

METODOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL EM MOTORES DE IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO

Luany Karolynne David Braga, Luany_karolynne@hotmail.com¹

Antonilson Oliveira da Conceição, em.antonilson@gmail.com¹

Hendrick Maxil Zarate Rocha, hendrick@ufpa.br¹

Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br¹

Manoel Fernandes Martins Nogueira, mfmn@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém – PA, faculdade de engenharia mecânica.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo analisar experimentalmente metodologias para obtenção do consumo específico de combustível (kg/kW.h), parâmetro singular na análise da viabilidade econômica de grupos geradores do ciclo diesel. A obtenção do consumo específico depende do consumo de combustível, que pode ser encontrado através da vazão mássica ou volumétrica, e da potência elétrica produzida pelo grupo gerador. No presente trabalho foi utilizado um grupo gerador da marca YANMAR 4TNV88-GGE de potência nominal de 21,6 kW consumindo óleo diesel S500, denominado de B0. A metodologia empregada será a medição simultânea do consumo de combustível utilizando a vazão mássica (balança) e volumétrica corrigida com a temperatura (medidor de vazão e termopar), o intuito é determinar possíveis disparidades nas medições, refletindo na obtenção do consumo específico de maneira mais eficaz. Os resultados experimentais obtidos até o momento mostram que a obtenção do consumo específico via vazão mássica é mais eficiente do que a vazão volumétrica, devido as perturbações na linha de combustível interferirem diretamente no cálculo da vazão volumétrica; a interferência mínima da temperatura no cálculo da vazão mássica também foi outro fator determinante para caracterizar este método como o mais efetivo.

Palavras-chave: consumo específico, vazão mássica, vazão volumétrica, motor diesel

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica a partir de usinas Termelétricas no Brasil segundo o Banco de Informações de Geração (BIG, 2017), representa 26,62% do percentual nacional produzido, ver Fig. 1. As termelétricas em sua maioria utilizam motores de ignição por compressão (motor diesel), que acoplado a um motor elétrico, formam o conjunto grupo gerador, o qual é responsável pela geração de energia elétrica. Neste contexto a avaliação da eficiência na geração de energia é crucial para manutenção das Termelétricas em operação, pois em sua maioria elas dependem de subsídios do governo para operar e são fiscalizadas por órgãos governamentais (ANEEL).

Portanto um estudo detalhado do conjunto grupo gerador foi necessário para avaliar sua eficiência e o parâmetro principal da análise é o consumo específico de combustível, onde segundo Conceição (2015), o consumo específico de combustível é um parâmetro crucial na escolha de grupos geradores, representando diretamente o custo para operação de determinada unidade geradora, o que reflete nas contas de energia elétrica.

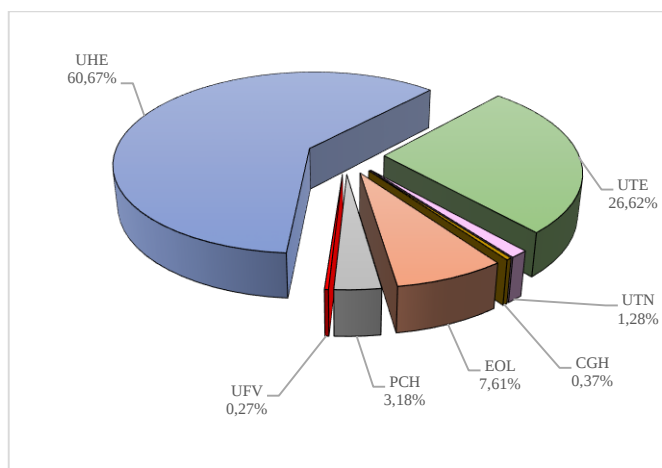


Figura 1. Percentual de produção energética no Brasil em 2017 (CGH-Central Geradora Hidrelétrica, CGU-Central Geradora Undi-elétrica, EOL-Central Geradora Eólica, PCH-Pequena Central Hidrelétrica, UFV-Central Geradora Solar Fotovoltaica, UHE-Usina Hidrelétrica, UTE-Usina Termelétrica, UTN-Usina Termonuclear).
Fonte: BIG, 2017.

