



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**Faculdade de Engenharia - FAEN
Curso de ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA, GASES DE EXAUSTÃO E CONSUMO DE
COMBUSTÍVEL DE UM GERADOR ACOPLADO COM MOTOR DE
IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO TRABALHADO A DIESEL COMUM**

Trabalho de conclusão de curso por

Henrique dos Santos Flor
Orientador: Prof. Dr. Ramon Silva

Dourados - MS, Julho / 2026

HENRIQUE DOS SANTOS FLOR

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA, GASES DE EXAUSTÃO E CONSUMO DE
COMBUSTÍVEL DE UM GERADOR ACOPLADO COM MOTOR DE
IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO TRABALHADO A DIESEL COMUM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva.

Área de concentração: 3.05.02.00-4 Engenharia Térmica

**Dourados - MS
2026**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: **Henrique dos Santos Flor**

Título do trabalho: Análise de eficiência, gases de exaustão e consumo de combustível de um gerador acoplado com motor de ignição por compressão trabalhado a diesel comum

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Ramon Eduardo Pereira Silva, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

2. Membro:

Prof. Bruno Arantes Moreira, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

3. Membro:

Prof. Antônio Carlos Caetano de Souza, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos APROVADO o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 09 de julho de 2026



Documento assinado digitalmente
RAMON EDUARDO PEREIRA SILVA
Data: 22/07/2026 11:26:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ramon Eduardo Pereira Silva



Documento assinado digitalmente
BRUNO ARANTES MOREIRA
Data: 09/07/2026 18:23:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Bruno Arantes Moreira



Documento assinado digitalmente
ANTONIO CARLOS CAETANO DE SOUZA
Data: 22/07/2026 12:30:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Antônio Carlos Caetano de Souza

RESUMO

Em muitas regiões do Brasil, em especial as localidades não integradas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), o fornecimento de energia elétrica depende predominantemente de grupos geradores movidos a diesel. Esses sistemas são essenciais para garantir o acesso à energia, porém sua operação está associada a elevados custos de combustível e à emissão de poluentes atmosféricos. Nesse contexto, a avaliação de desempenho energético e ambiental de motores diesel torna-se importante para a otimização da geração de energia e para a redução de impactos ambientais, além de fornecer uma base de comparação para estudos análogos realizados com combustíveis, como biodiesel, que possam ser produzidos a partir de culturas vegetais presentes nesses locais remotos, tocando até no fomento da economia local a partir dessa exploração. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de um motor diesel bicilíndrico operando com diesel comercial mineral sob diferentes condições de carga, simulando situações típicas de demanda em sistemas de geração de energia. Os ensaios foram realizados em bancada experimental instrumentada para monitoramento dos principais parâmetros operacionais do motor. Foram avaliados três pontos de carga, correspondentes a 9,5%, 18,9% e 28,4% da potência disponível do equipamento. Durante os testes foram determinados o consumo específico de combustível, vazão mássica de combustível, eficiência térmica efetiva, temperatura de gases de exaustão e as emissões dos poluentes metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) na saída de escape. As temperaturas de gases de escape se mostraram relativamente estáveis dado o tempo de 180 segundos de aquecimento prévio do motor, se elevando com o aumento da carga. Notou-se um aumento da taxa de consumo de diesel conforme a potência requerida pela carga elétrica gerada pelos resistores aumentou. Por outro lado, o consumo específico reduziu, acompanhado pela elevação da eficiência térmica efetiva. Não obstante, houve aumento na emissão de CO_2 com o aumento da carga, enquanto o comportamento do hidrocarboneto não oxidado estudado, CH_4 , indicou possível influência das condições locais de combustão, que nem sempre ocorrem globalmente de forma ideal.

Palavras-chave: Motor diesel, emissões atmosféricas, geração de eletricidade, eficiência energética, localidades não integradas.

ABSTRACT

In many regions of Brazil, especially localities not integrated into the National Interconnected System (SIN), the electricity supply depends predominantly on diesel-powered generator sets. These systems are essential to guarantee access to energy, but their operation is associated with high fuel costs and the emission of atmospheric pollutants. In this context, the evaluation of the energy and environmental performance of diesel engines becomes important for optimizing power generation and reducing environmental impacts, in addition to providing a basis of comparison for similar studies conducted with fuels, such as biodiesel, that can be produced from vegetable crops present in these remote locations, even touching on the promotion of the local economy from this exploitation. This study aims to analyze the behavior of a two-cylinder diesel engine operating with commercial mineral diesel under different load conditions, simulating situations typical of demand in power generation systems. The tests were conducted on an instrumented experimental test bench for monitoring the engine's main operating parameters. Three load points were evaluated, corresponding to 9,5%, 18,9%, and 28,4% of the equipment's available power. During the tests, the specific fuel consumption, fuel mass flow rate, effective thermal efficiency, exhaust gas temperature, and emissions of the pollutants methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) at the exhaust outlet were determined. The exhaust gas temperatures proved to be relatively stable given the 180-second pre-heating time of the engine, increasing with the rise in load. An increase in the diesel consumption rate was noted as the power required by the electrical load generated by the resistors increased. On the other hand, the specific fuel consumption decreased, accompanied by an increase in effective thermal efficiency. Nevertheless, there was an increase in (CO₂) emissions as the load increased, while the behavior of the studied unburned hydrocarbon (CH₄), indicated a possible influence of local combustion conditions, which do not always occur ideally on a global scale.

Keywords: Diesel engine, Atmospheric emissions, Electricity generation, Energy efficiency, unconnected locations.



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2026) v. x, n. x, pp. x–xx

<https://doi.org/10.21712/lajer.2021.v8.n2.p1-10>

Análise de eficiência, gases de exaustão e consumo de combustível de um gerador acoplado com motor de ignição por compressão trabalhado a diesel comum

Henrique dos Santos Flor^{1*}, Ramon Eduardo Pereira Silva²

¹ Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, unidade 1, FAEN, MS, Brasil

² Professor de Graduação da Faculdade de Engenharia (FAEN) Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, unidade 1, FAEN, MS, Brasil

^{1*} Autor para correspondência, E-mail: henrique.flor073@academico.ufgd.edu.br

Received: xx A 2026 | Accepted: xx J 2026 | Published online: xx J 2026

Resumo: Em muitas regiões do Brasil, em especial as localidades não integradas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), o fornecimento de energia elétrica depende predominantemente de grupos geradores movidos a diesel. Esses sistemas são essenciais para garantir o acesso à energia, porém sua operação está associada a elevados custos de combustível e à emissão de poluentes atmosféricos. Nesse contexto, a avaliação de desempenho energético e ambiental de motores diesel torna-se importante para a otimização da geração de energia e para a redução de impactos ambientais, além de fornecer uma base de comparação para estudos análogos realizados com combustíveis, como biodiesel, que possam ser produzidos a partir de culturas vegetais presentes nesses locais remotos, tocando até no fomento da economia local a partir dessa exploração. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de um motor diesel bicilíndrico operando com diesel comercial mineral sob diferentes condições de carga, simulando situações típicas de demanda em sistemas de geração de energia. Os ensaios foram realizados em bancada experimental instrumentada para monitoramento dos principais parâmetros operacionais do motor. Foram avaliados três pontos de carga, correspondentes a 9,5%, 18,9% e 28,4% da potência disponível do equipamento. Durante os testes foram determinados o consumo específico de combustível, vazão mássica de combustível, eficiência térmica efetiva, temperatura de gases de exaustão e as emissões dos poluentes metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) na saída de escape. As temperaturas de gases de escape se mostraram relativamente estáveis dado o tempo de 180 segundos de aquecimento prévio do motor, se elevando com o aumento da carga. Notou-se um aumento da taxa de consumo de diesel conforme a potência requerida pela carga elétrica gerada pelos resistores aumentou. Por outro lado, o consumo específico reduziu, acompanhado pela elevação da eficiência térmica efetiva. Não obstante, houve aumento na emissão de CO₂ com o aumento da carga, enquanto o comportamento do hidrocarboneto não oxidado estudado, CH₄, indicou possível influência das condições locais de combustão, que nem sempre ocorrem globalmente de forma ideal.

