

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM GRUPOS GERADORES A DIESEL

Larissa Santos Queiroz, queirozlariss@gmail.com¹
Luiz Cláudio da Cunha Marques, luizmar7@yahoo.com.br²
Nelson Júnior da Silva Rocha, nelsonjrrocha@gmail.com¹
Hendrick Maxil Zárate Rocha, henzaro@gmail.com²

¹Universidade Federal do Pará - FEM, Rua Augusto Côrrea, 1 – Guamá, Belém - PA

²Universidade Federal do Pará - PPGEM, Rua Augusto Côrrea, 1- Guamá, Belém - PA

Resumo: Grupos geradores a diesel são máquinas capazes de fornecer energia elétrica por meio da combustão de combustíveis, como diesel, biodiesel, óleo vegetal, entre outros. O princípio de funcionamento baseia-se na transformação da energia térmica em energia elétrica, utilizada em diversas aplicações, principalmente industrial e residencial. Os parâmetros operacionais dos grupos geradores apresentam dependência direta entre eles e sua variação pode afetar significativamente o desempenho do motor. Portanto, a análise criteriosa desses parâmetros característicos do grupo gerador é de muita importância, principalmente para a realização de pesquisas em laboratório. Este trabalho descreve os requisitos mínimos para estabelecer uma bancada de laboratório para a realização de pesquisas em grupos geradores, e assim analisar o desempenho dos mesmos operando com diferentes tipos de combustíveis. Para tanto, foi projetada uma bancada experimental, considerando os requisitos mínimos de todos os subsistemas, incluindo alimentação de combustível, ar de admissão, gases de exaustão e potência gerada.

Palavras-chave: Instrumentação, Grupos Geradores, Bancada Experimental, Sensores.

1. INTRODUÇÃO

Na literatura da língua inglesa encontram-se palavras sinônimas para bancada de teste (Encarta, 2005), benchmark e testbed, cujos significados fazem referência à: usado como padrão para medir ou avaliar alguma coisa; área equipada para testar maquinário em circunstâncias tão próximas das condições reais de operação quanto possível (Amorim, 2006).

A precisão de qualquer medida experimental é uma consequência direta da qualidade da configuração de todo o sistema de instrumentação e do controle rigoroso das condições do ensaio. Instrumentação é a ciência que analisa, monitora e desenvolve instrumentos de medição para analisar fenômenos que acontecem em um sistema, este processo pode ser feito com auxílio de sensores. De acordo Patskp (2006) um sensor é tido como qualquer componente ou circuito eletrônico que possibilite a análise de uma determinada categoria. Dessa forma será possível analisar o funcionamento de grupos geradores através dos parâmetros obtidos com as medições objetivando a melhoria em qualidade destes.

Bancadas didáticas são soluções usadas para analisar parâmetros de qualquer sistema. O uso dessas bancadas é comumente utilizado para o desenvolvimento de projetos em geral. Bancadas de teste tornaram-se uma base importante para atividades de estudo e pesquisa, tendo em vista que a engenharia sempre necessitou testar conceitos e aplicações em escala reduzida nas mais diversas áreas (Goulart, 2008).

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de uma bancada em laboratório para a realização de ensaios em grupos geradores com a finalidade de se obter parâmetros experimentais, tais como temperatura dos gases, vazão mássica de ar e potência elétrica do grupo gerador e, por conseguinte, obter em tempo real através de programas computacionais o consumo específico de combustível e a potência efetiva do gerador que poderá operar com diferentes combustíveis.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

2.1.1. Grupo Gerador

O Grupo gerador utilizado foi o BRANCO BD-6500 CF3E acionado por um motor monocilíndrico quatro tempos o qual está ligado a um banco de resistências de 50 kW empregado para alterar as cargas em 20%, 40%, 60% e 80% da potência nominal máxima. Sabe-se que motores monocilíndricos possuem baixo consumo de combustível, isso deixa a realização dos testes mais viáveis e possibilita um maior número de ensaios se comparado a motores que possuem mais de um cilindro.

As especificações do grupo gerador encontram-se na Tab. 1, as mesmas foram encontradas no Manual do equipamento feito pelo fabricante.

Tabela 1. Características do grupo gerador diesel.