Logo, foram adotados dois métodos para determinar o consumo do combustível: vazão mássica e vazão volumétrica, com o intuito de encontrar a metodologia mais eficaz na obtenção do consumo específico de combustível.

2. MOTOR DIESEL

Nos motores Diesel a ignição ocorre por autoignição, no contato do combustível injetado com o ar aquecido pela compressão provocada pelo pistão. Segundo Bosch (2005) durante o tempo de compressão, o ar de admissão é comprimido para valores entre 30 e 50 bar, em motores naturalmente aspirados, de modo que sua temperatura aumenta para valores entre 700 e até 900 °C. O combustível é injetado na câmara ligeiramente antes do tempo desejado para a combustão, quando o êmbolo está próximo do final do curso de compressão PMS (Ponto Morto Superior). O combustível líquido é injetado em alta velocidade na câmara de combustão, em vários jatos, através dos pequenos orifícios do injetor, sendo em seguida vaporizado à medida que se mistura com o ar em alta temperatura e alta pressão. Como a temperatura e a pressão do ar estão acima do ponto de ignição do combustível, ele entrará em combustão alguns instantes depois do início da injeção. O tempo entre o instante inicial de injeção e o instante de início de combustão é conhecido como atraso de ignição ou atraso de combustão. A Fig. 2 demonstra o processo de combustão em um motor diesel de injeção direta, no momento exato em que o pistão chega ao PMS, onde ocorre a injeção de combustível em alta pressão resultando na ignição espontaneamente, típica de motores diesel.

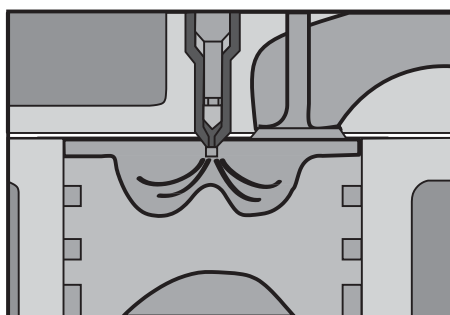


Figura 2. Combustão em motor Diesel de injeção direta, momento de injeção de combustível no final de compressão (autoignição).
Fonte: Brunetti, 2012.

2.1. Injeção de combustível

A injeção correta de combustível nos motores Diesel é de suma importância, pois tendo como resultado deste processo uma mistura heterogênea, esta ocorre nas bordas do jato do spray através de uma chama de difusão a mistura ar-combustível, que irá reagir quimicamente dando início a combustão.

Após a injeção do combustível ocorre alguns fenômenos, dentre eles o resfriamento do ar até que ocorra o início da combustão, tudo isso devido à elevação de temperatura e consequentemente vaporização de gotículas de combustível

injetado que entrou em contato com o ar que está em temperatura elevada. Contudo, se a temperatura da mistura não for elevada o suficiente, o processo de autoignição – que ocorre quando tem temperaturas elevadas o suficiente para fazer a fragmentação das moléculas de combustível, sem a necessidade de outra ignição externa – não acontece, dificultando a intensificação do processo de combustão do tipo de combustível injetado. Devido ao óleo diesel comumente utilizado no motor Diesel ser mais viscoso – pois na formulação do mesmo existem teores elevados de enxofre, compostos nitrogenados, percentual elevado de compostos com dupla ligação, que ao final do processo de combustão favorecem a formação de resíduos prejudiciais ao motor e ao meio ambiente, ver Fig. 3, – a autoignição seria de grande ajuda.



Figura 3. Bico injetor carbonizado em consequência da utilização de óleo S500 com elevado teor de enxofre.
Fonte: Autoria própria.