Palavras-chave: Motor diesel, emissões atmosféricas, geração de eletricidade, eficiência energética, localidades não integradas.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais atores na composição energética mundial, os combustíveis fósseis, apesar de se mostrarem obsoletos na perspectiva futura, além de seu praticamente garantido esgotamento nas próximas décadas, por conta de sua lentíssima produção em termos de tempo arqueológico por parte dos processos geológicos, ainda são a principal fonte energética para múltiplas atividades humanas, entre as quais se destacam transportes e energia elétrica, evidenciando que essas fontes continuam a sustentar a base das atividades essenciais do mundo moderno (Ferreira e Furtado, 2024).

O óleo diesel, por exemplo, é usado nos motores de ignição por compressão, aplicado em máquinas industriais e usinas térmicas, locomotivas, máquinas e veículos agrícolas, de mineração e obras civis, geradores elétricos diversos, e veículos de transporte de passageiros e cargas, como caminhões, ônibus, furgões e automóveis, já vem sendo parcialmente substituídos por suas versões renováveis feitas a partir de fontes biológicas, o biodiesel, porém ainda se destaca com propriedades superiores no que se refere a rendimento e poder calorífico em relação ao biodiesel (Campos *et al.*, 2015).

A robustez mecânica, boa eficiência térmica e capacidade de operar sob diferentes condições de potência são pontos favoráveis os motores diesel de tal forma que ele seja visto como sistema de alta confiabilidade operacional, servindo inclusive sistemas de emergência em unidades industriais e estabelecimentos hospitalares, além de fornecimento de energia a regiões não integradas a um sistema de distribuição elétrica. Esta última aplicação mencionada dos geradores a diesel pode permitir que localidades remotas de países continentais como o Brasil, possuam certa segurança energética, já que o custo e logística da distribuição de eletricidade ficam difíceis para tais lugares, além da renda média ser menor, como nas regiões remotas da Amazônia. Essa região abrange, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 160 localidades isoladas e tem cerca de 2 milhões de pessoas não conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), que se trata, portanto, de indivíduos não conectados à rede elétrica convencional do país. Tais resultados poderiam ser extrapolados, caso se mostrem interessantes, para aplicações também com o éster metílico, que poderia ser produzido com fontes oleaginosas endêmicas de cada lugar (EPE, 2025).

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o óleo diesel é um combustível líquido derivado do petróleo, composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e, em menor grau, nitrogênio, enxofre e oxigênio. Nos dias de hoje já se encontra uma tendência da substituição, inclusive aprovada em 2025, sobre o monitoramento da substituição gradual do óleo diesel S-500 e S-1800 pelo diesel S-10 no Brasil, em virtude do alto teor de enxofre, prejudicial no aspecto climático; enquanto o S-500 tem aplicações em veículos automotivos, máquinas agrícolas, máquinas de construção e máquinas industriais, o S-1800 é destinado para uso em mineração a céu aberto, transporte ferroviário e geração de energia elétrica (ANP, 2026).

No cenário brasileiro, na Petrobrás, as refinarias produzem óleo diesel A, proveniente do petróleo, e o diesel C, coprocessado com matéria prima renovável de origem vegetal ou animal. O diesel B consiste na adição posterior nas distribuidoras de um percentual de biodiesel, oriunda das políticas de inserção de fontes renováveis na matriz de combustíveis nacional. No cenário mundial, nações com elevada capacidade de refino de combustíveis derivados do petróleo, como Estados Unidos, China e Índia, lideram a produção global de diesel. O Brasil apresenta posição de destaque, com a Petrobrás produzindo mais de 700 mil barris por dia de diesel em 2025 (Petrobras, 2024).

O desempenho do grupo gerador diesel tem muitos aspectos para serem avaliados e discutidos, e pode-se abordar, por exemplo, consumo de combustível, consumo específico de combustível, temperatura dos gases de escape e emissões de poluentes, e fazer isso a partir de determinadas cargas elétricas fornecidas ao gerador, que resultem em diferentes percentuais da potência ativa nominal contínua do gerador. Todos esses parâmetros fornecerão indicativos a respeito da eficiência da combustão, aproveitamento energético do combustível e os impactos ambientais decorrentes da operação do equipamento.

Consumo de combustível representa parcela significativa do custo operacional dos geradores acoplados a motor diesel, e por esse motivo a análise de seu comportamento em variadas cargas

aplicadas permite elucidar faixas de operação eficientes, que denotem ser o mais economicamente viável possível. A quantidade de combustível consumida está diretamente relacionada à potência requerida pelo sistema, às características do processo de combustão e às condições de carregamento do motor, o que mostra a importância da determinação de consumo para determinadas faixas de carga elétrica (Heywood, 2018).

Já a temperatura de gases de exaustão se mostra pertinente por estar diretamente relacionada às condições no interior dos cilindros e à quantidade de energia térmica remanescente nos produtos da combustão. Alterações na carga aplicada ao motor influenciam a quantidade de combustível injetada, a taxa de liberação de energia e por consequência a temperatura dos gases de escape. Isso mostra que mensurar e analisar os resultados permite conhecer o comportamento térmico do motor sob diferentes condições operacionais (Stone, 2012).

Emissões atmosféricas são preocupação ambiental crescente, já que as advindas da queima de óleo diesel recebem crescente atenção devido aos impactos ambientais associados à utilização de combustíveis fósseis. Os principais atores no aquecimento global, metano e dióxido de carbono, serão avaliados nesse ensaio, sendo que o primeiro se trata da parcela do combustível não queimada pela combustão, ao passo que o segundo denota ser o principal produto proveniente da oxidação do carbono presente no combustível, mostrando, portanto, a parcela de sucesso da reação química, a combustão completa. Como conclusão, são agentes fundamentais para avaliar eficiência energética da operação no tocante à conversão de combustível em energia útil para trabalho. (Majewski, 2024)

Portanto, se conclui que compreender o comportamento de consumo, consumo específico, temperatura de gases e emissões de poluentes, todos eles sob diferentes condições de carga, contribui para a operação mais eficiente do equipamento e permitindo identificar condições favoráveis de desempenho energético e monitorar aspectos relacionados à qualidade da combustão e às emissões produzidas.

