

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias

Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental

Ana Clarah Cordeiro de Oliveira Talá

**EMISSÕES DE GASES POR MOTOGERADORES NO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-UFVJM**

Unai

2023

Ana Clarah Cordeiro de Oliveira Talá

**EMISSÕES DE GASES POR MOTOGERADORES NO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-UFVJM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Leão Rosado

Unai

2023

Ana Clarah Cordeiro de Oliveira Talá

**EMISSÕES DE GASES POR MOTOGERADORES NO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-UFVJM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Leão Rosado

Data de aprovação ____/____/____.

Prof. Dr. Jefferson Luiz Antunes Santos
Instituto de Ciências Agrárias - UFRVJM

Membro externo: M.Sc. Jhonny Kelvin Dias Martins
Instituto de Ciências Agrárias - UFRVJM

Prof. Dr. Gustavo Leao Rosado
Instituto de Ciências Agrárias - UFRVJM

Unai

2023

Dedico este trabalho a Deus e toda minha família; sem eles eu não teria forças para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me sustentar ao longo de todo curso, por me dar forças e seguir sempre ao meu lado.

Agradeço a minha família por sempre me apoiar, acreditar no potencial e me incentivar a ser sempre melhor, agradeço aos meus avós que possuem uma grande parcela em minha criação, a minha mãe e irmã por todo amor doado. Agradeço em especial ao meu namorado Thiago, obrigada por todo companheirismo, paciência no fim da minha jornada acadêmica, por sempre incentivar o melhor de mim e por me fortalecer sempre.

Agradeço de forma muito especial a minha estrelinha, meu padrasto Maurílio (*in memorian*), que sempre foi o maior incentivador do meu futuro e acreditou em mim, obrigada por todo cuidado que teve com nossa família.

Agradeço a todos que fizeram parte de todo meu período de graduação, a todos os professores por todo aprendizado transmitido e meu orientador pela oportunidade. Agradeço de forma especial aos meus colegas Fernando, Jéssica, Manuela e Gustavo, obrigada por todo companheirismo ao longo dos anos, espero que nossa amizade permaneça por toda vida.

RESUMO

Combustíveis de modo geral subprodutos do petróleo, como a gasolina e o diesel, são considerados combustíveis fósseis, um dos principais responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera proveniente das atividades humanas. Além disso, a combustão do óleo diesel também libera outros poluentes, como óxidos de nitrogênio, óxido de enxofre, monóxido de carbono, material particulado e hidrocarbonetos. Devido à falta de infraestrutura em certas áreas, o uso de geradores a diesel é necessário para fornecer eletricidade, como no caso do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) no Campus Unaí-MG, para o suprimento de energia elétrica. No contexto da mudança do campus do ICA/UFVJM, foram enfrentados problemas relacionados ao fornecimento de água, esgoto, internet e energia elétrica, portanto, foi necessária a instalação de um motogerador alimentado por óleo diesel, que ficou em funcionamento por 20 meses. Devido às emissões de gases poluentes, especialmente CO₂, decorrentes desse tipo de gerador, a pesquisa realizada busca estimar a emissão desses gases durante o período de operação do motogerador, utilizando a Equação de Combustão, além de aplicar conhecimentos de Química Ambiental. Como resultado pode se estimar, o gerador emitiu um valor de 0,1327 toneladas de CO₂ e 0,3423 toneladas de SO₂, o que na prática, corresponde a 11,64% da quantidade de gases emitidos por um automóvel da cidade de São Paulo por um ano e 0,002% de SO₂ em relação a frota total veicular da mesma cidade durante o ano de 2022.

Palavras-chave: Emissão de CO₂, Motogerador, Diesel, Poluição

ABSTRACT

Fuels, in general, petroleum by-products, such as gasoline and diesel, are considered fossil fuels, one of the main responsible for the emission of CO₂ in the atmosphere from human activities. In addition, the combustion of diesel oil also releases other pollutants, such as nitrogen oxides, sulfur oxides, carbon monoxide, particulate matter and hydrocarbons. Due to the lack of infrastructure in certain areas, the use of diesel generators is necessary to supply electricity, as in the case of the Institute of Agricultural Sciences (ICA) of the Federal University of Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) at Campus Unaí-MG, for the supply of electricity. In the context of moving the ICA/UFVJM campus, problems related to the supply of water, sewage, internet and electricity were faced, therefore, it was necessary to install a motor generator powered by diesel oil, which was in operation for 20 months. Due to the emissions of polluting gases, especially CO₂, resulting from this type of generator, the research carried out seeks to estimate the emission of these gases during the period of operation of the motor generator, using the Combustion Equation, in addition to applying knowledge of Environmental Chemistry. As a result, it can be estimated, the generator emitted a value of 0.1327 tons of CO₂ and 0.3423 tons of SO₂, which in practice, corresponds to 11.64% of the amount of gases emitted by a car in the city of São Paulo for a year and 0.002% of SO₂ in relation to the total vehicle fleet of the same city during the year 2022.

Keywords: CO₂ Emission, Motor Generator, Diesel, Pollution

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Preços médios mensais do diesel S10 - Brasil (em R\$/litro) - 2018/2019	21
Gráfico 2 – Preços médios mensais do diesel - Brasil (em R\$/litro) – 2019/2020.....	22
Gráfico 3 – Preços médios mensais do diesel - Brasil (em R\$/litro) – 2020/2021.....	22
Gráfico 4 – Gastos com diferentes fontes de energia do ICA/UFVJM.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo do motogerador	21
Tabela 2 – Quantidade de CO ₂ e SO ₂ emitido durante todo funcionamento do motogerador.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Dióxido de carbono
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
tC/TJ	Tonelada de carbono por energia em Jaule
NO _x	Óxidos de nitrogênio
SO ₂	Dióxido de enxofre
CO	Monóxido de carbono
MP	Material particulado
ICA	Instituto de Ciências Agrárias
UFVJM	Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
MG	Minas Gerais
EAA	Engenharia Agrícola e Ambiental
HC	Hidrocarbonetos
GEE	Gases de efeito estufa
CH ₄	Metano
CFCs	Clorofluorcarbonos
N ₂ O	Óxido nitroso
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Kg	Quilogramas
g	Gramas
mg	Miligramas
C	Carbono
H	Hidrogênio

°C	Graus celsius
NBR	Norma Brasileira
O	Oxigênio
kW	Kilowatts
t	Toneladas

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO GERAL	11
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1 Motogeradores.....	12
4.1.1 <i>Utilização de grupos motogeradores para o fornecimento de energia elétrica</i>	12
4.1.2 <i>Princípios de funcionamento dos grupos geradores motorizados</i>	13
4.2 Motores de combustão interna	14
4.3 Emissões de gases	15
4.3.1 <i>Gases emitidos da combustão dos motores de ciclo diesel</i>	15
4.3.1 <i>Impacto dos gases de efeito estufa no planeta</i>	17
5. METODOLOGIA.....	19
6. RESULTADOS E DISCURSSÃO	20
7. CONCLUSÃO	26
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
ANEXO I – CÁLCULO	30
ANEXO II – TABELA DE GASTOS ENERGÉTICOS E FINANCEIROS.....	35

1. INTRODUÇÃO

Combustíveis de modo geral subprodutos do petróleo, como a gasolina e o diesel, são considerados combustíveis fósseis, um dos principais responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera proveniente das atividades humanas (BIZERRA; QUEIROZ; COUTINHO, 2018).