Parâmetros	
Fabricante	Branco
Modelo	BD-6500 CF3E
Motor	
Aspiração	Natural
Injeção de combustível	Direta
Ângulo de injeção de combustível	16° APMS
Refrigeração	Ar induzido
Número de Cilindros	1
Diâmetro (mm) x Curso (mm)	86 x 70
Cilindrada (cm³)	406
Razão de Compressão (-)	19:1
Rotação (rpm)	3600
Gerador	
Frequência elétrica (Hz)	60
Tensão (V)	220
Número de fases	2
Eficiência (%)	85,0
Potencia nominal máxima <i>prime</i> (kW)	4,0
Potencia nominal <i>standbay</i> (kW)	4,5

2.1.2. Medidor de Grandezas Elétricas

Para medir as grandezas elétricas utilizou-se o Landis+Gyr SAGA 4500. Os parâmetros medidos com este equipamento foram Frequência e Potência elétrica (P_{el}), a qual será relacionada à Potência efetiva (P_e) do grupo gerador para cada carga. Este equipamento mede essas grandezas que posteriormente são enviadas a um computador através de seu software próprio, onde é possível monitora-las em tempo real e armazená-las para fazer análises posteriores. A seguir, a Tab. 2 apresenta as especificações do SAGA 4500.

Tabela 2. Especificações do SAGA 4500.

Parâmetros	
Fabricante	Landis+Gyr
Modelo	SAGA 4500
Máxima Corrente suportada (A)	1000
Classe de isolamento (kV)	2
Precisão	1%

Fonte: Manual do equipamento

2.1.3. Medidor de Vazão

O equipamento designado para medir a vazão mássica de ar que passa pelo sistema de admissão foi o Mass Air Flow (MAF). Para a medição da velocidade dos fluidos esse equipamento realiza a leitura a partir do aquecimento de uma resistência interna com corrente elétrica, a qual muda de acordo com a variação da massa de ar que perpassa no decorrer da resistência, adiante podem ser vistas na Tab. 3 as especificações do sensor que foram obtidas no manual do equipamento.

Tabela 3. Especificações do MAF.

Fabricante	BOSCH
Modelo	HFM 5
Tensão de alimentação nominal (V)	14

Faixa de tensão de fornecimento (V)	8 a 17
Voltagem de saída (V)	5
Corrente de entrada (A)	0,1
Precisão	3%
Faixa de temperatura (°C)	-40 a 120

2.1.4. Sensores de Temperatura

Os sensores empregados para medir temperatura foram os termopares. Termopares são sensores de temperatura que apresentam seu funcionamento baseado no *efeito Seebeck*, onde dois metais distintos ligados um ao outro através de uma junção irão produzir uma diferença de potencial em função da temperatura. Os termopares aplicados foram os do tipo K. De acordo com a ASTM esses equipamentos compreendem uma faixa de utilização de 0 a 1260 °C, outras especificações deste equipamento podem ser vistas na Tab.4.

Tabela 4. Especificações dos Termopares tipo K.

Material da bainha	Aço Inoxidável
Junção do Termopar	Isolada
Faixa de operação (°C)	0 a 1260
Erro na leitura	2,2%

Fonte: Manual do equipamento

2.1.5. Analisador de Gases

As características do processo de combustão e de emissões de exaustão de um motor de combustão interna (MCI) são afetadas por várias particularidades dentre elas o spray de combustível, atomização e propriedades do combustível.

Visando analisar os gases provenientes da combustão o GreenLine 8000, produzido pela AOIP, é responsável por determinar a composição e a porcentagem dos gases que passam pelo escape. Este equipamento é capaz de medir O₂, CO, CO₂, CO, NO, NO_x, HC, H₂S, através dos seus sensores eletroquímicos e infravermelhos não dispersivos (NDIR) ele também é capaz de medir a umidade relativa do ar. A Tabela 5 abrange as especificações do aparelho relativas às espécies químicas as quais foram analisadas neste trabalho.

Tabela 5. Especificações do GreenLine 8000.

Espécies	Sensor	Faixa de Leitura	Resolução	Erro na leitura
CO	NDIR	0 a 2500 ppm	10 ppm	± 3%
CO ₂	NDIR	0 a 20%	0,01%	± 0,3%
NO	Eletroquímico	0 a 4000 ppm	1 ppm	± 4%
NO _x	Calculado	0 a 4000 ppm	1 ppm	Calculado a partir de NO e outras espécies NO _x
HC	NDIR	0 a 50000 ppm	1 ppm	± 3%

Fonte: Manual do equipamento

2.1.6. Balança Digital

Para medir o consumo de combustível o equipamento selecionado é a balança digital da marca DIGIMED modelo DG-15WT, essa balança possui entrada digital e o monitoramento de seus dados é feito em conjunto com o software DaqFactory. As características da balança foram encontradas no manual do fabricante e estão listadas na Tab. 6.