1.1 OBJETIVO

O projeto tem como objetivo avaliar a influência da variação da carga elétrica aplicada pela bancada de resistores em um gerador acionado por um motor de ignição por compressão (ciclo diesel) para se analisar potência utilizada, consumo de combustível, consumo específico de combustível, temperatura dos gases de escape, eficiência térmica efetiva e emissão dos dois principais gases do efeito estufa, CO₂ e CH₄, tendo como campo de análise três cargas resistivas diferentes. A partir dos dados obtidos, se busca correlacionar o comportamento desses parâmetros com o aumento da carga elétrica aplicada ao conjunto, de forma a identificar padrões e tendências relacionadas ao desempenho energético e às emissões atmosféricas durante a operação. Esses resultados podem ser usados como base de futuras aplicações semelhantes com fontes renováveis que usem culturas vegetais locais de lugares remotos não abrangidos pela rede elétrica integrada.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O motor a diesel se trata de um motor de combustão interna de ignição por compressão, em que a combustão se dá por conta de grandes temperaturas que incorrem sobre o ar aspirado durante o processo de compressão no interior do cilindro; ao contrário dos motores de ignição por centelha, apresenta elevada eficiência térmica e vasta aplicação em sistemas de geração de energia elétrica. A aplicação deste trabalho se trata de um grupo gerador, que consiste em um motor de combustão interna adjunto a um gerador elétrico. O motor converte a energia química do combustível em energia mecânica, enquanto o gerador usa essa energia mecânica e transforma em energia elétrica pronta para aplicações, a serem usados em múltiplos segmentos industriais e para geração de eletricidade. Avanços recentes nos aspectos de potência específica, ruído e emissões possibilitaram

a ampliação de seu uso em mercados competitivos de automóveis e aplicações industriais (Heywood, 2018), (Rakopoulos *et al.*, 2018).

Os grupos geradores podem operar em várias condições de carga fornecida, com diferentes percentuais relativos e absolutos de suas respectivas potências nominais, o que certamente condicionam toda uma gama de parâmetros de operação, desempenho, consumo e poluição do motor tratado. A tendência na literatura e na prática consiste na elevação da emissão de poluentes, temperatura de gases de exaustão e da demanda de combustível fornecido conforme a potência exigida cresce, ao passo que se espera que caia o consumo específico (Stone, 2012).

O consumo específico de combustível é tido como um dos principais indicadores de desempenho dos motores diesel, pois relaciona quanto consome de combustível por tempo, com potência realmente gerada pelo dispositivo, sendo muito comum ser levado em conta para avaliar a eficiência energética de motores de combustão interna. Geralmente condições de baixa carga tem-se parte significativa da energia disponibilizada pelo combustível para superar perdas mecânicas e térmicas inerentes ao funcionamento do motor. Conforme se aumenta a carga elétrica fornecida, acontece um aproveitamento superior da energia liberada durante a combustão, o que gera redução do consumo específico para faixas operacionais até atingir o ápice, por volta dos 75% da potência total contínua disponível pelo gerador (Durkovic e Grujicic, 2019). Essa análise de consumo possibilita rastrear condições de operação mais eficientes, o que auxiliará na redução dos impactos financeiros nas operações envolvendo os grupos geradores, pois aumenta a eficiência energética dos sistemas de geração de energia.

A combustão do óleo diesel gera resíduos gasosos, liberados para o ambiente externo através do sistema de exaustão do motor, entre os quais pode-se destacar, como objetos tratados no presente ensaio, dióxido de carbono, CO_2 , e metano, CH_4 , que serão objetos de análise nesse ensaio, bem como outros hidrocarbonetos não queimados que não o metano, monóxido de carbono, CO , e óxidos de nitrogênio, que possuem como fórmula geral NO_x .

O dióxido de carbono é tido como principal produto gasoso obtido pela oxidação completa do carbono presente no combustível em ensaios de motor de ignição por compressão, sendo a formação dele diretamente relacionada à eficiência do processo de combustão, com sua emissão indicando, portanto, o grau de rendimento do combustível durante o ensaio efetuado no motor. Combustão mais eficiente favorece a conversão de carbono contido em CO_2 , o que reduz a presença de hidrocarbonetos não queimados, como metano, na amostra dos gases de exaustão. Com isso, se conclui que a presença em maior quantidade de CO_2 denota indica melhor aproveitamento energético do processo (Majewski, 2024).

A detecção de metano nos gases de exaustão represente uma parcela de combustível que não teve sua amostra total oxidada durante a combustão, se enquadrando dessa forma na classe de hidrocarbonetos não queimados (HC), afetando a eficiência da combustão nos resultados obtidos. Emissões deste gás indica regiões da câmara de combustão com temperaturas baixas para promover oxidação completa do combustível, ou pode denotar também limitações do processo de mistura e queima e extinção da chama (*quenching*) reduzindo a eficiência energética do processo (Majewski, 2024) (Heywood, 2018) (Lee *et al.*, 2021).

A análise adjunta das emissões dos dois componentes residuais gasosos supracitados pode indicar a qualidade do processo de combustão interna dos motores, possibilitando uma avaliação mais abrangente no tocante a desempenho energético atrelado ao impacto ambiental dos geradores acionados por motor diesel no cenário de discussão cada vez mais onipresente das mudanças climáticas. Outros componentes gasosos relevantes que foram citados, mas não destrinchados e mensurados como o metano e dióxido de carbono, não foram obtidos por conta de delimitações experimentais, pois outros gases não poderiam ser medidos de forma confiável dentro das condições experimentais disponíveis na ocasião, e foco do trabalho não consistia em realizar uma caracterização completa das emissões de motores diesel. Embora os dois gases avaliados não representem a totalidade das emissões pertinentes quando se trata de motores diesel, eles por si só são antagônicos no sentido de indicarem aspectos de completude do processo de combustão, pois

indicam conversão de carbono do combustível em energia útil e mostra a presença de carbonos não completamente oxidados dentro dos compostos hidrocarbonetos.

A avaliação da temperatura dos gases de escape também é levada em conta no ensaio presente, pois se trata de indicador que denota quantidade de energia térmica presente nos produtos de combustão e pode fornecer informações importantes sobre a eficiência do processo de queima e o carregamento do motor. Se relata normalmente elevação na quantidade de combustível injetada na câmara de combustão conforme se eleva a carga elétrica solicitada, o que por efeito tende a causar maiores temperaturas dos gases de exaustão (Heywood, 2018).

Também se procura controlar as condições de contorno do mecanismo a ser operado, o motor, no que se refere a temperatura local de laboratório, com mensuração para controle de variável.

2. METODOLOGIA

Tem-se a seguir o relato dos materiais usados e métodos aplicados na concretização da ideia do artigo, cujos processos envolveram o ensaio no gerador acionado por motor de ignição por compressão em si, que consistiu na preparação dos aparatos, os dispositivos de coleta de dados e suas especificações, além de todo procedimento experimental.

A propriedade do poder calorífico superior foi determinada considerando as condições normais do combustível diesel mineral (B0), sem aditivo de biodiesel, e considerada como a descrita na literatura de $44,35 \text{ MJ.kg}^{-1}$, e para o caso da densidade, de 853 kg/m^3 (Silva *et al.*, 2012).