Segundo BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL(2022) houve um aumento da geração de eletricidade a partir do uso de derivados de petróleo, chegando a representar 2,8% da produção nacional, tendo 2021 como ano base.

Tratando-se especificamente do diesel, segundo dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) este combustível é o que mais emite carbono (CO₂), possuindo um fator de emissão de 20,2 tC/TJ, quantidade de toneladas de carbono liberadas na atmosfera por terajoules de energia consumida.

Os poluentes predominantes oriundo da combustão do óleo diesel são o dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC). O CO, HC e MP são provenientes da combustão incompleta do material, NO_x está associado às elevadas taxas de compressão e temperatura no interior da câmara de combustão e o SO₂ está atrelado à presença de enxofre no combustível (SILVA, 2021).

Devido à escassez de rede de energia elétrica das concessionárias, provocado pela ausência de infraestrutura em determinados locais, faz-se necessário o uso dos motogeradores, alimentado por combustíveis como o óleo diesel, para o fornecimento de eletricidade, como foi o caso do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) no Campus Unaí-MG.

O motogerador permite a modulação de potência elétrica consumida e potência mecânica que possibilitam análises de variáveis de desempenho do conjunto e emissões gasosas. Vários estudos apresentam dispositivos para variar as condições de carga em motogeradores como dinamômetros ou banco de resistência elétrica, com dissipação de calor, a fim de simular condições de funcionamento para avaliar performance de combustíveis, eficiência mecânica, emissão de gases, geração de eletricidade (MELO, 2020).

Com as adequações do pavilhão de aulas do novo *campus* do ICA/UFVJM e as limitações do Campus provisório, onde a unidade estava sediada, a administração da

instituição optou pela transferência da estrutura para as novas instalações, porém ainda sem o fornecimento adequado de água, esgoto, internet e energia elétrica.

Na tentativa de minimizar os problemas gerados pela mudança de *campus*, foi necessário lançar mão de métodos alternativos para o seu fornecimento. Para o suprimento de energia elétrica, foi necessário a instalação de um motorizador alimentado por óleo diesel que ficou em funcionamento por 20 meses.

Devido à carga significativa de gases poluentes emitidos para a atmosfera, conforme mencionado anteriormente por este tipo de motorizador especialmente o CO₂, a presente pesquisa buscou modelar com a utilização da Equação de Combustão uma estimativa da emissão desse tipo de gás durante o período em que a unidade acadêmica operou com o uso do motorizador, além de servir de aplicação dos conhecimentos adquiridos na disciplina de Química Ambiental.

2. OBJETIVO GERAL

- Estimar a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e dióxido de enxofre (SO₂) proveniente do gerador utilizado pelo *campus* da UFVJM em Unaí durante seu período de uso.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender a emissão de gases poluentes para a atmosfera provenientes de motores a combustão;
- Levantar o tempo de uso do gerador;
- Estimar a quantidade de combustível utilizado;
- Estimar a composição do combustível;
- Balancear a equação de combustão;
- Calcular a estequiometria da massa de CO₂ e SO₂ emitida;
- Estimar o custo de energia elétrica no período do uso do gerador;
- Relacionar a eficiência energética.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Motogeradores

4.1.1 *Utilização de grupos motogeradores para o fornecimento de energia elétrica*

Existem várias razões pelas quais é comum utilizar grupos de geradores para fornecimento de energia elétrica em determinadas situações. Algumas dessas razões incluem: 1) Falta de energia da rede elétrica: em situações em que há uma interrupção na rede elétrica. 2) Necessidade de energia em locais remotos: em locais onde a rede elétrica não está disponível ou é difícil de alcançar. 3) Redução de custos: em alguns casos, pode ser mais econômico utilizar um grupo gerador em vez de pagar por uma conexão permanente à rede elétrica. 4) Necessidade de energia ininterrupta: em certos setores, como hospitais, data centers e indústrias que dependem de equipamentos críticos, a falta de energia pode ter consequências graves. 5) Controle de qualidade de energia: em alguns casos, a energia da rede elétrica pode ser instável ou de má qualidade, o que pode afetar a operação de equipamentos sensíveis (COLLE, 2018).

A energia gerada por um motogerador não necessariamente é pior do que a energia elétrica da rede, pois ambos os sistemas podem fornecer energia elétrica confiável e de boa qualidade. No entanto, é importante destacar que a qualidade da energia gerada por um motogerador depende da sua capacidade de regular a tensão e a frequência da saída elétrica, bem como da manutenção adequada do equipamento (MIYAMOTO, 2017).

Em casos em que o motogerador não está bem regulado ou não for mantido adequadamente, pode haver flutuações na tensão e na frequência da saída elétrica, o que pode danificar equipamentos sensíveis ou afetar a qualidade da energia fornecida. Já a energia elétrica fornecida pelas concessionárias, é regulada por sistemas de controle e monitoramento que garantem a qualidade e a estabilidade da tensão e da frequência da saída elétrica (SILVA, 2018).

Além disso, segundo Silva (2018), a rede elétrica pode ser conectada a fontes de energia renováveis, como energia eólica ou solar, contribuindo para a redução das emissões de gases do efeito estufa, para a sustentabilidade ambiental.

As principais desvantagens da utilização de motogeradores de energia elétrica é o custo de aquisição, manutenção do equipamento e as altas emissões de gases. Os motogeradores são equipamentos complexos e exigem manutenção regular para garantir

um funcionamento confiável e seguro. Isso pode resultar em custos significativos ao longo do tempo, que devem ser considerados ao decidir sobre a instalação de um motogerador (PÍNZON, 2015).

Além disso, pelo fato dos motogeradores consumirem combustível para gerar eletricidade, o que é um problema do ponto de vista ambiental e econômico. O consumo de combustível leva a emissões de gases do efeito estufa e aumentar os custos de operação do motogerador, especialmente em períodos de alta demanda de energia ou quando os preços do combustível estão elevados (FIGUEIREDO, 2018).

4.1.2 Princípios de funcionamento dos grupos geradores motorizados

O funcionamento básico de um gerador é converter energia mecânica em energia elétrica. Um gerador produz eletricidade através de um processo chamado de indução eletromagnética. O princípio da indução eletromagnética foi descoberto por Michael Faraday em 1831 e estabelece que a variação de um campo magnético em relação a uma bobina de fio de cobre produz uma corrente elétrica na bobina (PANTOJA, 2021).

Segundo PETROCINA (2022), quando um ímã é movido em direção a uma bobina de fio de cobre, o campo magnético gerado pelo ímã corta as linhas de fluxo magnético da bobina e induz uma corrente elétrica na bobina. Esse processo também ocorre quando a bobina é movida em relação a um ímã estacionário.

Além disso, se o campo magnético for variado de alguma forma, seja pelo movimento do ímã ou pela variação da corrente elétrica que o gera, a variação do campo magnético resultará na indução de uma corrente elétrica na bobina, o que torna o princípio do funcionamento dos geradores (JÚNIOR, 2018).