Tabela 6. Especificações da balança DIGIMED DG-15WT.

Parâmetros	
Fabricante	DIGIMED
Modelo	DG-15WT
Capacidade (kg)	15
Resolução	0,1g
Reprodutibilidade	± 0,2g
Linearidade	± 0,2 g
Saída digital	RS232
Alimentação (Vca)	90 a 240

2.1.7. Aquisição de Dados

O CONTEMP A202 é utilizado para aquisição de dados que possibilita o registro e monitoramento das variáveis analógicas em um computador (Conceição, 2015). Ele é responsável por captar o sinal emitido pelos termopares e pelo MAF.

Para levar sinal dos sensores até o computador é utilizado um conversor, o qual atua em conjunto com o CONTEMP A202, seu ponto de ação é transformar o sinal analógico obtido pelo sistema de aquisição em um sinal digital que será lido a partir do programa DAQfactory, fabricado pela Azeotech. As principais características do equipamento encontram-se na Tab. 7.

Tabela 7. Especificações aquisitor de dados.

Número de entradas	8
Entrada de Corrente (mA)	0 a 20
Exatidão da Leitura	$\pm 0,3\%$ F.E. ± 1 dígito a 25°C
Leitura	170ms/8 canais
Comunicação	RS-485
Protocolo	Modbus RTU

Fonte: Manual do equipamento

2.2. Cálculo de Incertezas

Em todo processo de medição é necessário que haja confiabilidade nos resultados, uma vez que é a partir dela que ocorre a validação desse processo. Os equipamentos utilizados podem sofrer alterações com as condições de operação bem como por interferências internas que ocorrem em seu sistema, a partir disso torna-se substancial o cálculo da incerteza dos mesmos. Neste trabalho, foi utilizado a metodologia descrita nos trabalhos de Rocha (2016) e Oliveira (2016) para o cálculo da incerteza dos equipamentos, esse cálculo deve ser feito para cada fonte de forma separada onde as incertezas são classificadas como tipo A e tipo B. A Tabela 8 apresenta os valores obtidos:

Tabela 8. Incertezas médias dos parâmetros medidos.

Parâmetros	Incerteza
Potência elétrica	$\pm 1,0\%$
Temperatura dos gases (°C)	± 2
CO (ppm)	± 10
CO ₂	$\pm 0,1\%$
HC (ppm)	± 4
NO _x (ppm)	± 5
Variação da massa de combustível (g)	± 0.2

2.3. Desenvolvimento da Bancada

A elaboração da bancada ocorreu no Laboratório de Motores presente na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

Para verificar o funcionamento do grupo gerador, a instrumentação apresenta um papel essencial para a realização do projeto. Os parâmetros a serem medidos foram escolhidos em função de sistemas presentes no grupo gerador. São eles: Banco de resistências - conectado ao gerador, sistemas de admissão, combustível e escape do motor.

Entre os fios que interligam o banco de resistências ao gerador estará o medidor de grandezas elétricas – SAGA 4500. A temperatura do ar de admissão, bem como do combustível e dos gases de escape será avaliada por termopares. O sensor de vazão mássica foi instalado após o *airbox*, utilizado para expandir o ar antes da canalização do mesmo no sistema de admissão. Os gases provenientes do processo de combustão serão captados e sua composição verificada pelo analisador de gases.

Com a finalidade de evitar propagar para a balança a vibração ocasionada pelas linhas de transmissão e retorno de combustível as linhas foram instaladas na parcela superior do tanque aberto. A Figura 1 mostra a esquematização da bancada.