A bancada de ensaio consistiu nos seguintes aparelhos: multímetro, analisador de gases de combustão Greenline® 8000, software DBgas2004, cronômetro digital, gerador acionado por motor de ignição por compressão de ciclo bicilíndrico, banco de resistores, reservatório de combustível montado sob balança de precisão, representados nas Figuras 1, 2, 3 e 4 abaixo, obtidas por fotografias autorais:



Figura 1- Panorama geral da bancada de ensaios



Figura 2 – Reservatório de combustível e balança de precisão



Figura 3- Bancada de resistores



Figura 4 – Grupo gerador

Primeiramente foi acionado o gerador, ligado por cerca de 180 segundos de modo a permitir ao motor a diesel atingir a temperatura de operação, mantendo-se praticamente estável a partir disso (Ferrari *et al.*, 2017). Após esse tempo de acionamento do motor, se deu prosseguimento aos ensaios propriamente ditos. Três cargas resistivas, com acréscimo de 1 kW por vez, foram aplicadas por meio da banca de resistores, de modo a se variar a energia fornecida, com o multímetro sendo utilizado para coletar a disponibilidade de potência resultante.

A sonda do analisador de gases foi colocada próxima à saída do escapamento em prol de se coletar a composição dos gases gerados pela combustão. Nesta sonda havia um termopar para obter a temperatura dos gases de exaustão, além de outro na unidade de controle principal do analisador de gases para se obter e ter como parâmetro de controle a temperatura ambiente do laboratório. O experimento foi realizado ao lado do portão de abertura da sala, de modo a garantir que se mantivesse constante a temperatura ao redor do conjunto gerador-motor.

Os dados de emissão resultantes coletados pelo analisador no tubo de escapamento foram enviados ao software DBgas2004, medidos pelo sensor infravermelho não dispersivo (NDIR). A balança por debaixo do reservatório de combustível, junto com o cronômetro digital, foram usados para se obter variados parâmetros relativos à taxa de consumo de combustível, medidas em conjuntos de 180 segundos por carga resistida. Cada dado obtido a respeito das emissões de metano e dióxido de carbono era intervalado entre si por 2 segundos, que serão convertidos em pontos nos gráficos, obtendo-se, portanto, cerca de 70 a 80 pontos de dados, de modo a completar um período de 2,5 minutos, aproximadamente, em cada carga resistida. Como disponível na ficha técnica do gerador, foi considerado um fator de potência de 0,8, e, para simplificação do problema, foi usada eficiência de 100% e regime permanente.

A seguir tem-se as tabelas 1 e 2, que diz respeito, respectivamente, às especificações obtidas da ficha técnica do gerador acoplado ao motor diesel com seus valores/classes e unidades de grandeza, e a lista de parâmetros do ensaio com suas respectivas unidades pertinentes.

Tabela 1. Especificações do gerador acionado por motor (gerador e motorização)

Propriedades	Valores/Classe	Unidade pertinente
Motor	BD-22,0	-
Potência máxima do motor	22,0	cv
Número de cilindros	2	-
Cilindradas	870	cm ³
Combustível/Ciclo	Diesel	-
Capacidade do tanque	25	L

Óleo recomendado	15W40	-
Capacidade de óleo (cárter)	2,5	L
Tensão principal de saída	380	V
Potência contínua do gerador	13,2	kVA
Potência máxima do gerador	14,0	kVA
Fases	Trifásico	-
Sistema de partida	Elétrica	-
Autonomia (50% de carga)	5,2	h
Tomada auxiliar	220	V
Controle de tensão	AVR/com escova	
Carregador de bateria	12/8,3	V; A
Bateria	Convencional	
Rotação na potência máxima	3600	rpm
Fator de potência	0,8	-

Tabela 2. Medição e precisão dos parâmetros do ensaio

Parâmetro	Instrumento	Precisão	Unidade
Tempo	Cronômetro digital	0,01	s
Potência	Multímetro	0,01	kW
Temperatura	Termômetro digital	0,01	°C
CO ₂	NDIR	0,30	%
CH ₄	NDIR	100	ppm

3. RESULTADOS

O visor do multímetro no primeiro ponto apontava 229 V, e foi ajustado na bancada de resistores, uma corrente de 4,7 A para ser energizada ao conjunto. O multímetro, dessa forma, mediu como potência de saída, 1,08 kW. Para o ponto 2, o visor mostrava 227,1 V, e foi ajustado 9,1 A para fornecimento, resultando em 2,06 kW de energia para o sistema. Por fim, o terceiro e último ponto resultava em 225,2 V, corrente aplicada de 13,4 A, resultando em 3,01 kW de energia para o conjunto motor-gerador.

Cabe ressaltar ainda que o gerador possui 13,2 kW de potência ativa nominal contínua, e por possuir um fator de potência de 0,8, tem-se um montante de 10,56 kW de potência real disponível para trabalho. Em relação às cargas aplicadas no ensaio, se constata que elas representam, respectivamente, 9,5, 18,9 e 28,4%, respectivamente, da potência a priori fornecida para uso do grupo gerador.

A Figura 5, abaixo, apresenta os resultados das temperaturas dos gases na saída do escapamento nos três pontos. Estudos similares anteriores orientados pelo docente apontaram tempo de cerca de 200 s para se atingir uma temperatura apta para operação do conjunto motor-gerador. Com isso, se estabeleceu avaliar a medição de temperaturas pelos próximos 150 s, aproximadamente, para se ter uma faixa de intervalo substancial, a ponto em que se observasse estabilidade nos valores de temperatura que indicassem regime permanente sendo atingido.

A Figura 5, portanto, mostra que houve apenas pequenas alterações na temperatura de saída dos gases em cada um dos três pontos conforme o ensaio se desenvolvia, ao passo que de um ponto para outro, se percebe um aumento de 155 para 165°C, em média, do ponto 1 (1 kW) para o ponto 2 (2 kW), e para 185°C para o ponto 3 (3 kW).

Os resultados são coerentes com a bibliografia especializada, tendo em vista que o aumento de potência gera mais calor como resíduo de uma maior quantidade de combustível no interior do cilindro em que ocorre a compressão e queima dele, liberando maior quantidade de energia térmica em forma de calor nos gases do escapamento.

O comportamento de leve queda com o passar do tempo para o ponto de 3kW, ao contrário da estabilidade das outras 2 cargas, poderiam em tese ser explicadas pela estabilização térmica do motor, em que os componentes internos ao atingirem sua temperatura de operação, passa a permitir que o sistema de arrefecimento controle melhor a temperatura do conjunto, podendo indicar, portanto uma combustão ligeiramente mais eficiente. É possível inclusive encontrar na literatura a constatação que a temperatura dos gases de escape aumenta com a carga do motor, relacionando esse comportamento ao aumento da taxa de liberação de calor durante a combustão (Huang *et al.*, 2022).