Esse princípio físico é a base para a geração de eletricidade em geradores elétricos, onde um conjunto de ímãs rotativos ou eletroímãs são utilizados para gerar um campo magnético variável que induz uma corrente elétrica em uma bobina estacionária (JÚNIOR, 2018). No funcionamento do equipamento em si, o processo começa com a rotação de um eixo central, que pode ser acionado por uma variedade de fontes de energia, como um motor a combustão, uma turbina hidráulica ou uma turbina eólica. A rotação do eixo central aciona um conjunto de ímãs permanentes ou eletroímãs que giram dentro de uma bobina de fio de cobre, chamada de estator (ALVES; MOTA; ZANCANELLA, 2020).

Conforme elucidado (ALVES; MOTA; ZANCANELLA, 2020) à medida que os ímãs giram dentro do estator, são criados campos magnéticos alternados que geram uma corrente elétrica na bobina. Essa corrente elétrica é conduzida por meio de fios de cobre que saem do gerador e podem ser utilizados para alimentar cargas elétricas, como lâmpadas, motores, equipamentos eletrônicos, entre outros.

O tamanho e a capacidade de um gerador podem variar de acordo com a quantidade de energia elétrica necessária para alimentar as cargas elétricas. Geradores maiores e mais potentes são utilizados em usinas de energia elétrica para produzir eletricidade em grande escala, enquanto geradores menores são utilizados para fornecer energia elétrica em ambientes de menor escala, como residências, lojas e escritórios.

Os geradores de energia elétrica geralmente possuem um motor de combustão interna, como um motor a gasolina ou diesel, que serve como fonte de energia mecânica para gerar eletricidade. Esse tipo de motor é conhecido como motor primário ou motor de acionamento. O motor de combustão interna funciona convertendo a energia química do combustível em energia mecânica. O combustível é injetado na câmara de combustão, onde é queimado em uma reação química que produz gases em alta pressão. Esses gases empurram um pistão, que gira um eixo central conectado ao gerador (SPÍNOLA, 2017).

4.2 Motores de combustão interna

Os motores de combustão interna são dispositivos que convertem a energia química do combustível em energia mecânica. Eles são amplamente utilizados em diversos tipos de veículos, como carros, motos, aviões e barcos, além de geradores de energia elétrica e máquinas industriais.

Existem dois tipos principais de motores de combustão interna: os motores de ciclo Otto, que utilizam a combustão de misturas ar-combustível para produzir a energia mecânica, e os motores de ciclo Diesel, que utilizam a combustão do combustível diesel por meio da compressão do ar para produzir a energia mecânica (BRUNETTI, 2018). Em ambos os tipos de motores de combustão interna, o movimento rotativo do eixo do motor é utilizado para gerar energia mecânica, que pode ser convertida em energia elétrica por meio de um gerador, por exemplo. Essa energia pode ser utilizada para movimentar veículos, gerar eletricidade ou realizar trabalho em máquinas industriais. No motor de ciclo Otto, o combustível é misturado com ar em uma câmara de combustão. Essa mistura é comprimida por um pistão e, em seguida, é inflamada por uma faísca produzida por

uma vela de ignição. A combustão produz gases em alta pressão, que empurram o pistão e geram o movimento rotativo do eixo do motor. O movimento rotativo é transmitido às rodas do veículo ou a uma carga mecânica, como um gerador de energia elétrica (BRUNETTI, 2018).

O tipo de motor mais comumente encontrado junto aos grupos geradores de eletricidade, são os do tipo diesel, que recebem esse nome em homenagem ao seu inventor, o alemão Rudolf Diesel no final do século XIX. Neste tipo de motor o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão, onde é comprimido pelo pistão. A alta compressão do ar gera calor, que inflama o combustível sem a necessidade de uma faísca de ignição. A combustão produz gases em alta pressão, que empurram o pistão e geram o movimento rotativo do eixo do motor (SPÍNOLA, 2017).

4.3 Emissões de gases

4.3.1 Gases emitidos da combustão dos motores de ciclo diesel

Os gases emitidos pelos motores de combustão interna, especialmente os de ciclo diesel, provém especialmente do processo de combustão, que é um processo químico exotérmico. Essa reação ocorre quando um combustível reage com um oxidante, geralmente o oxigênio do ar, em condições de alta temperatura e pressão, produzindo calor, luz e gases de escape, que são liberados na atmosfera (WEI; GENG, 2016).

O combustível pode ser qualquer substância capaz de reagir com um oxidante e produzir calor, como gasolina, diesel, etanol, madeira, carvão e gás natural. O agente oxidante mais comum é o oxigênio do ar, que é abundante e está sempre presente no ar.

O processo de combustão é geralmente dividido em três estágios: a fase de pré-combustão, a fase de combustão e a fase de pós-combustão. Na fase de pré-combustão, o combustível é vaporizado e misturado com o oxidante para formar uma mistura combustível. Na fase de combustão, a mistura combustível é inflamada e reage com o oxidante para produzir calor e gases de escape. Na fase de pós-combustão, os gases de escape são liberados na atmosfera (WEI; GENG, 2016).

Uma das principais formas de compreender essas reações é por meio da “equação de combustão”, que se trata de uma representação química simplificada do processo de queima de um combustível. Ela é escrita na forma geral:

combustível + oxigênio → produtos da combustão + energia

Ou seja, durante a combustão, o combustível reage com o oxigênio presente no ar e produz produtos da combustão, que são geralmente dióxido de carbono e água, além de liberar energia na forma de calor. A equação química específica da combustão de cada combustível é diferente, já que cada um tem uma composição química diferente.

A reação química da combustão libera grandes quantidades de energia na forma de calor e luz, que podem ser usadas para alimentar motores, geradores, fornos e outros equipamentos. No entanto, essa reação também pode produzir poluentes atmosféricos, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e partículas de matéria particulada (PM), que podem ser prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (LOPATIN, 2020).

Especialmente os motores diesel emitem vários gases poluentes, incluindo CO₂, NO_x, SO₂, monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e PM.

O CO₂ é um dos principais gases emitidos pelos motores diesel e contribui significativamente para o aquecimento global e mais recentemente, mudanças climáticas. Esse gás é produzido durante a queima do combustível diesel no motor e é liberado na atmosfera como um subproduto da combustão (TOZZI; GHINI, 2016).

Os NO_x são formados quando o nitrogênio presente no ar é exposto a altas temperaturas e pressões durante a combustão no motor diesel. Esses gases são altamente tóxicos e são responsáveis pela formação de *smog* e chuva ácida (GOMES, 2022).

O SO₂ é um poluente atmosférico comum produzido pela queima de combustíveis fósseis, como o diesel. O SO₂ é um precursor atmosférico do ácido sulfúrico, responsável pela deposição ácida e pode causar problemas respiratórios em seres humanos e animais (NUNES et al., 2015).

O CO é um gás incolor e inodoro que é formado durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis. O CO é um gás tóxico que pode ser fatal em altas concentrações e pode causar problemas respiratórios e cardiovasculares em níveis mais baixos (JUNGES et al., 2020).

Os hidrocarbonetos (HC) são compostos orgânicos que são emitidos durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis. Eles contribuem para a formação de *smog* e são prejudiciais à saúde (LEACHI et al., 2020).