Porém, ao elevar a temperatura, acontece a alteração da viscosidade e isto implica na mudança da massa específica, acarretando em resultados poucos precisos no momento de realizar os cálculos da medição volumétrica. Outros problemas podem decorrer disso, como bem explicitou Cardoso (2016) como sobre-esforço na bomba injetora, entupimento ou mal funcionamento nos bicos injetores, ou ainda, podendo resultar em aumentos de temperatura na câmara de combustão, corroborando para o aparecimento de um fenômeno de carbonização.

2.2. Consumo específico de combustível

Em termos técnicos o consumo específico, de acordo com Brunetti (2012) é definido pela relação entre a vazão mássica de combustível consumida pelo motor diesel e a potência elétrica produzida pela unidade geradora, ver Eq. (1).

$$CoEs = \frac{\dot{m}_{comb}}{P_e} \text{ (kg/kW.h)} \quad (1)$$

A obtenção das variáveis para o cálculo do consumo específico é encontrada experimentalmente, onde é necessária a instrumentação do grupo gerador utilizando medidores de consumo de combustível (mássico ou volumétrico), e dados elétricos (tensão, corrente e potência elétrica).

O principal problema está relacionado a medição do consumo de combustível, pois em motores diesel a medição ocorre fazendo a quantificação do consumo de combustível em unidade de tempo por unidade de massa, (ex: kg/h), sendo que isso não é obtido de maneira direta, pois depende da metodologia adotada, por exemplo, se for utilizado um medidor de vazão, é necessário medir a vazão do combustível (ex: l/h) e transformá-la em unidade de massa com a ajuda da massa específica (m^3/kg), que varia em função da temperatura do combustível. Tais fatores podem facilmente ser manipulados de maneira indevida na hora da transformação de unidades, o que prejudica sua veracidade.

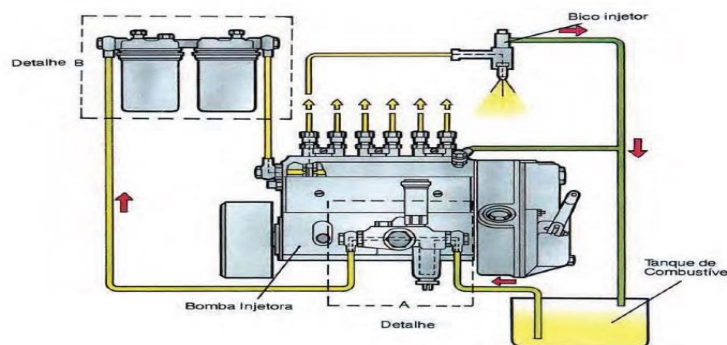


Figura 4. Sistema de injeção mecânica de combustível de motor diesel com bomba injetora em linha
Fonte: MAHLE, Curso Metal Leve Motores de Combustão interna, 2016.

Outro fator determinante é a influência que as bombas de injeção volumétricas acarretam em motores diesel, ver Fig. 4, pois devido ao fato do sistema de injeção ser intermitente e alternado, tais bombas provocam pulsações no fluido o que ocasiona frequentemente mudança na direção do fluxo do combustível, aumentando com isso sua frequência. Esta variação, dependendo da escala adotada e do método optado para medição do consumo de combustível influencia diretamente em uma medição errônea ou com pouca precisão. Desta forma ajustaram-se o valor da massa específica em relação a temperatura, fazendo as devidas correções para os cálculos do consumo específico.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental é apresentado na Fig. 5, segundo Rocha (2009) onde estão listados os equipamentos necessários para a medição simultânea da vazão mássica e volumétrica de combustível e potência elétrica. No ponto 1, encontra-se a balança da marca DIGIMED, com precisão de 0,001g, com reservatório de combustível de 15l, que abastece toda a linha com diesel S500 e alimenta o motor diesel. A balança apresenta um sistema de aquisição que possibilita registrar a redução na massa de combustível em função do tempo, portanto no ponto 1 é obtida a vazão mássica de combustível. Em seguida no ponto 2 foi instalado um filtro de combustível para reduzir a presença de partículas e não obstruir o medidor de vazão.