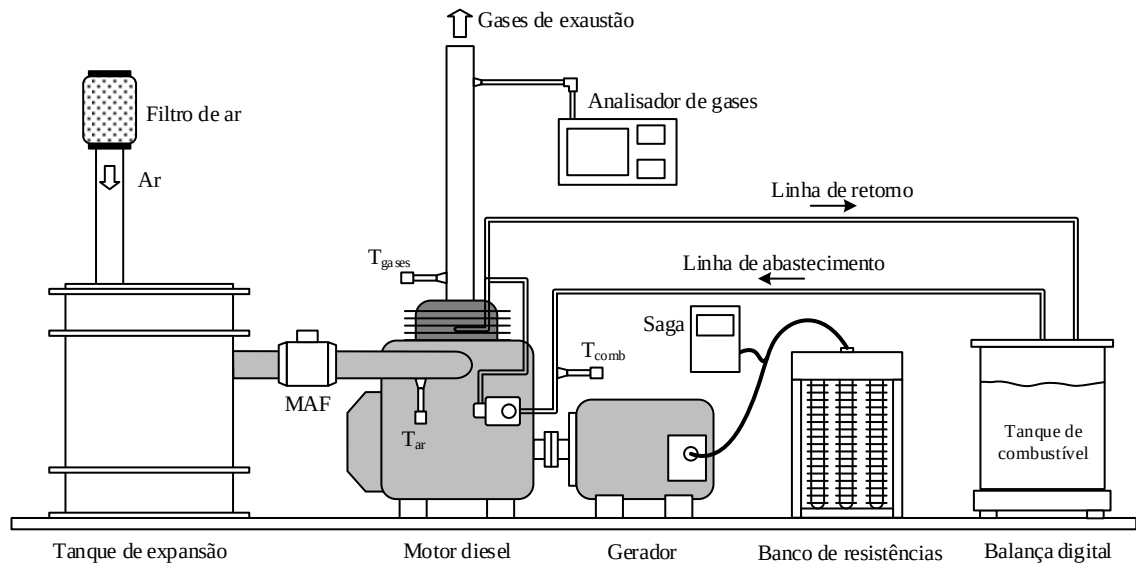


Figura 1. Esquematização da bancada.

2.4. Software para Processamento de Dados

O DaqFactory é o software que recebe as informações provenientes dos equipamentos de medição. A Figura 2 mostra a interface criada a partir do software, onde é possível monitorar os dados em tempo real além de salvá-los para estudos posteriores.

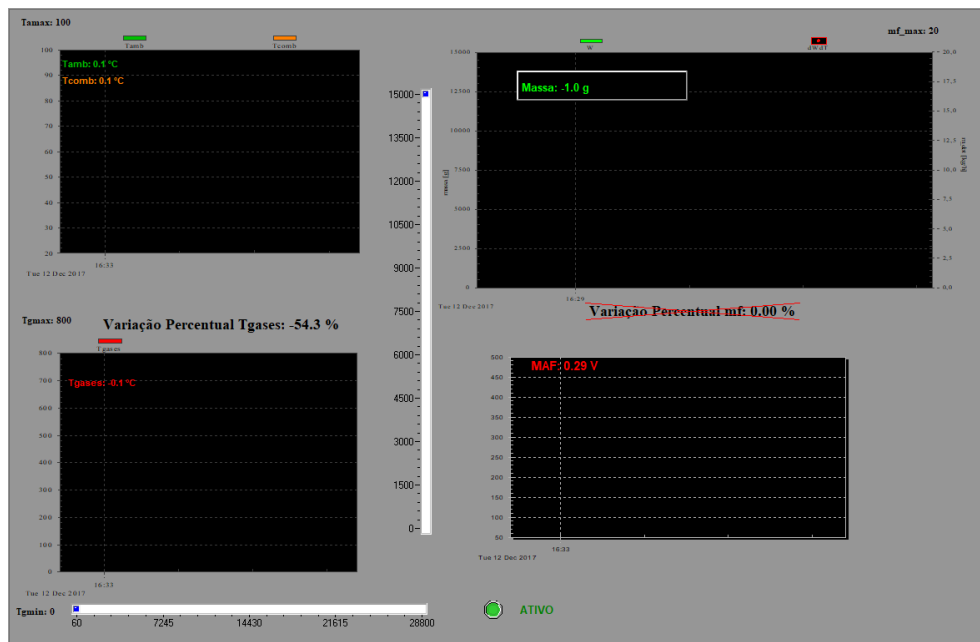


Figura 2. Interface criada para aquisição dos dados.

2.5. Obtenção da Potência efetiva, Consumo Específico, Fração Relativa Combustível-Ar, Eficiência Térmica e Eficiência Volumétrica.