As partículas PM são pequenas partículas sólidas ou líquidas, que ficam em suspensão, que são emitidas pelo escape do motor diesel. Essas partículas são prejudiciais

à saúde, pois podem penetrar profundamente nos pulmões e causar problemas respiratórios, cardiovasculares e outros problemas de saúde (ARAÚJO; ROSÁRIO, 2020).

4.3.1 Impacto dos gases de efeito estufa no planeta

De modo geral, os gases de efeito estufa (GEE) são substâncias que absorvem e emitem radiação infravermelha na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Os principais gases de efeito estufa incluem dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e Clorofluorcarbonos (CFCs), entre outros (BIZERRA, QUEIROZ, COUTINHO, 2018).

O efeito estufa é um fenômeno natural que mantém a Terra aquecida, permitindo a vida como a conhecemos. Quando a radiação solar atinge a superfície da Terra, ela é refletida de volta para a atmosfera na forma de radiação infravermelha. Os gases de efeito estufa na atmosfera absorvem parte dessa radiação infravermelha e a emitem novamente para a superfície da Terra, o que mantém o planeta aquecido (BIZERRA, QUEIROZ, COUTINHO, 2018).

No entanto, a atividade humana, especialmente a queima de combustíveis fósseis, tem aumentado a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera, o que está causando um aumento na temperatura média da Terra. O aquecimento global tem consequências graves para o planeta, incluindo o aumento do nível do mar, mudanças no clima e na frequência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas e tempestades (MORAES, 2019).

O potencial de aquecimento é um índice que mede o impacto climático de um gás de efeito estufa em relação ao CO_2 . O CO_2 é frequentemente usado como referência para comparar outros gases de efeito estufa porque é o gás de efeito estufa mais comum e persistente na atmosfera (GHG Protocol, 2023).

O potencial de aquecimento global do dióxido de carbono é definido como 1. Isso significa que qualquer outro gás de efeito estufa é comparado ao impacto do CO_2 em relação ao aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do CH_4 é de cerca de 28 a 36 vezes maior que o do CO_2 , enquanto o potencial de aquecimento global do N_2O é de cerca de 265 a 298 vezes maior que o do CO_2 (GHG Protocol, 2023). Logo, o potencial de aquecimento global é um indicador importante para ajudar a avaliar o impacto das emissões de gases de efeito estufa no clima e no aquecimento global.

Diante do risco causado pelas mudanças climáticas, em 1988 foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), com o objetivo de fornecer informações científicas objetivas sobre mudanças climáticas, seus efeitos e as possibilidades de mitigação.

O IPCC é um órgão científico intergovernamental que atualmente é composto por 195 países membros e assessores especialistas de todo o mundo. Desde sua criação, o IPCC tem produzido relatórios regulares que resumem as descobertas científicas mais recentes sobre as mudanças climáticas e as emissões de gases de efeito estufa (PNUMA, 2023).

O IPCC tem produzido relatórios regulares desde 1990, que resumem as descobertas científicas mais recentes sobre as mudanças climáticas e as emissões de gases de efeito estufa. De acordo com o órgão, as emissões de gases de efeito estufa causadas pela atividade humana estão causando mudanças climáticas significativas em todo o mundo. Desde a era pré-industrial, a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) aumentou em cerca de 40%, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra (IPCC, 2011).

Outro ponto levantado pelo IPCC é que as emissões de gases de efeito estufa precisam ser reduzidas drasticamente para limitar o aquecimento global a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, um objetivo estabelecido pelo acordo de Paris de 2015. Isso requer uma transformação global sem precedentes na economia e na sociedade, incluindo a adoção generalizada de fontes de energia renovável, melhoria na eficiência energética, mudanças nos padrões de consumo e produção, e uma mudança para uma economia de baixo carbono (IPCC, 2018).

Além disso, o IPCC observa que as emissões de gases de efeito estufa são responsáveis por muitos dos impactos que estamos vendo atualmente nas mudanças climáticas, incluindo aumento do nível do mar, acidificação dos oceanos, eventos climáticos extremos, perda de biodiversidade e impactos na saúde humana (IPCC, 2018b).

O último relatório do IPCC foi divulgado em agosto de 2021 e trata do "Grupo de Trabalho I: Bases Físicas" do 6º Relatório de Avaliação do IPCC. Esse relatório se concentra nas causas e nos impactos das mudanças climáticas, além de fornecer projeções sobre as mudanças climáticas futuras e suas consequências para a sociedade e o meio ambiente.

Alguns pontos principais do relatório incluem: 1) Aumento da temperatura global: as temperaturas globais aumentaram cerca de 1,1 °C desde o período pré-industrial, e o aquecimento global é irreversível devido à quantidade de gases de efeito estufa já emitidos na atmosfera. 2) Emissões de gases de efeito estufa: as emissões de gases de efeito estufa, principalmente dióxido de carbono, continuam a aumentar e estão causando mudanças climáticas perigosas. A atividade humana é a principal causa dessas emissões. 3) Impactos das mudanças climáticas: as mudanças climáticas estão causando impactos generalizados em todo o mundo, incluindo eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos, aumento do nível do mar, acidificação dos oceanos, perda de gelo marinho e terrestre, perda de biodiversidade e ameaça à segurança alimentar e hídrica. 4) Ação climática: é necessário tomar medidas urgentes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e limitar o aquecimento global a 1,5 °C. As soluções incluem reduzir as emissões de gases de efeito estufa em todos os setores da economia, como energia, transporte, agricultura e indústria, além de investir em tecnologias de energia limpa e na adaptação aos impactos das mudanças climáticas que já são inevitáveis.

Este último relatório enfatiza também a urgência da ação climática e fornece informações importantes para apoiar políticas e ações eficazes para enfrentar as mudanças climáticas e proteger o planeta e suas comunidades. Diante do exposto, conhecer os mecanismos de emissões de gases relacionados às mudanças climáticas e a quantificação desses mecanismos é de fundamental importância para ampliar nossos conhecimentos e aplicabilidade do conhecimento adquirido.

5. METODOLOGIA

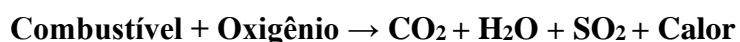
O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Santa Paula do Instituto de Ciências Agrárias (ICA), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no município de Unaí-MG, e encontra-se na latitude 297252.15 mE e longitude 8181845.88 mS (UTM). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical com estação seca de inverno (Aw) (Naiem et al., 2014).

Para a realização deste trabalho, foi realizado um levantamento de dados, junto ao setor responsável no ICA, para obtenção de dados necessários para o cálculo de emissões. Foi levantado dados como: o modelo de gerador utilizado, seu consumo médio,

tipo de combustível, período de utilização, custo médio do combustível e média de gastos com energia elétrica após o encerramento do uso do mesmo.

O gerador utilizado para suprimento da energia elétrica na UFVJM no Campus Unaí-MG, foi o Modelo LGD220, da fabricante Leão Energia, com potência de 220 KVA / 176 KW.

Para o cálculo de emissão de CO₂ e SO₂ (em Kg), utilizou-se da equação de combustão simplificada, pois partiremos do pressuposto que a combustão será completa, onde sua forma geral é a seguinte:



Para o balanceamento da reação, estequiometrias das equações de combustão foram utilizadas como referência, moléculas encontradas no diesel. Com a equação devidamente balanceada, realizou-se a relação entre quantidade de matéria-massa, para proceder aos devidos cálculos estequiométricos com objetivo de achar a massa do CO₂ e SO₂ emitida pelo gerador durante o seu período de funcionamento.