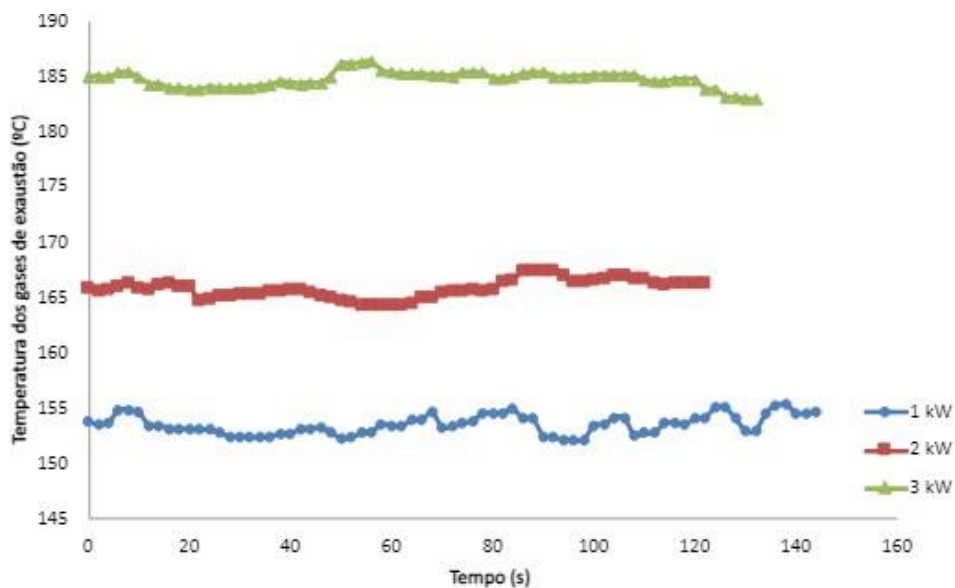


Figura 5 - Temperatura dos gases de exaustão de acordo com a potência aplicada no motor

Particularmente nos motores de ignição por compressão, que operam com excesso de ar, acontece uma tendência clara de aumento da vazão mássica conforme o aumento de potência, que gera um consumo maior da fonte energética, que será vista a seguir, na Figura 6; o aumento gradual do consumo de combustível precisa ocorrer com a elevação da carga pois o motor requer produzir maior torque para atender à demanda de potência ditada, já que a rotação permanece constante, com o sistema de injeção aumentando a quantia de combustível fornecida para a câmara de combustão.

Tem-se os valores para 1, 2 e 3 kW, respectivamente, de 0,366, 0,409 e 0,449 g/s, oriundos dos seguintes dados: para a carga de 1 kW, se registrou uma massa de combustível consumida de 110 g, com cerca de 300 segundos de operação do motor. Para a carga de 2 kW, se registrou uma massa de combustível consumida de 135 g, com cerca de 330 segundos de operação do motor. Por fim, sob ação da carga de 3 kW, se registrou uma massa de combustível consumida de 135 g, por cerca de 300 segundos de operação do motor. Segue abaixo os resultados da Figura 6.

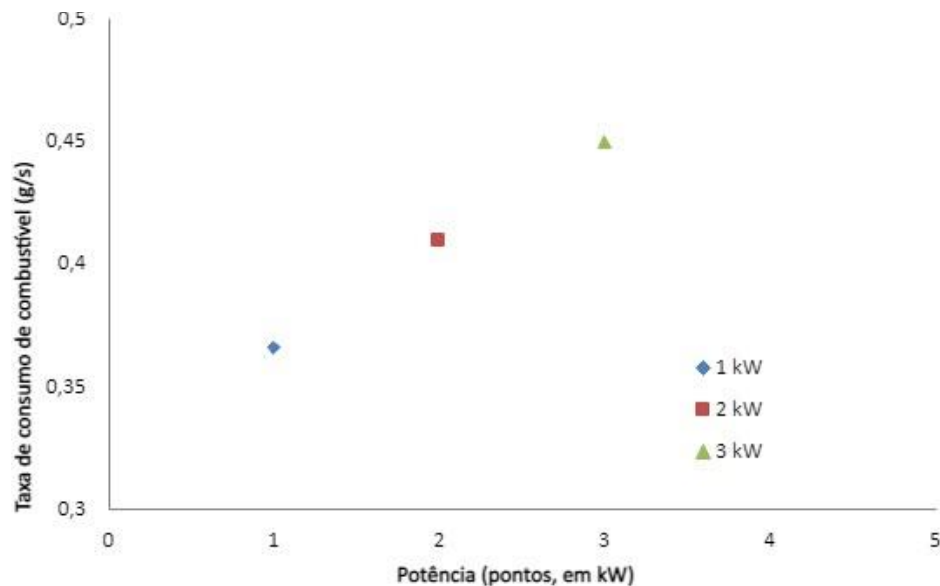


Figura 6 - Taxa de consumo de combustível nos três pontos de carga do motor em estudo

Por outro lado, ao se analisar o consumo específico da amostra combustível, parâmetro que representa a quantidade de combustível necessária para produzir uma unidade de energia útil, encontra-se um comportamento usual em motores diesel, de diminuição com o aumento da carga aplicada. Se encontrou, a partir de divisão simples da taxa de consumo pela carga aplicada, os valores de 0.339 g/kW.s com 1 kW, 0.199 g/kW.s com 2 kW e 0.149 g/kW.s com 3 kW. Devido a limites do quanto se pode aplicar de carga elétrica com a bancada de resistores, o ensaio foi limitado a 3kW; para se aproximar do máximo de potência disponível pelo motor, iria ser necessário três bancadas semelhantes. Por conta disso não foi possível continuar os pontos até os mesmos formarem uma curva completa em que se observaria um ponto de mínimo consumo específico.

Ao operar com cargas mais baixas, a parcela de energia desperdiçada em forma de perdas mecânicas (atrito, acionamento de bomba de óleo, alternador, etc.) e como energia para manter o próprio motor funcionando, é maior em relação às mesmas quando acompanhadas de uma potência útil produzida maior, já que a potência útil cresce em maior ritmo do que a vazão mássica, as perdas relativamente fixas passam a significar parcela menor do montante de energia total do sistema e o motor também está funcionando mais próximo à faixa de máxima eficiência, quando cargas maiores são trabalhadas.

O resultado é que o conjunto mostra uma eficiência energética crescente com o aumento da carga aplicada, pois estava em direção à sua faixa de operação mais eficiente. Como se está avaliando uma região de baixa carga, todas abaixo de 30%, é esperado de fato que parcelas significativas de energia liberada pela combustão sejam consumidas apenas para superar as perdas mecânicas, térmicas e de bombeamento inerentes ao funcionamento do equipamento. Literaturas costumam relatar resultados girando em torno de 75% de carga aplicada como ápice de rendimento energético em relação ao consumo específico, ou seja, onde ele encontra seu valor mínimo. Com isso, a tendência contínua de redução ao longo dos pontos faz total sentido quando se compara os índices de carga atingidos e os usualmente reportados na literatura como associados ao de consumo específico de combustível mínimo, referidos como polo de economia (Durkovic e Grujicic, 2019). Segue a Figura 7, a seguir, em que se expõe os resultados do consumo específico de combustível.