Uma das finalidades deste trabalho é a determinação de parâmetros indiretos a partir dos parâmetros adquiridos com os equipamentos selecionados para desenvolver a bancada, os quais foram: potência efetiva (P_e), consumo específico de combustível (C_{esp}), a fração relativa combustível-ar (F_R), eficiência térmica (η_T) e eficiência volumétrica (η_V).

Para Rocha (2016) a escolha desses parâmetros se dá, pois ambos são monitorados constantemente em usinas de geração de energia elétrica a diesel.

A obtenção da potência efetiva através da potência elétrica (P_{el}) é feita a partir da Eq. 1.

$$P_e = \frac{P_{el}}{\eta_{ger}} \quad (1)$$

onde, a eficiência do gerador (η_{ger}) para a rotação de 3600 rpm foi adquirida no manual do fabricante.

Já o consumo específico (C_{esp}) é tido com base na razão entre massa específica de combustível ($\dot{m}_f$) e potência efetiva (P_e) como mostra a Eq. 2.

$$C_{esp} = \frac{\dot{m}_f}{P_e} \quad (2)$$

Nos motores de combustão interna (MCI) uma das formas de determinar a condição de funcionamento do motor é através da fração relativa combustível-ar (F_R), onde esta pode ser definida como a relação combustível-ar real e a relação estequiométrica, a partir dela o processo de combustão é definido como pobre, caso haja excesso de ar, mistura rica, caso haja excesso de combustível ou ideal, se as proporções forem iguais. Através da Eq. 3 podemos definir essa fração relativa.

$$F_R = \frac{\left(\frac{\dot{m}_{com}}{\dot{m}_{ar}}\right)_{real}}{\left(\frac{\dot{m}_{com}}{\dot{m}_{ar}}\right)_{est.}} \quad (3)$$

O cálculo da eficiência térmica (η_T) é feito para quantificar o desempenho da máquina térmica, esse cálculo leva em consideração a Potência efetiva e massa de combustível do mesmo além do poder calorífico inferior (PCI), que está relacionado à quantidade de energia contida no combustível, durante a realização dos ensaios o combustível utilizado foi o B7, o qual era vendido comercialmente nos postos e que possui um PCI igual a 40687 kJ/kg. Essa eficiência pode ser calculada conforme descrito na Eq. 4.

$$\eta_T = \frac{P_e}{\dot{m}_{com} PCI} \quad (4)$$

Já a eficiência volumétrica (η_V) quantifica a eficiência do bombeamento de ar no sistema de admissão do motor de combustão interna. Conforme explica Heywood (1988) diversos fatores influenciam a eficiência volumétrica, dentre eles a velocidade do pistão, as pressões de admissão e exaustão, a taxa de compressão do motor, a transferência de calor, a geometria do sistema de admissão e a exaustão, e outras variáveis de operação do motor. O cálculo da eficiência volumétrica está descrito na Eq. 5, onde V_d é o volume da cilindrada total e N é a rotação do motor.

$$\eta_V = \frac{2 \cdot \dot{m}_{ar}}{\rho_{ar} \cdot V_d \cdot N} \quad (5)$$

3. RESULTADOS

As cargas escolhidas para a realização dos ensaios no grupo gerador foram de 20, 40, 60 e 80%, onde as mesmas foram conseguidas a partir de um circuito de resistências elétricas. Os resultados obtidos podem ser observados na Fig. 3.