O ponto 3 apresenta o medidor de vazão da marca OVAL, modelo LSF-41, com faixa de operação de 0,5 a 50l e precisão de 1%, neste ponto é obtida a vazão volumétrica de combustível, esta deve ser corrigida em função da temperatura deste, no ponto 5 após o medidor de vazão está instalada uma termo resistência tipo PT100, com faixa de medição -80 a 260 °C com precisão de 0,1°C, responsável por registrar a variação de temperatura do combustível, pois como a recirculação do combustível na bomba injetora, ponto 6, a elevação na temperatura deste o que acarreta na mudança da massa específica que deve ser corrigida.

A medição de vazão volumétrica de combustível requer que o medidor de vazão fique imune as perturbações geradas pela bomba injetora, pois em cada injeção de combustível a uma mudança súbita de pressão na linha de alimentação de combustível, o que provoca perturbações e erros de leitura no medidor de vazão, a solução é a instalação de um tanque de expansão, ponto 4, onde um tanque pressurizado com ar atenua as perturbações na linha, mantendo o medidor de vazão imune.

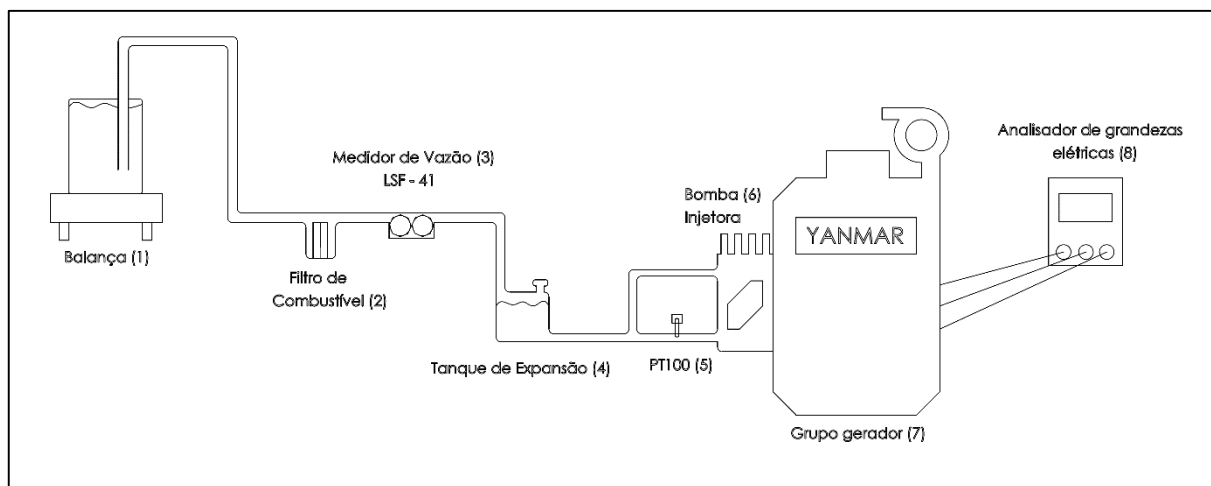


Figura 5. Aparato experimental para medição de consumo específico de combustível de um grupo gerador diesel.

Fonte: Autoria própria.

