg/m ³]	816,4	902,9

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, foram realizados os ensaios do motor com óleo diesel convencional. Os resultados obtidos foram utilizados como linha de base comparativa para as misturas.



Fonte: Carvalho, 2022.

Figura 1

A Figura 1 mostra o consumo específico de combustível para as misturas de 0%ORS-100%OD, 5%ORS-95%OD e 10%ORS-90%OD para cada carga aplicada. O consumo específico (CE), relaciona a vazão mássica de combustível e a potência elétrica, ou seja, quanto menor o CE mais eficiente é a mistura. Na carga de 80%, observa-se o melhor desempenho, pois o CE praticamente conservou-se, mesmo com o aumento da porcentagem de ORS e aumento da carga aplicada. Concomitantemente, os dados percentuais médios da potência dos combustíveis misturados foram de 1%

menor que o diesel, além disso, a vazão mássica também apresentou pouca variação. Dessa forma, o CE global das misturas pouco variou em relação a linha base. Wagner, Lambert *et al.* (2013), investigou o desempenho de diferentes motores com misturas de óleo de soja e diesel e verificou que o desempenho médio das misturas foi excelente, e a redução média da potência foi de 1,1%, corroborando com os resultados encontrados.

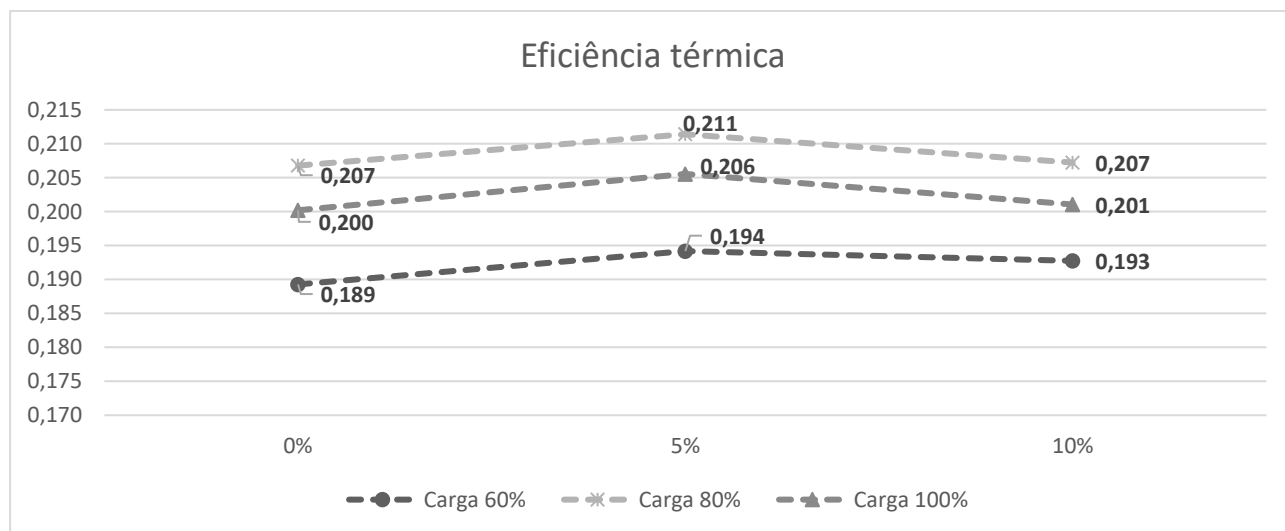


Figura 2

A Figura 2 mostra os dados da eficiência térmica das misturas sendo inversamente proporcional ao consumo específico. Observa-se, queda progressiva da eficiência térmica na mistura de 10%ORS-90%OD nas cargas de 60% e 100%, enquanto na carga de 80% a eficiência térmica de ambas as misturas se manteve próximas. Vale ressaltar, que a diferença percentual entre as misturas e a linha de base foram quase insignificantes, porém analisando a curvas de temperatura média dos gases de exaustão da Fig.3, observa-se aumento da temperatura na mistura de 10%ORS-90%OD em comparação com a mistura de 5%ORS-95%OD. Porém, houve um decréscimo percentual de 2,5%, 4,4%, 5,5% e respectivas cargas aplicadas, em relação a mistura de 5%ORS-95%OD.