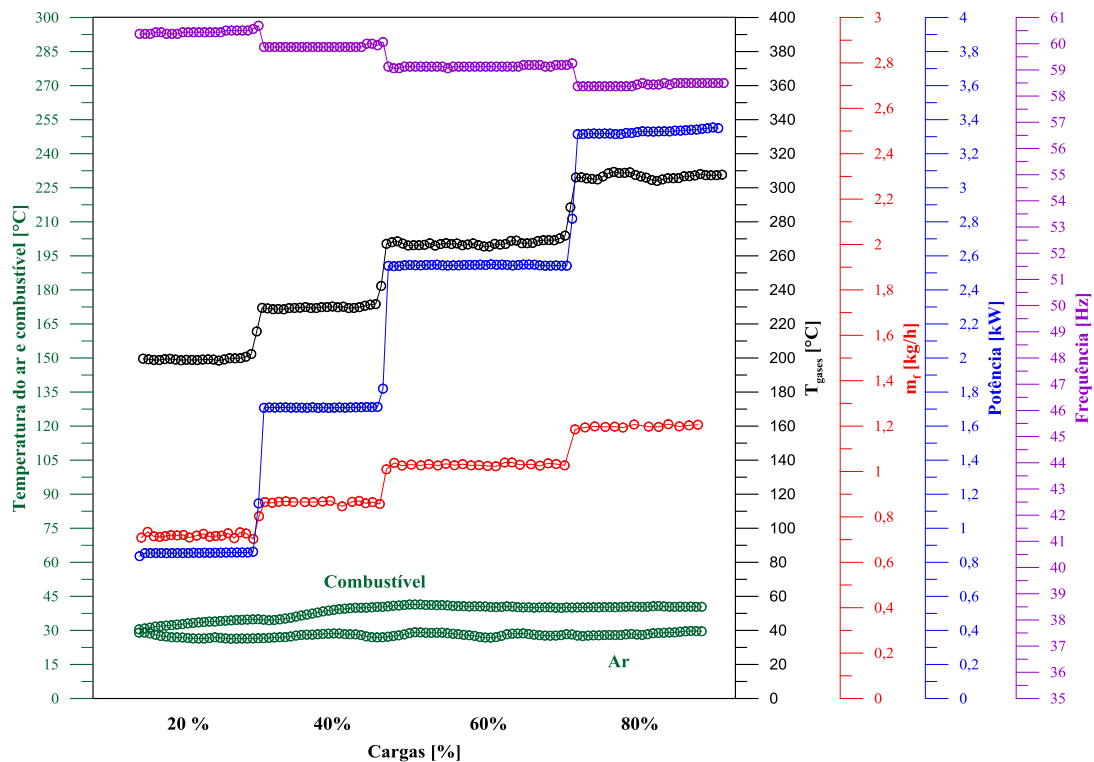


Figura 3. Gráfico com o resultado da instrumentação.

Baseado na Fig. 3 é possível adquirir as médias da massa específica de combustível ($\dot{m}_f$) e potência efetiva (P_e), e assim, obter um consumo específico para cada carga como observado na Tab. 9.

Tabela 9. Consumo Específico (Médio).

Carga	Consumo específico (kg/J)
20%	838,79
40%	507,79
60%	403,86
80%	360,40

No desenvolvimento do projeto, o medidor de fluxo inicialmente selecionado foi o Anemômetro de fio quente, posteriormente, com a análise dos ensaios percebeu-se que o MAF é o mais adequado para essa função.

Para a correta medição da vazão mássica de ar admitida pelo motor, o anemômetro precisa que o escoamento seja laminar ou com menor turbulência possível, necessitando o uso de filtros para obter tal condição. O uso de diversos sistemas de filtragem acrescentam perdas de carga na tubulação de admissão de ar, essas perdas de carga ocasionam a diminuição da quantidade de ar admitida por ciclo no motor, refletindo na redução da eficiência volumétrica e afetando negativamente na eficiência térmica global do motor. Em contrapartida, o MAF possui um sistema interno de filtragem para desenvolver o escoamento laminar, não interferindo drasticamente na eficiência volumétrica mantendo as condições normais de operação do motor.

A eficiência térmica e eficiência volumétrica para cada carga podem ser visualizadas na Fig. 4.

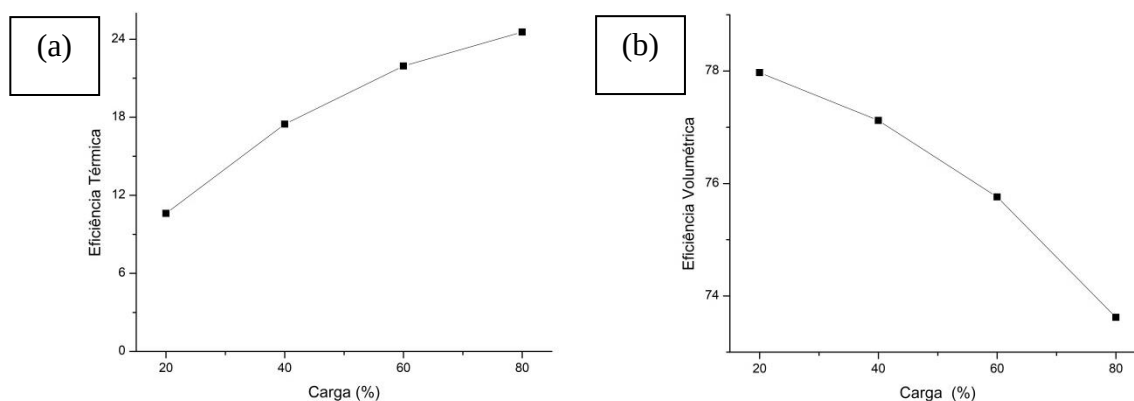


Figura 4. Resultados (a) Eficiência Térmica (b) Eficiência Volumétrica.