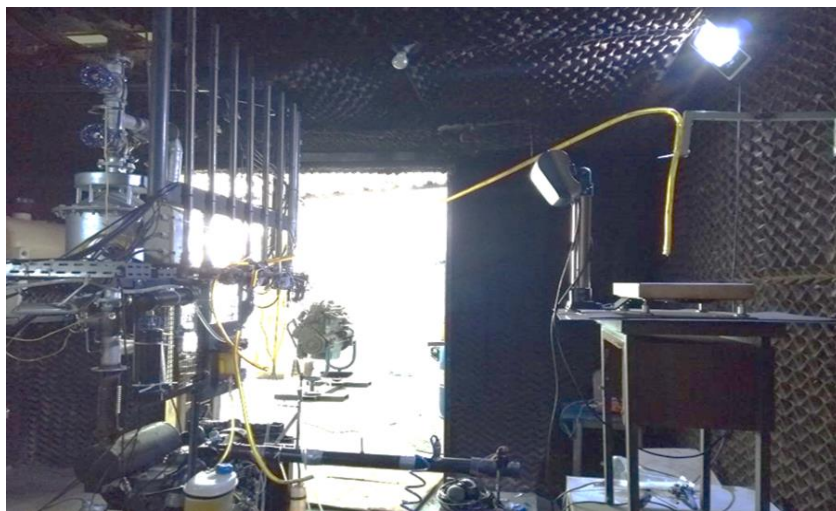


Figura 6. Aparato experimental montado no Labmotor para obtenção do consumo específico utilizando metodologias diferentes.

Fonte: Autoria própria.

O grupo gerador está localizado no ponto 7, trata-se de um motor da marca YANMAR modelo 4TNV88-GGE, de potência nominal de 21,6 kW, na rotação de 1800 rpm. É um motor diesel de 4 tempos, com aspiração natural e sistema de injeção mecânica de combustível por bomba rotativa. A potência produzida em um grupo gerador é a potência elétrica, esta é dissipada em banco de resistências, que simulam as cargas no grupo gerador, as cargas utilizadas no experimento foram de 50, 70 e 100% da potência nominal do motor diesel.

A obtenção das grandezas elétricas é feita a partir do equipamento SAGA 4500, instalado no gerador onde são aquisitados: tensão, corrente por fase calculando a potência elétrica produzida.

Em cada uma das cargas foram comparados os valores obtidos com a vazão mássica e volumétrica, para medição do consumo de combustível para a mesma potência elétrica produzida. A figura 6 mostra o aparato experimental montado no Labmotor para obtenção do consumo específico utilizando as duas metodologias: medição de vazão e mássica.

4. RESULTADOS E CONCLUSÃO

As medições realizadas no grupo gerador são apresentadas nas figuras, de acordo com a norma NBR ISO 1585 (1996). A Fig. 7 é um gráfico que apresenta todos os valores medidos, da vazão mássica e volumétrica de combustível, neste gráfico é possível notar a elevação do consumo de combustível com a elevação da carga, em ambas as metodologias o comportamento foi semelhante, entretanto na medição da vazão mássica não há interferência da temperatura, ou seja, ela é obtida pela diminuição da massa depositada sobre a balança e independe da variação da massa específica do combustível, essa metodologia apresenta uma maior praticidade na obtenção e tratamento dos dados.

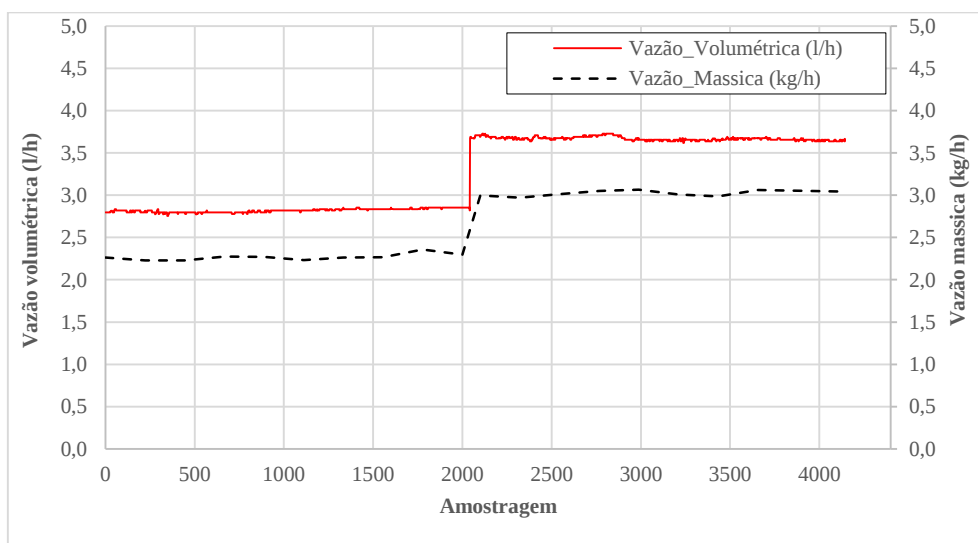


Figura 7. Medição do consumo de combustível.