Para o balanceamento e a estequiometria da equação, foram utilizados dois cálculos, utilizando duas moléculas diferentes do combustível, moléculas essas consideradas mais comuns.

Por fim, para avaliar a eficiência energética, foi feita a correlação entre o uso do motogerador o uso de energia elétrica e solar, com o objetivo de obter o método mais eficiente em questões financeiras, por meio da estimativa de gasto no mesmo período, se usado essa fonte energética.

6. RESULTADOS E DISCURSSÃO

Atualmente no Brasil, para uso rodoviário, dentro da classificação do combustível diesel, existe o diesel S10 e o diesel S500 “diesel comum”. A diferença entre eles está no teor máximo de enxofre permitido, onde o S-10 possui 10 mg/kg, e o S-500 possui 500 mg/kg (PETROBRAS, 2021).

O abastecimento era realizado utilizando combustível diesel S500, comercialmente diesel “comum”. O período de funcionamento do gerador foi de 01/08/2019 a 19/03/2021, totalizando 231 dias em funcionamento, como mostrado na tabela 1.

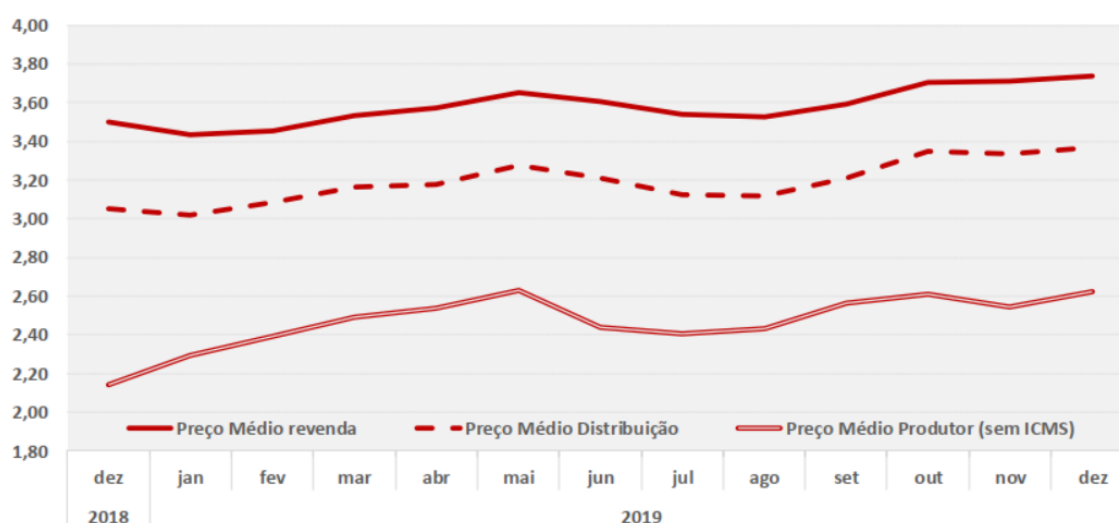
Quanto ao tempo diário de funcionamento, o mesmo iniciava seu funcionamento as 07h00min e finalizava seu uso as 18h00min, portanto, operando durante 11 (onze) horas por dia, durante um período semanal de 5 (cinco) dias, totalizando seu uso por 231 (duzentos e trinta e um) dias e 2541 (dois mil quinhentos e quarenta e um) horas de funcionamento. O gerador possuía um consumo de 20 (vinte) litros de combustível diesel a cada 1 (uma) hora, consumindo diariamente cerca de 220 (duzentos e vinte) litros, portanto, totalizando um consumo final médio de 50.820,00 litros de combustível, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Consumo do motogerador

Consumo	Dias	Horas de funcionamento	Consumo médio hora	Consumo diário	Custos médios mensais
Consumo parcial	231 dias	2541 horas	20 litros/hora	220,00 litros	R\$16.060,00
Consumo total	50.820,00 litros de combustível				R\$185.493,00

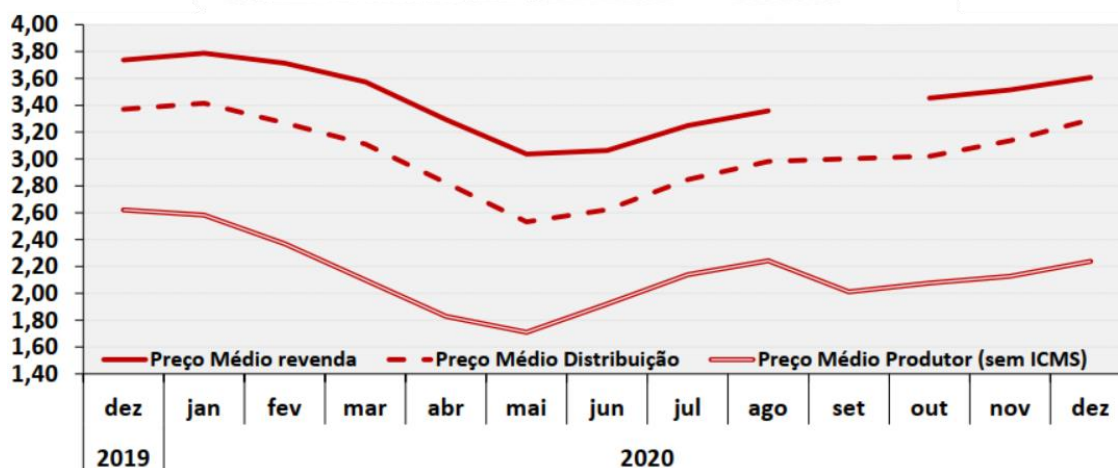
No que se refere aos preços praticados, entre 01/08/2019 e 19/03/2021 o combustível diesel, em parâmetro nacional variou entre R\$3,00 e 4,30 como mostrado nos gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1 – Preços médios mensais do diesel S10 - Brasil (em R\$/litro) - 2018/2019



Fonte: SDR/ANP.

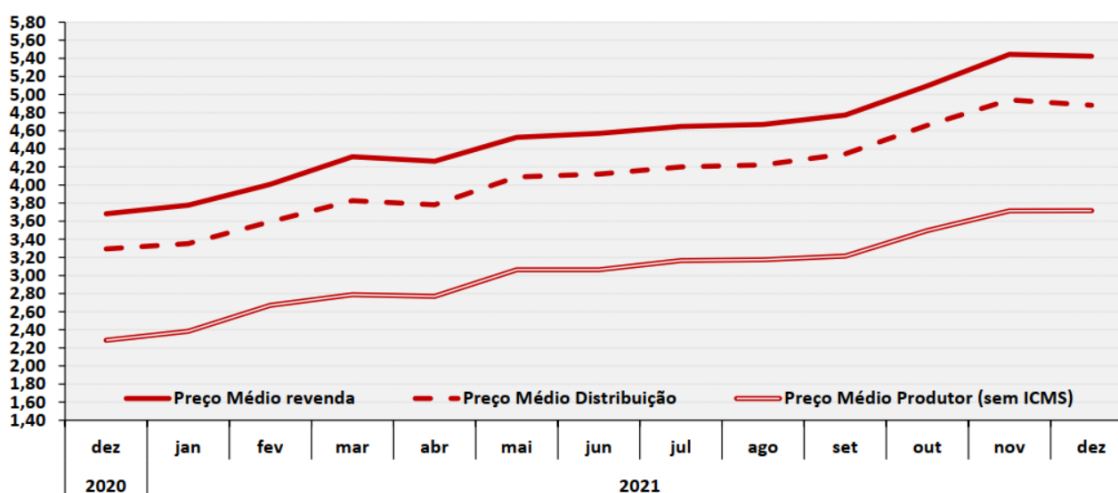
Gráfico 2 – Preços médios mensais do diesel - Brasil (em R\$/litro) – 2019/2020



Fonte: SDR/ANP

Nota: Não houve pesquisa por parte do órgão responsável de preço de revenda em setembro de 2020.