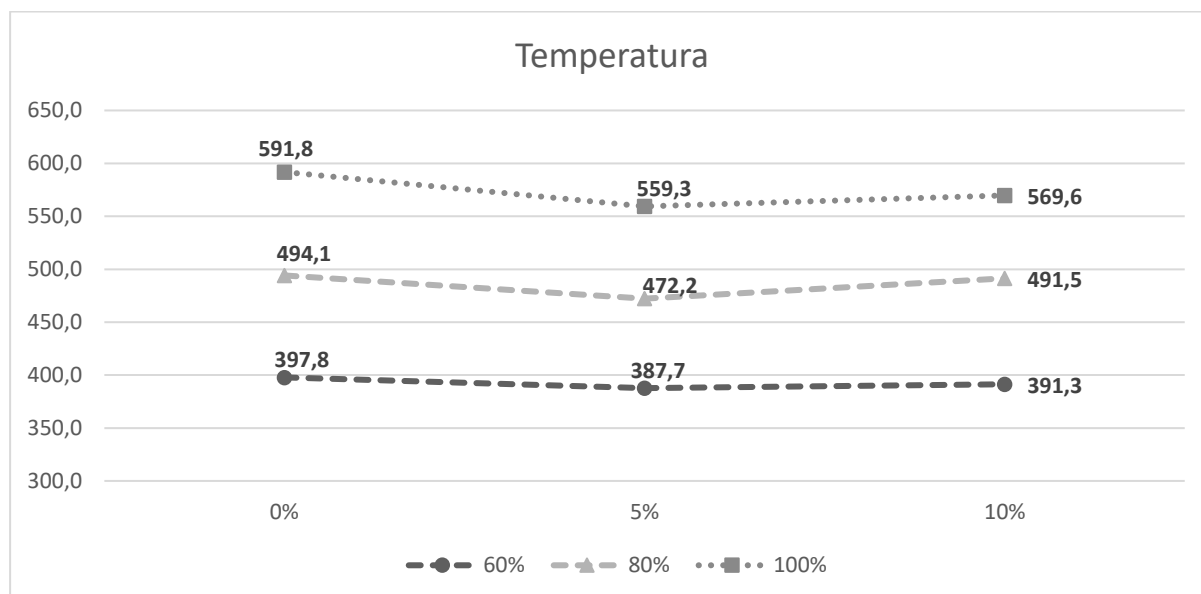


Figura 3

Infer-se que o declínio da temperatura observado na Fig. 3, esteja relacionado ao atraso da ignição do motor, uma vez que, o ORS que em comparação ao OD é mais lento (Zhang, Liu et al. 2021). Isto ocorre, segundo Nieto Garzón, Oliveira *et al.* (2019) o ORS é formado por moléculas mais longas e ramificadas com ligações duplas, nesse sentido, o ORS não evapora facilmente, sofre primeiramente degradação térmica, para então posteriormente a molécula misturar-

C.F.C. Amanda, M.Z.R. Hendrick, S.Q. Larissa, A.S. Gabriel, A.M.S. João, M.R.N. Leilane, V.L. Arthur
Análise do Desempenho de um Grupo Gerador a Diesel com Misturas de Óleo de Soja Refinado com Diesel
se com o ar. Após o aquecimento as espécies de OD evaporam primeiro e as de óleo degradam-se. De acordo, com esse
parâmetro a temperatura dos gases de exaustão podem ter reduzido devido a esse fenômeno.

4. CONCLUSÃO

Analisando a eficiência térmica e o consumo específico de combustível, nota-se que as diferenças entre as duas misturas não foram tão significativas. Neste aspecto, pode-se inferir que seria interessante aumentar a proporção de óleo refinado de soja, e analisar até que proporção a diferença entre elas tornam-se mais significativas. Os melhores resultados foram obtidos pela mistura composta por 5% de óleo de soja em todas as cargas. Sugere-se maiores investigações, com intuito de comprovar os dados promissores de eficiência térmica e consumo específico de combustível.

A adição de óleo refinado de soja, de acordo com os resultados não resultou em mudanças significativas na eficiência do grupo gerador. Em alguns casos ocorreu melhoria da eficiência térmica e consumo específico, em comparação com o diesel, infere-se que a calibragem do motor quanto ao tempo de injeção tenham favorecido, o desempenho. Portanto, sugere-se maiores investigações a cerca, das condições do motor que favoreçam a combustão do óleo de soja.

5. REFERÊNCIAS

Reis, Elton F. dos Reis et al 2013. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. In Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. UAEE/UFCG, Paraíba, Brazil, Vol.17, pp. 565-571.