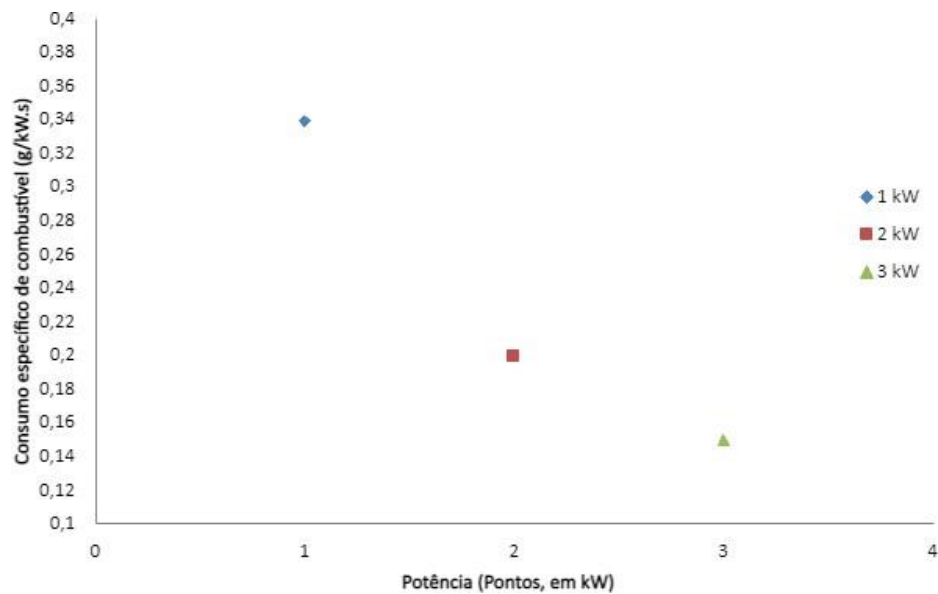


Figura 7 - Consumo específico de combustível nos três pontos de carga do motor em estudo

Se analisou também a temperatura ambiente, registrada no termopar como forma de controlar esse aspecto do ensaio, uma condição de contorno do experimento, conduzido com ambiente de laboratório aberto em uma das laterais de forma a permitir a circulação natural de ar e evitar, dessa forma, um acúmulo de calor excessivo no entorno do objeto de estudo, o grupo gerador.

Se nota que o ponto 1, de menor energia gerada e primeiro a ser executado, oscila mais que os demais, entre 27 e 30°C, porém em grande parte da curva de tempo ele permanece de 0,5 a 1°C abaixo do ponto 2. Essa maior dispersão de valores pode estar associada às condições iniciais de estabilização térmica do local de teste.

Para o ponto 2, existe uma oscilação já bem menor do que a vista no ponto 1, girando em torno de 28,5°C durante a curva, e no ponto 3 aparece temperaturas se aproximando dos 29°C. Se espera que esses 2 pontos já tenham sido executados em um processo de estabilidade térmica do processo, aparentemente ao contrário do primeiro ponto.

Cabe ainda ressaltar que o ensaio foi conduzido por cerca de 30 minutos, e não se observou temperatura local aumentando durante o período. De modo geral, leves aumentos de um ponto menos energético para o outro são esperados devido ao acúmulo de calor, porém ao mesmo tempo se mostram como insignificantes perante a faixa de temperaturas obtidas nos gases de exaustão, de 150 a 200°C, o que indica que essa variação de temperatura de laboratório dificilmente tenha tido algum impacto relevante no desempenho do motor durante os ensaios e, portanto, algum efeito sobre os resultados obtidos. Segue a Figura 8 abaixo.

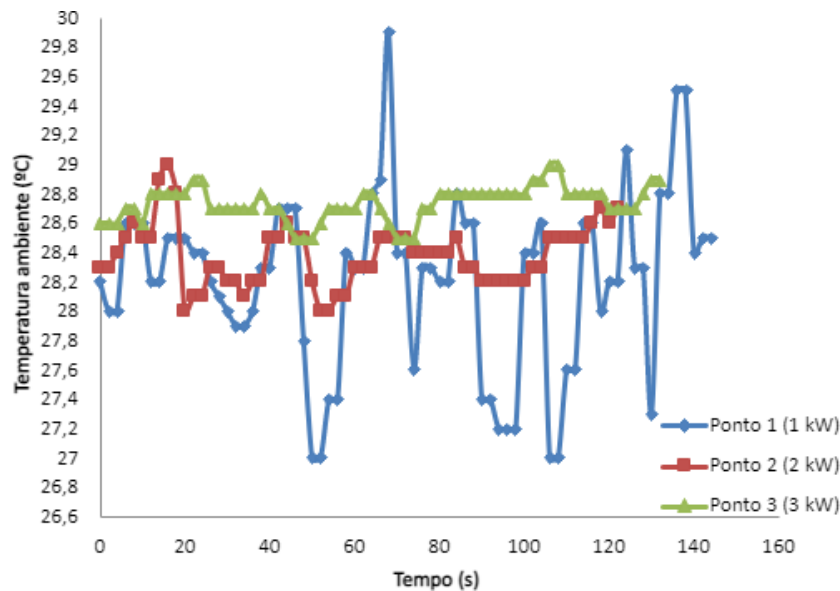


Figura 8 - Temperatura ambiente do ensaio realizado de acordo com a potência aplicada no motor

O próximo gráfico, representado pela Figura 9, se trata da fração molar do gás metano, um dos mais poderosos agentes de efeito estufa que se tem conhecimento e que tem produção considerável proveniente da atividade humana, tanto industrial quanto na pecuária. Para a carga de 1 kW, os valores começaram em cerca de 16.500 partes por milhão, se elevando até estagnar por volta das 18.000 partes por milhão. Com o acréscimo de mais 1 kW, os valores começaram em 19.500 e rumaram às 20.000 partes por milhão, até chegar aos últimos 20 segundos e se notar uma elevação abrupta para patamares ao redor das 22.000 partes por milhão. Quanto à carga de 3 kW, o comportamento é diferente: começa em 28.500 partes por milhão, sobe até os 30.000 e diminui para oscilar ao redor de 27.000 partes por milhão. O comportamento desta última carga é mais condizente com experimentos similares conduzidos pelo docente deste ensaio, em que se chegou, em cargas mais representativas perante a potência nominal disponível, a um comportamento de queda na fração molar de resíduos gasosos provenientes da combustão incompleta, como monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados, como é o caso do metano deste presente trabalho. Isso denota eficiência de combustão se elevando conforme se aumenta a temperatura até ao ponto de operação ótimo do motor.

Esses resultados indicam a carga influenciando fortemente na emissão de CH₄, que é resultante de parcela do combustível não reagindo no interior da câmara de combustão, aumentando significativamente as emissões de metano conforme as cargas exigidas foram crescendo, exigindo maior alimentação de combustível, elevando a quantidade de hidrocarbonetos não oxidados presentes na exaustão de gases. O comportamento parece acompanhar a redução de temperatura de gases desta carga, sugerindo a convergência do sistema para uma condição operacional mais estável e eficiente, com a redução da parcela de hidrocarbonetos não queimados como prova substancial disso. Na carga de 1 kW, é possível que esse aumento com o tempo seja oriundo do sistema ainda não ter atingido o regime permanente; a carga é pequena frente à potência nominal contínua disponível, com um comportamento similar para a carga de 2 kW, porém nesta última ocorre elevação considerável na fração molar na parte final da operação, sugerindo migração para um novo equilíbrio operacional por volta deste intervalo de tempo.

Resultados em ensaio similar mostraram um comportamento instável também, já que os comportamentos da curva de hidrocarbonetos não queimados variam conforme a carga muda, com tendências de queda e subida em diferentes posições (Ferrari *et al.*, 2017).