Gráfico 3 – Preços médios mensais do diesel - Brasil (em R\$/litro) – 2020/2021



Fonte: SDR/NA

Como estimativa do custo total utilizando o diesel como fonte de energia, fizemos o levantamento do valor médio cobrado pelo litro do combustível no período. De acordo com este levantamento, o custo médio é de R\$ 3,65 o litro do diesel, tendo um custo médio mensal de R\$14.960,00, totalizado R\$ 172.788,00 (tabela 1) de gasto com combustível no período avaliado.

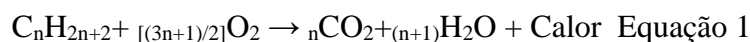
Na constituição química do diesel além dos alcanos, que são compostos formados apenas por átomos de carbono e hidrogênio ligados por ligações simples, o diesel também pode conter pequenas quantidades de compostos aromáticos, compostos

de enxofre e outros aditivos para melhorar suas propriedades de combustão e desempenho (PETROBRAS, 2021). O diesel é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, e não uma molécula específica, produzido principalmente a partir do petróleo bruto por meio de processos de refino, processo semelhante a uma destilação fracionada. A composição exata do diesel pode variar dependendo de vários fatores, como a fonte do petróleo bruto e os processos de refino utilizados (PETROBRAS, 2021). Devido a essa complexidade na composição do diesel, partiremos da prerrogativa de que sua constituição será pura, ou seja, uma substância simples. Com isso, os cálculos estequiométricos serão simplificados.

Os alcanos mais comuns encontrados no diesel são o octano (C_8H_{18}) e o cetano ($C_{16}H_{34}$), composto principalmente por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos, respectivamente, que são usados como padrões de referência para a qualidade do diesel. A densidade pode variar de 0,820 – 0,865g a 20°C (Método NBR-7148) (PETROBRAS, 2021).

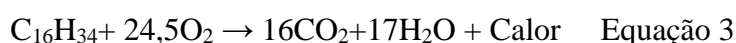
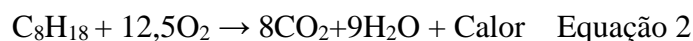
Logo, para o cálculo de emissões, neste trabalho, adotou-se o diesel como um combustível puro, constituído por suas moléculas mais encontradas, C_8H_{18} e $C_{16}H_{34}$. Para a determinação da massa do diesel, adotou-se também, para a densidade do diesel um valor médio de 0,842 gramas (PETROBRAS, 2021).

Para chegar na estequiometria da equação de combustão utilizamos a seguinte equação geral:



Onde n é igual à quantidade de carbonos encontrado na molécula escolhida.

Fazendo uso das fórmulas moleculares para os alcanos encontrado no diesel, C_8H_{18} e $C_{16}H_{34}$, após a substituição da fórmula, obtivemos os seguintes resultados nas equações 2 e 3, respectivamente:



Para chegar na estequiometria da equação de combustão do SO_2 utilizamos a seguinte equação geral:



Através das equações 2, 3 e 4 obtidas, realizou-se a correlação entre quantidade de matéria (mol) e massa, utilizando o cálculo de razão e proporção (regra de três), para a determinação da massa emitida, tanto quando usado o octano quanto para cetano, como resultado na tabela 2 (Cálculos, anexo I).

Tabela 2 – Quantidade de CO₂ e SO₂ emitido durante todo funcionamento do motogerador

Molécula	Coefficiente estequiométrico	Nº de Mols	Quantidade CO ₂ em g	Quantidade CO ₂ em kg	Quantidade CO ₂ em t	Quantidade SO ₂ em kg	Quantidade SO ₂ em t
C ₈ H ₁₈	1	375,4	132.140,8	132,14	0,13214		
C ₁₆ H ₃₄	1	189,34	133.295,36	133,29	0,13329		
SO ₂	1					42,7904	0,0427
CO ₂	8	3.003,2					
	16	3.029,44					

Fonte: Autora do trabalho.

Podemos perceber então, de acordo com os dados mostrado na tabela 1, que durante todo funcionamento do gerador no Instituto de Ciências Agrárias, o mesmo gerou um valor médio de 0,1327 toneladas de CO₂. A quantidade de CO₂ emitida pode parecer uma quantidade pequena, mas na prática corresponde a 11,64% da quantidade de gases emitidos por um automóvel da cidade de São Paulo por um ano, levando em consideração que a frota no ano de 2022, consistia em cerca de 10,5 milhões de automóveis e cerca 15 milhões de veículos no total, com frota automotiva emitindo cerca de 12,00 milhões de toneladas de CO₂. Em relação a emissão de dióxido de enxofre, o gerador foi responsável pela emissão de 0,017% de SO₂ em relação a frota total veicular da mesma cidade durante o ano de 2022, levando em consideração que a frota citada foi responsável pela emissão de 2,0x10³ toneladas de SO₂ (CETESB, 2022).

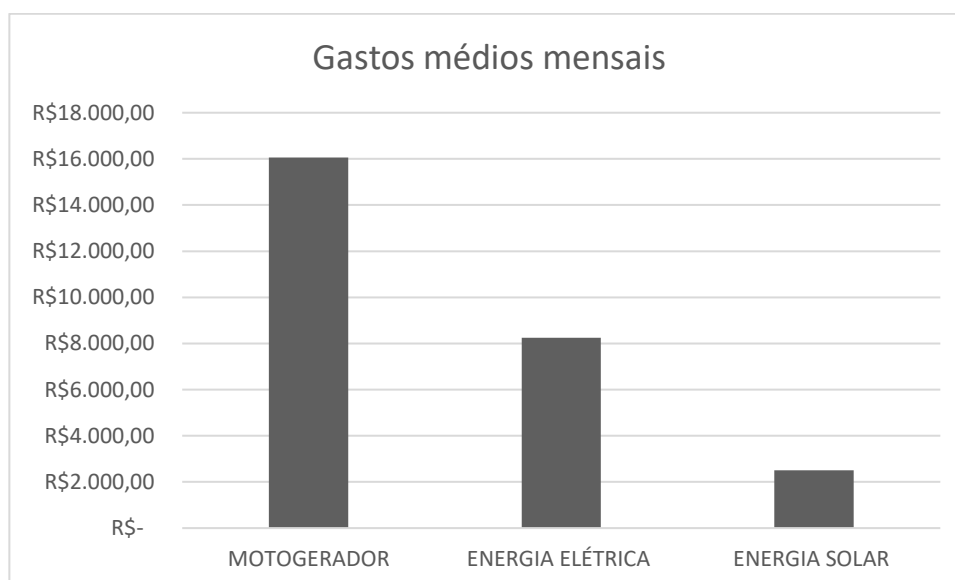
Para um caso isolado, houve uma produção significativa de poluentes atmosféricos, quem podem ser prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (LOPATIN, 2020), contribuindo de forma significativa para o aquecimento global e nas mais recentes mudanças climáticas.