Siqueira, Wagner da Cunha et al 2011. Desempenho de um trator agrícola de pneus, funcionando com misturas de óleo diesel e óleo de soja reutilizado. In Revista Ceres. WEB, Viçosa, Brazil, Vol. 17, pp. 603-11.

Fernandes, H.C et al 2010. Óleo refinado de soja para acionamento de motores diesel. In Engenharia Na Agricultura. WEB, Viçosa, Minas Gerais, Brazil, vol. 58, pp. 288-96.

Brunetti, Franco, 2012, Motores de combustão interna: volume 1. Ed. Bluncher, São Paulo, Brazil.

Nieto Garzón, N. A., A. A. M. Oliveira and E. Bazzo (2019). "An ignition delay correlation for compression ignition engines fueled with straight soybean oil and diesel oil blends." Fuel 257.

Wagner, E. P., P. D. Lambert, T. M. Moyle and M. A. Koehle (2013). "Diesel vehicle performance on unaltered waste soybean oil blended with petroleum fuels." Fuel 107: 757-765.

Zhang, Z., X. Liu, H. Liu, Y. Wu, M. Zaman, Z. Geng, C. Jin, Z. Zheng, Z. Yue and M. Yao (2021). "Effect of soybean oil/PODE/ethanol blends on combustion and emissions on a heavy-duty diesel engine." Fuel 288.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

PERFORMANCE ANALYSIS OF A DIESEL GENERATOR SET OPERATING WITH MIXTURES OF REFINED SOYBEAN OIL WITH DIESEL

Amanda Cristina Ferreira Carvalho, amanda.carvalho@itec.ufpa.br¹

Hendrick Maxil Zárate Rocha, hendrick@ufpa.br²

João Antônio Monteiro da Silva, eng.joaoantonio8@gmail.com³

Larissa Santos Queiroz, queirozlariss@gmail.com⁴

Arthur Vilhena Lima, arthurvilma25@gmail.com⁵

Leilane Maria Ribeiro Nogueira, leilanemaria0106@gmail.com⁶

¹Universidade Federal do Pará, amanda.carvalho@itec.ufpa.br

² Universidade Federal do Pará, hendrick@ufpa.br

³ Universidade Federal do Pará, queirozlariss@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Pará, eng.joaoantonio8@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Pará, arthurvilma25@gmail.com

⁶ Universidade Federal do Pará, leilanemaria0106@gmail.com

Abstract. *Due to the environmental impacts caused by fossil fuels, it is sought to replace them with renewable energies. In this context, some alternative fuels have been tested, such as ethanol, biodiesel, vegetable oils, among others. In the case of Brazil, biodiesel is mixed regularly with diesel oil and sold at a proportion of 10% by volume (B10). Among the disadvantages of using biodiesel are its lower calorific value, its chemical instability and higher viscosity, which cause unfavorable conditions for combustion, reducing engine efficiency and directly reflecting increased fuel consumption. In addition to the disadvantages found in the properties of biodiesel, there are significant disadvantages regarding its production, as it requires specialized professionals and sophisticated equipment to carry out the transesterification process, further increasing the final cost of biodiesel, due to the costs and logistics of the raw material. to specialized industries and subsequent return of biodiesel to distribution points and places of consumption. The direct use of vegetable oil (VO) as a fuel could solve the problems presented with the production and logistics of biodiesel, however, the use of VO as a fuel presents multiple problems associated with its properties, such as its high viscosity and long chemical structure, requiring longer vaporization and combustion times inside the cylinder, reflecting negatively on engine performance. To try to solve these problems, several researchers suggest the use of mixtures of vegetable oils with diesel, despite showing a decrease in the thermal efficiency of the engine, reflecting in the increase in fuel consumption and emissions. Thus, it is known that even vegetable oil mixtures cannot solve the problems associated with their incomplete combustion, as an alternative to modifying the properties of the vegetable oil before mixing. From this precept, the refining of vegetable oil becomes an attractive option, as it allows the reduction of viscosity and acidity, due to degumming and neutralization during the refining process. This work analyzes the influence of the use of refined soybean oil blends with diesel in a single-cylinder, simply aspirated diesel generator set. The results will provide a more comprehensive view of this influence and its possible practical application in thermoelectric plants.*

Keywords: Biofuels, Refined soybean oil, Diesel generator sets