A questão é que a eficiência da oxidação do combustível ora aumenta mais rápido, ora mais devagar, que o acréscimo de combustível injetado, e uma possível explicação para este ensaio encontrar tendência de subida nas emissões de metano com o aumento da carga se trata de que, em

cargas mais elevadas, a injeção de combustível aumenta a ponto de algumas regiões da câmara passar a operar localmente com uma mistura mais rica, e, embora o diesel opere globalmente com excesso de ar, pode passar a haver regiões próximas ao fluxo de combustível onde a mistura fica temporariamente rica, com o efeito se intensificando com o aumento da carga e consequente aumento da injeção de combustível; portanto, nestas regiões a oxidação completa dos hidrocarbonetos pode não se efetuar, aumentando a quantidade percentual de compostos não queimados nos gases de escape.

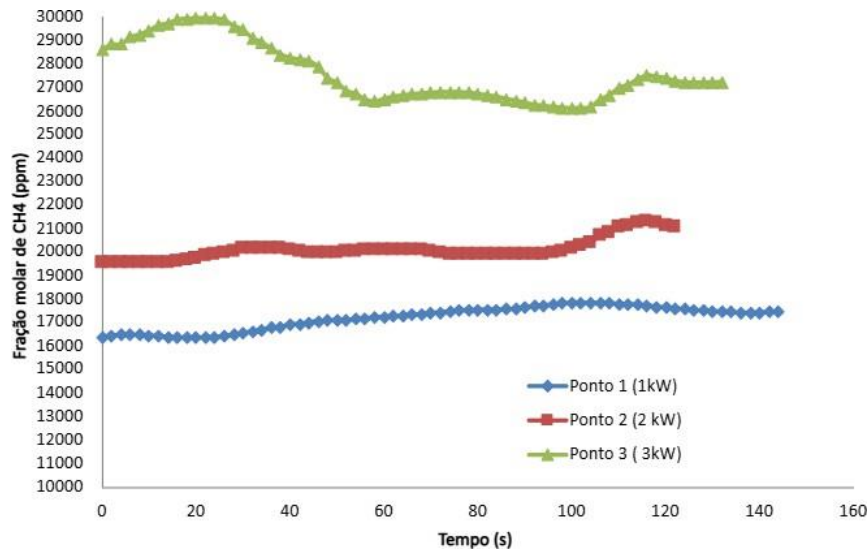


Figura 9 - Fração molar de metano no motor em estudo

A Figura 10, abaixo, apresenta os resultados das frações molares de dióxido de carbono (CO₂) nos três pontos. O comportamento é consistente: com a carga aumentando, os valores percentuais de CO₂, se elevam, indicando mais queima de combustível. Este gás representa a parcela de carbono que conseguiu efetuar com sucesso sua combustão, denotando eficiência de combustão, e sua estabilidade nos valores ao longo do tempo para as três cargas indica uma taxa global de combustão razoavelmente estável. Esse comportamento também foi observado por autores que avaliaram grupos geradores diesel, os quais verificaram um aumento aproximadamente linear das emissões de CO₂ com o aumento da carga aplicada (Ghorbanzadeh *et al.*, 2023).

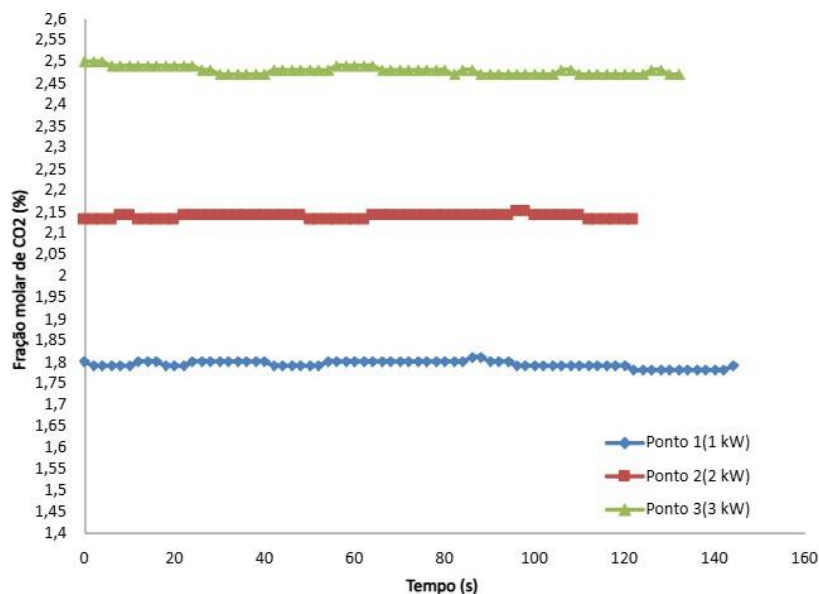


Figura 10 - Fração molar de dióxido de carbono no motor em estudo

Ademais, como foram calculados os consumos específicos de combustível para os três pontos, é possível ainda, a partir disso, se chegar à eficiência térmica efetiva, que relaciona energia total teórica contida quimicamente pela molécula de combustível com a capacidade do motor converter esse conteúdo energético em potência mecânica útil disponível para trabalho. Usando como fonte confiável disponível os valores de poder calorífero superior para diesel mineral, se tem o seguinte cálculo (Silva *et al.*, 2012):

$$\eta = \frac{1}{PCS \cdot CEC}$$

sendo:

η -Eficiência térmica

CEC – consumo específico de combustível, g/kW.s

PCS – poder calorífico superior, MJ/kg

Como se dispõe de todos os valores necessários, desenvolvidos nesse artigo, se chega aos valores de 0,0665 para 1 kW, 0,1132 para 2 kW e 0,1508 para 3 kW, que convertendo em termos percentuais resulta no gráfico abaixo. Esses resultados explicitam resultados crescentes de eficiência energética com a elevação gradual da carga. Se trata de um resultado que pode ser interpretado como algo para complementar o inconclusivo resultado do metano crescendo com o aumento da carga, já que de fato o rendimento está em crescimento com o aumento da potência. Se tratam de eficiências significativamente menores que encontradas em motores diesel na literatura, porém normal em se tratando da faixa de potência baixa trabalhada no presente ensaio. Embora os valores obtidos neste estudo tenham variado entre 6,65% e 15,08%, a literatura reporta que motores diesel modernos podem atingir eficiências térmicas efetivas superiores a 40% quando operam em condições próximas à carga nominal e com estratégias avançadas de otimização da combustão, em que se reportou eficiência térmica efetiva máxima de até 46,9% em um motor diesel de médio porte após a implementação de melhorias no sistema de admissão, taxa de compressão e processo de combustão (Huang *et al.*, 2025). Segue abaixo, em que se tem a Figura 11 expondo os resultados.