Além do prejuízo ambiental e a saúde humana, o uso de motores de ciclo diesel traz também prejuízos financeiros. Segundos dados obtidos, descritos na tabela 1, durante o período de funcionamento do gerador, o valor do combustível diesel esteve em uma

média de R\$3,65, enquanto, segundo os dados obtidos referente a UFVJM-Campus Unai, após o encerramento das atividades do gerador no Campus, e a instalação de energia elétrica, a faculdade possui um consumo médio de 9583 kW e gasto médio mensal de R\$8.500,00 em meses com maiores gasto de energia, conforme tabela em anexo. Portanto, torna-se o uso do gerador uma prática inviável em ambos os aspectos.

Caso o *campus* já estivesse uma instalação elétrica apropriada desde a sua instalação, ou seja, no mesmo período do uso do gerador, como um valor médio de energia a R\$ 8.241,38, o custo total de energia seria de R\$ 164.827,6. Comparando as duas fontes de energia, como mostrado no gráfico 1, podemos avaliar que seria uma economia de R\$20.665,4, quando usado a rede elétrica.

Gráfico 4 – Gastos com diferentes fontes de energia do ICA/UFVJM



Fonte: Autora do trabalho.

Ainda correlacionando a viabilidade financeira e ambiental do uso do motogerador, atualmente o ICA-UFVJM possui instalações de painéis fotovoltaicos e faz uso da energia solar. Energia renovável e limpa, a energia solar é uma fonte de energia renovável e sustentável, pois aproveita a radiação solar para gerar eletricidade, sem emitir gases de efeito estufa ou poluentes atmosféricos durante a geração (CABRAL, VIEIRA, 2012). Portanto, de acordo com a tabela de gastos com energia elétrica em anexo, a energia solar média gerada no Instituto é de 7166 kW mês, devido a isso, traz uma

economia mensal em torno de R\$6.162,76, então os gastos mensais atuais com energia elétrica variam entre R\$2.000,00 a R\$3.000,00, demonstrando uma diferença significativa em relação ao uso do motogerador, em questões financeiras como mostrado no gráfico 1, e logicamente quanto a questões ambientais.

É importante ressaltar que a viabilidade econômica e ambiental da energia solar pode variar de acordo com fatores como localização geográfica, custos iniciais de instalação, disponibilidade de incentivos governamentais e políticas energéticas específicas de cada país ou região. No entanto, no geral, a energia solar tem se mostrado cada vez mais atrativa tanto do ponto de vista econômico quanto do ambiental.

Para minimizar a agressividade da emissão, poderiam ter sido adotadas algumas práticas para o aumento do sequestro de carbono, como plantio de árvores, pois se estima que as árvores do Cerrado possam armazenar cerca de 6,42 toneladas de carbono por hectare ao ano (CARVALHO, 2010), portanto, cerca de 0,02 hectares de plantio de novas árvores do Cerrado seriam capazes de minimizar o impacto gerado pelo motogerador.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que para este trabalho objetivamos somente as emissões de CO₂, podendo haver um cenário ainda pior em questões ambientais, quando se leva em consideração as demais substâncias que poderiam ser emitidas durante a combustão do diesel, como dióxido de enxofre (SO₂) e partículas de matéria particulada (PM). Outro fator que traria mudanças para este cenário é a mudança de eficiência do motogerador, a eficiência de um motor se refere à capacidade do mesmo de converter energia de entrada em trabalho útil de saída, com o mínimo de perdas. É uma medida importante, pois motores mais eficientes consomem menos energia para realizar uma determinada tarefa, resultando em menor consumo de combustível ou eletricidade, o modelo utilizado, trabalha com eficiência média de 41,5% (ZORZETTO, 2015), portanto, caso o mesmo trabalhasse com eficiência de 100%, haveria uma mudança nos resultados e uma melhora no cenário econômico e ambiental.

Espera-se também com este trabalho, trazer uma maior conscientização do uso, quando possível, de energia de fontes renováveis. Mesmo em pequena escala, mas com os dados apresentados, podemos perceber que os níveis de emissão de gases, como CO₂, são consideráveis.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, André Luíz; MOTTA, Yohannes Benincá; ZANCANELLA, Antônio Carlos Barbosa. Geradores elétricos monofásicos e trifásicos como suporte didático para o ensino de Eletromagnetismo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 879-908, 2020.

ARAUJO, Julia Manfredini; ROSÁRIO, Nilton Manuel Évora. Poluição atmosférica associada ao material particulado no estado de São Paulo: análise baseada em dados de satélite. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 55, n. 1, p. 32-47, 2020.

BIZERRA, Ayla Márcia Cordeiro; DE QUEIROZ, Jorge Leandro Aquino; COUTINHO, Demétrios Araújo Magalhães. O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: as concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 13, n. 3, p. 299-315, 2018.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna-Vol. 1**. Editora Blucher, 2018.

COLLE, Daniel et al. Avaliação de desempenho energético de um gerador elétrico operando no modo dual, utilizando biogás e blendas de biodiesel de óleo residual de fritura. 2018.

FIGUEIREDO, Robson Lage. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento aplicado a um motogerador a diesel com injeção de gás de eletrólise visando redução de consumo de combustível. 2018.

Gomes, Laís Mayumi Emissão de óxido nitroso em sistemas intensificados de produção a pasto com adubação nitrogenada. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/236700>>.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. The corporate accounting and reporting standard. 3rd edition. 2011. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Standard_Third-Edition.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change and land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Geneva: IPCC, 2018b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: IPCC, 2018a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

JUNGES, Alexandre Luis et al. O “Efeito Estufa” na Sala de Aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 849-864, 2020.

JUNIOR, Valmor Ricardi. Acionamento de geradores síncronos a ímãs permanentes com bobinas abertas em sistemas de conversão de energia eólica. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/RAOA-BC6FSC>

LEACHI, Helenize Ferreira Lima et al. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos e desenvolvimento de doenças respiratórias e cardiovasculares em trabalhadores. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 73, 2020.

LOPATIN, O. P. Integrated diesel engine toxicity reduction system. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 012199.

MELO, Gabriel Antônio Martins Pereira de. Estudo e desenvolvimento da estratégia de controle de um gerador elétrico acionado por motor a pistão livre. 2020. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.608>

MIYAMOTO, Renato Kazuo et al. **Conexão à rede elétrica de um gerador de indução com rotor em gaiola de esquilo acoplado a um volante inercial**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MORAES, Tiago Evaristo. Mudança climática: analisando os riscos e as oportunidades da atividade humana. 2019. [30] f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Relações Internacionais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

NUNES, Mateus Dias; MARIANO, Glauber Lopes; CHAGAS MARIANO, Ericka Voss. Extremos na Concentração de Dióxido de Enxofre na Camada Limite Planetária no Sul da América do Sul-Comparação Entre Megacidades. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 2, 2015.