Na obtenção da vazão volumétrica é necessário corrigir o valor da massa específica em função da temperatura do combustível, a Fig. 8, apresenta uma curva de ajuste obtida experimentalmente, onde é expressa uma equação que relaciona a massa específica com a temperatura.

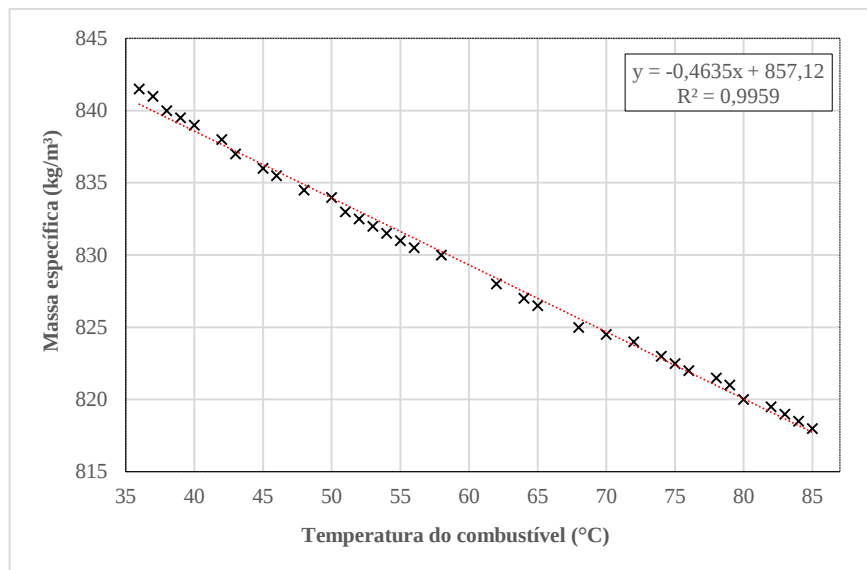


Figura 8. Variação da massa específica em função da temperatura.

O trabalho de Park (2015) mostra resultados semelhantes em relação a massa específica de combustível, nos seus experimentos, ele obteve o mesmo gráfico apresentando o decaimento da massa específica em função da elevação da temperatura do combustível, o que valida as correções que devem ser feitas na medição da vazão volumétrica para obtenção da vazão mássica.

O consumo específico de combustível encontrado a partir das duas metodologias de medição de vazão (mássica e volumétrica), é apresentado na Fig. 9, com a elevação da carga no grupo gerador, a redução de seu consumo específico, dessa forma, este grupo gerador apresenta maior eficiência térmica na carga de 70%, em ambos os casos. Notam-se também uma pequena disparidade nos valores apresentados em torno de 1%, isso evidencia, que ambas as metodologias são eficazes na medição do consumo específico de combustível, entretanto, devemos levar em consideração que o valor encontrado com a medição mássica, não necessita ser corrigido, o que deve ser realizado com precisão na vazão volumétrica.