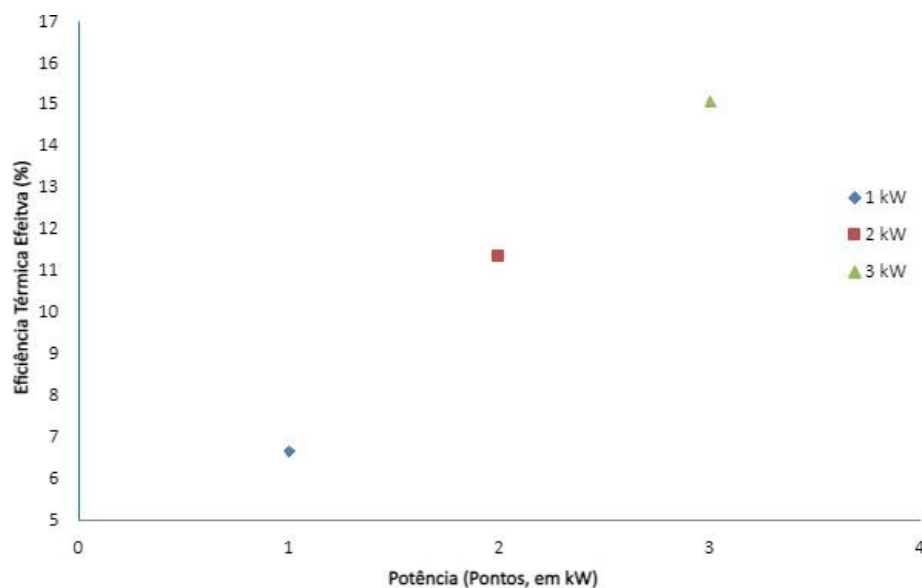


Figura 11 - Eficiência térmica do conjunto motor-gerador

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentalmente obtidos para o ensaio, pode-se concluir, portanto:

- a) A temperatura dos gases de escape apresentou tendência de comportamento diretamente proporcional à carga aplicada no motor, com estabilidade para os três pontos. Tal comportamento deste ponto pode ser explicado pela estabilidade térmica atingida pelo motor, com componentes atingindo temperatura de operação.
- b) A taxa de consumo de combustível mostrou crescimento diretamente proporcional às cargas solicitadas, pois mais massa precisa ser transformada em energia útil para obedecer aos esforços ditados pela carga aplicada.
- c) As cargas aproximadas de 1, 2 e 3 kW, representam, respectivamente, 9,5%, 18,9% e 28,4% da potência nominal contínua do gerador; essas frações se mostram distantes do percentual em que se costuma aparecer o ápice de rendimento do motor diesel.
- d) O comportamento da curva do consumo específico de combustível segue o esperado na literatura, com o consumo específico sendo inversamente proporcional à carga aplicada, denotando percentual menor da energia sendo desperdiçada com o aumento da potência produzida: esta cresce mais rapidamente do que a parcela de perdas mecânicas, térmicas e de bombeamento de combustível.
- e) O controle da temperatura de laboratório foi eficiente para reduzir essa variável ao patamar da insignificância, pois a variação dela é percentualmente irrelevante quando comparada à escala de temperaturas de operação a que o motor foi ensaiado.
- f) As curvas de emissão de CH₄ foram inconclusivas, tendo aumentadas com a carga, mas se mostrando instável ao longo do tempo principalmente do ensaio da carga mais elevada, podendo denotar regiões locais caóticas da combustão; só se pode dizer que a parcela de carbono não oxidada aumentou, independente do aumento ou da redução do rendimento do processo, que por apenas esse resultado não garante de maneira confiável garantir o que acontece.
- g) A emissão de CO₂, conforme o esperado, aumentou com a carga como resultado de mais carbono resultante da reação química de combustão de sucesso; as três curvas se mantiveram estáveis ao longo do tempo, indicando estabilidade da reação de combustão globalmente.
- h) Como complemento do comportamento do metano, o gráfico de eficiência térmica efetiva demonstra como o rendimento da operação do grupo gerador aumenta conforme seus esforços solicitados aumentam, rumando ao ponto de maior eficiência do motor diesel, ainda que distante disso (quase 30%, com 75% relatado como ponto ótimo), mostrando aumento na eficiência da combustão.

5. AGRADECIMENTOS

O trabalho foi amplamente auxiliado pelo suporte técnico da Universidade Federal da Grande Dourados, pela rede de apoio familiar e da coordenação do curso, bem como da soma dos quesitos anteriores por parte do orientador do trabalho, Ramon Eduardo Pereira Silva, que colaborou com imensa assistência e paciência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ferreira, W. e Furtado, A.C. (2024). Dos combustíveis fósseis às fontes renováveis de energia: uma breve revisão. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 17(12), pp.e12965–e12965. <<https://doi.org/10.55905/revconv.17n.12-305>>.
- Campos, R. B., Bassi, A. F., Monteiro, L. F., Silva, J. A. e Brito, J.N. (2015). Análise comparativa do desempenho do biodiesel em motores diesel através de técnicas não-invasivas de monitoramento. Do *Congresso Técnico Científico Da Engenharia E Da Agronomia* [Anais de evento].

https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/Trabalhos_Premiados_2015_analise_comparativa_do_desempenho_do_biodiesel_em_motores.pdf.

Empresa de Pesquisa Energética (2025). *Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados – Ciclo 2025*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/epe-apresenta-o-planejamento-2025-para-os-sistemas-isolados>. Acesso em: 13 jul. 2026.

Heywood, J.B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education.

Stone, R. (2012). *Introduction to internal combustion engines*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Mavropoulos, G.C. e Kosmadakis, G.M. (2018). Investigating the EGR rate and temperature impact on diesel engine combustion and emissions under various injection timings and loads by comprehensive two-zone modeling. *Energy*, 157, pp.990–1014. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.178>.

Durković, R. e Grujičić, R. (2019). An approach to determine the minimum specific fuel consumption and engine economical operation curve model. *Measurement*, 132, pp.303–308. <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.053>.

Majewski, W.A. (2025). *What Are Diesel Emissions*. [online] dieselneta.com. Disponível em: <https://dieselneta.com/tech/emissions.php>.

Lee, S., Kim, C., Lee, S., Oh, S., Kim, J. e Lee, J. (2021). Characteristics of non-methane hydrocarbons and methane emissions in exhaust gases under natural-gas/diesel dual-fuel combustion. *Fuel*, 290, p.120009. <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120009>.

Silva, M., Souza, S., Souza, A., Martins, G. e Secco, D. (2012). *Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel*. [online] Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gWvgd8gkT7Q8xngYQjrsVRp/?format=pdf&lang=pt>. [Acessado em 12 Maio de 2026].

Petrobras. (2024). *Diesel R: nosso diesel com conteúdo renovável* | Petrobras. [online] Disponível em: <https://petrobras.com.br/quem-somos/diesel-r5>.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2026). *Óleo Diesel*. [online] Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/oleo-diesel>.

Ferrari, L.S., Costa, N.L. e Silva, R.E.P. (2017). *Pollutant Emissions Investigation in a Compression Ignition Engine During Warm-Up Time*. Proceedings of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2017), Curitiba, Brasil.

Huang, H., Wang, Y., Zhou, C., Guo, X. e Xing, K. (2025). *Effective measures to improve thermal efficiency of medium-sized diesel engine in practical application: Energy-exergy analysis and test verification*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 239(4), pp. 1267–1286. <https://doi.org/10.1177/09544070231217023>.

Ghorbanzadeh, M., Issa, M. e Ilinca, A. (2023). *Experimental Underperformance Detection of a Fixed-Speed Diesel–Electric Generator Based on Exhaust Gas Emissions*. *Energies*, 16(8), 3537. <https://doi.org/10.3390/en16083537>.

Huang, L., Liu, J., Liu, R., Wang, Y. and Liu, L. (2022). *Experimental Investigation on Combustion and Performance of Diesel Engine under High Exhaust Back Pressure*. *Machines*, 10(10), 919. <https://doi.org/10.3390/machines10100919>.

7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável pelo material impresso incluído neste artigo.