Como mencionado anteriormente na seção 2.5, podemos definir o processo de combustão a partir da Relação combustível-ar, no motor utilizado, o valor calculado foi de aproximadamente 0,5992, o que nos mostra que nesse motor o que prevalece é uma mistura pobre, com excesso de ar e ocasionando uma combustão incompleta.

4. CONCLUSÃO

Uma das características mais importantes de grupos geradores é a geração de energia elétrica a partir da energia térmica. Esse processo envolve atos que acarretam em perdas das características dos mesmos. O intuito da elaboração da bancada é analisar o funcionamento para assim definir as condições de operação destes grupos. A escolha dos sensores foi feita de forma a se lograr os melhores dados possíveis.

Após a realização de testes, verificou-se sucesso no desenvolvimento da bancada. Neste trabalho, utilizou-se apenas os resultados apresentados pelo diesel B7, no entanto, a mesma pode ser usada para análises e monitoramentos do grupo gerador operando com outros tipos de combustíveis.

5. REFERÊNCIAS

- Amorim, Maurício José. Desenvolvimento de bancada didático-experimental de baixo custo para aplicações em controle ativo de vibrações. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Cap. 2. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264102/1/Amorim_MauricioJose_M.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2018.
- Brunetti, F. Motores de Combustão Interna. São Paulo: Blucher, 2012. 553 p. v. 1.
- Conceição, A. O. Recuperação e Comissionamento de um Grupo-Gerador Modelo Yanmar 4TNV88 – GGE de 20 kVA com Motor Diesel. 2015. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
- Goulart, H. S. Desenvolvimento de bancada didática para estudos de desempenho térmico de um trocador de calor compacto aletado. 2008. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de São Francisco, Campinas, 2008. Disponível em <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1510.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- Oliveira, R. A., Determinação Da Pressão Média Efetiva Indicada De Motores Diesel. 2016. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- Patskp, L. F. Tutorial - Aplicações, funcionamento e utilização de sensores. [s.1]: Maxwell Bohr, 2006.
- Rocha, H. M. Z. Determinação dos Efeitos da utilização do Hidrogênio em Grupos Geradores a Diesel Operando com Diferentes Misturas Diesel-Óleo Vegetal. 2016. 147 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- Rocha, H. M. Z., Combustão de Óleos Lubrificantes Usados em Motores Diesel. 2009. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

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

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL BENCH FOR THE REALIZATION OF TESTS IN DIESEL GENERAL GROUPS

Larissa Santos Queiroz, queirozlariss@gmail.com¹

Luiz Cláudio da Cunha Marques, e-mail², luizmar7@yahoo.com.br²

Nelson Júnior da Silva Rocha, nelsonjrrocha@gmail.com¹

Hendrick Maxil Zárate Rocha, henzaro@gmail.com²

¹Universidade Federal do Pará, FEM, Augusto Côrrea Street, 1 – Guamá, Belém - PA

²Universidade Federal do Pará, PPGEM, Augusto Côrrea Street, 1 – Guamá, Belém - PA

Abstract. Diesel generation groups are machines capable of to provide eletric energy by means of fuels combustion like, diesel, biodiesel, vegetable oil among others. The working principle is based on thermal energy transformation into eletric energy, used in various applications, mainly in industrial and residential. The operational parameters of generations groups presents direct dependency between them and their variation can affect significantly the engine performance. Therefore, the criterious analysis of this characteristic parameters of generation groups is so many important, mainly to conducting research in the laboratory. This article describes minimum requirements to establish a laboratory stand to execute research in generation groups, and as soon/ thus analyse performance working with differents types of fuels. Therefore, was designed a experimental stand, considering the minimum requirements of all subsystems, includin, fuel supply, admission air, exhaustion gas and power generated.

Keywords: Instrumentation, Generation Groups, Experimental Bench, Sensors.