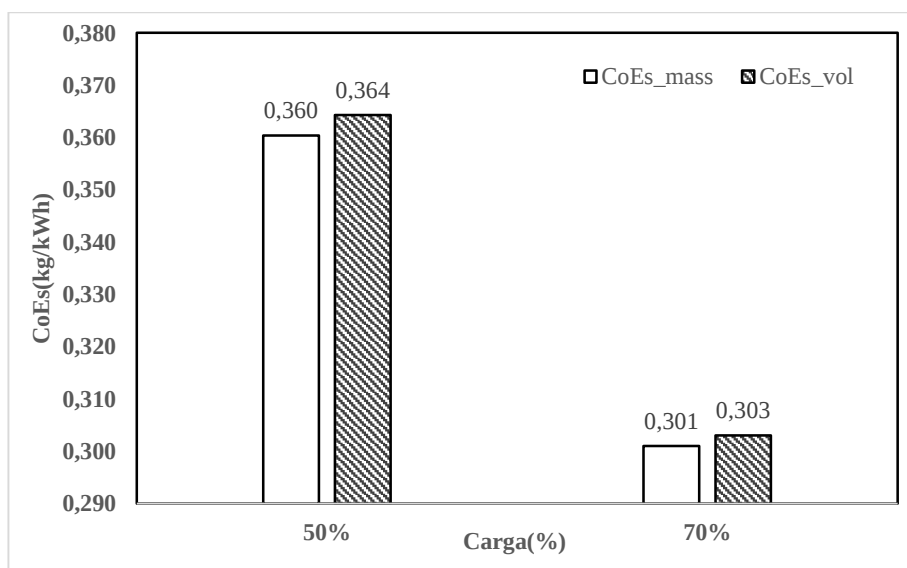


Figura 9. Consumo específico de combustível em função da carga.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível com o apoio do Laboratório de Motores da Universidade Federal do Pará e, em especial ao mestrande Antonilson Oliveira e ao professor doutor Hendrick Zarate.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR ISO 1585; “Veículos Rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva”. Junho de 1996.
- Bosch, Robert. “Manual de Tecnologia Automotiva”, tradução Helga Madjderey, Gunter W. Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini, Suely Pfeferman – São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- Brunetti, Franco. “Motores de Combustão Interna: volume 1”. São Paulo: Blucher, 2012.
- Cardoso, Andrew Cantanhêde. Caracterização de spray de mistura ternária diesel-etanol-óleo vegetal. Dissertação (graduação em engenharia mecânica) - Faculdade de tecnologia, departamento de engenharia mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- Conceição, Antonilson Oliveira da. “Consumo Específico. In: _____.Recuperação e Comissionamento De Um Grupo- Gerador Modelo Yanmar – 4tnv88 – Gge De 20 Kva Com Motor Diesel”. Belém: 2015, pg 42.
- Mahle, Curso Metal Leve Motores de Combustão Interna, Manual Técnico, 2016.
- Rocha, Hendrick Maxil Zárate. “Aparato e Metodologia Experimental. In: _____.Combustão de Óleos Lubrificantes Usados em Motores Diesel”. Belém: 2009, pg 33.
- Park, Youngsoo. “Effects of diesel fuel temperature on fuel flow and spray characteristics”. Republic of Korea 2015, pag 4.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

A METHODOLOGIES FOR MEASURING SPECIFIC FUEL CONSUMPTION IN COMPRESSION IGNITION ENGINES

Luany Karolynne David Braga, Luany_karolynne@hotmail.com¹

Antonilson Oliveira da Conceição, em.antonilson@gmail.com¹

Hendrick Maxil Zarate Rocha, hendrick@ufpa.br¹

Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br¹

Manoel Fernandes Martins Nogueira, mfmn@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém – PA, faculdade de engenharia mecânica.

Abstract. *This work aims to analyze experimental methodologies to obtain specific fuel consumption (kg / kW.h), a singular parameter in the investigation of the economic feasibility of diesel generator set. The specific consumption depends on the fuel consumption, which can be found through the mass or volumetric flow, and the electric power produced by the generator set. The generator set used in this work was YANMAR model 4TNV88-GGE with 21.6 kW of nominal power consuming diesel oil S500, denominated of B0. The methodology employed will be the simultaneous measurement of fuel consumption using the mass (digital scale) and volumetric flow corrected with the temperature (flow meter and thermocouple), the purpose is to determine possible disparities in measurements, reflecting in obtaining the specific consumption in a more effective. From an analysis of the experimental results allows to conclude that the specific consumption obtained by the mass flow is more efficient than the volumetric flow because the fluid pulsation in the fuel supply line interfere directly in the calculation of the volumetric flow; the minimum interference temperature in the calculation of the mass flow was also another determining factor to characterize this method as the most effective.*

Keywords: *specific consumption, mass flow, volumetric flow, diesel engine*

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”¹.