PANTOJA, Glauco Cohen. Campos Conceituais e Indução Eletromagnética: Classificação de Problemas em Eletrodinâmica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e24370-33, 2021.

PETROCINO, Eduardo Abuhamad. Interação eletromagnética entre bobina fixa e ímã permanente fixado em viga engastada excitada por fonte não-ideal de energia. Tese Doutorado - Universidade Estadual Paulista, 2022.

PINZÓN, Andrés Mauricio Oviedo. Otimização da potência unitária dos geradores de energia numa microrrede elétrica com geração híbrida fóssil/renovável. Universidade Federal de Itajubá, 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. PNUMA Brasil. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/pnuma-brasil>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

SILVA, Humbervânia Reis Gonçalves; QUINTELLA, Cristina M. Estudo Prospectivo das Tecnologias Utilizadas para Redução das Emissões de Poluentes Causadas pelos Veículos a Diesel. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 4, p. 1186-1200, 2021.

SPÍNOLA, Eduardo João Nóbrega. **Controle eletrônico de um motor de combustão interna para regular um gerador elétrico**. 2017. Tese de Doutorado.

TOZZI, Fernanda Ribeiro Oliveira; GHINI, Raquel. Impacto do aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono sobre a ferrugem e o crescimento do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 933-941, 2016.

WEI, Lijiang; GENG, Peng. A review on natural gas/diesel dual fuel combustion, emissions and performance. **FuelProcessing Technology**, v. 142, p. 264-278, 2016.

CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. In: **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2012.

CARVALHO, João Luis Nunes et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-290, 2010.

SÍNTESE MENSAL DE COMERCIALIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Superintendência de Defesa da Concorrência, Estudos e Regulação Econômica (SDR), 2019.

SÍNTESE MENSAL DE COMERCIALIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Superintendência de Defesa da Concorrência, Estudos e Regulação Econômica (SDR), 2020.

SÍNTESE MENSAL DE COMERCIALIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Superintendência de Defesa da Concorrência, Estudos e Regulação Econômica (SDR), 2021.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2021**. São Paulo, 2022.

ZORZETTO, Ricardo. Premissas de eficiência energética no dimensionamento elétrico de um motor gerador a diesel. 2015.

BALANCE, BRAZILIAN ENERGY. **Balanco energético nacional**. 2022.

PETROBRAS. **Manual do diesel (versão março/2021)**. 2021.

ANEXO I – CÁLCULO

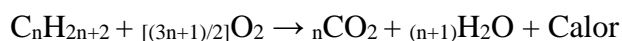
Para o cálculo de emissões, neste trabalho, adotou-se o diesel como um combustível puro e suas moléculas mais encontradas (PETROBRAS, 2021):

- C_8H_{18}
- $C_{16}H_{34}$

Adotou-se também, para a densidade do diesel um valor médio de:

- 0,842

Para estequiometria da equação de combustão utilizamos a seguinte fórmula:



Onde n é igual à quantidade de carbonos encontrado na molécula escolhida.

Após a substituição da fórmula, obtivemos os seguintes resultados:



Para chegar na estequiometria da equação de combustão do SO_2 utilizamos a seguinte equação geral:



Através destas equações obtidas realizou-se a correlação entre a massa – mol, utilizando o cálculo de razão e proporção (regra de três), utilizando os dados referentes à densidade do diesel (massa) e de sua molécula (mol).

Para equação $C_8H_{18} + 12,5O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O + \text{Calor}$:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol } C_8H_{18} \text{_____} 114\text{g} \\ X \text{_____} 42790,44\text{g} \end{array}$$

Onde se obteve de X um valor de 375,4 mols de C_8H_{18} , correspondente ao valor em mols referente a molécula de combustível.

Para descobrir o valor de 1 mol de C_8H_{18} realizou a multiplicação da quantidade de cada elemento contida na molécula pelo valor de suas massas contidas na tabela periódica:

$$1 \text{ mol C} = 12\text{g} \times 8 = 96\text{g}$$

$$1 \text{ mol H} = 1\text{g} \times 18 = 18\text{g}$$

$$\text{Portanto } 1 \text{ mol C}_8\text{H}_{18} = 114\text{g}$$

Para o cálculo de massa utilizou-se a fórmula da densidade, considerando para a densidade o valor de 0,842g e para o volume o valor de 50.820,00 litros, quantidade consumida pelo gerador:

$$d = m/v$$

Substituindo na fórmula temos para a massa um valor de 42.790,00 gramas.

Logo após, utilizando-se ainda do cálculo de razão proporção, realizou-se a correlação mol para mol, utilizando os dados referente a quantidades mol's existentes em uma molécula de diesel (cálculo anterior) e a quantidade de carbonos adquiridas na estequiometria.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ C}_8\text{H}_{18} \text{_____} 8\text{CO}_2 \\ 375,4 \text{_____} Y \end{array}$$

Onde se obteve de Y um valor de 3.003,2 mol's, correspondente a quantidade de mol's de CO₂ gerados na combustão do diesel.

Por fim, empregando o mesmo cálculo, efetuou-se a correlação mol para massa, utilizando os dados referente ao valor da massa de uma molécula de CO₂ e a quantidade de mol's obtida para a molécula do diesel (cálculo anterior).

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol CO}_2 \text{_____} 44\text{g} \\ 3.003,2 \text{_____} Z \end{array}$$

Onde se obteve de Z um valor de 132.140,8g, correspondente a quantidade de CO₂ em quilogramas emitidos pelo motogerador durante todo seu período de funcionamento, equivalente a 132,14 quilogramas e 0,13214 toneladas.

Para descobrir o valor de 1 mol de CO₂ realizou a multiplicação da quantidade de cada elemento contida na molécula pelo valor de suas massas contidas na tabela periódica:

$$1 \text{ mol C} = 12\text{g} \times 1 = 12\text{g}$$

$$1 \text{ mol O} = 2\text{g} \times 16 = 32\text{g}$$

$$\text{Portanto } 1 \text{ mol CO}_2 = 44\text{g}$$

Para equação $\text{C}_{16}\text{H}_{34} + 24,5\text{O}_2 \rightarrow 16\text{CO}_2 + 17\text{H}_2\text{O} + \text{Calor}$:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol C}_{16}\text{H}_{34} \text{_____} 226\text{g} \\ X \text{_____} 42790,44\text{g} \end{array}$$

Onde se obteve de X um valor de 189,34 mols de $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$, correspondente ao valor em mols referente a molécula de combustível.

Para descobrir o valor de 1 mol de $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ realizou a multiplicação da quantidade de cada elemento contida na molécula pelo valor de suas massas contidas na tabela periódica:

$$1 \text{ mol C} = 12\text{g} \times 16 = 192\text{g}$$

$$1 \text{ mol H} = 1\text{g} \times 34 = 34\text{g}$$

$$\text{Portanto } 1 \text{ mol C}_{16}\text{H}_{34} = 226\text{g}$$

Para o cálculo de massa utilizou-se a fórmula da densidade, considerando para a densidade o valor de 0,842g e para o volume o valor de 50.820,00 litros, quantidade consumida pelo gerador:

$$d = m/v$$

Substituindo na fórmula temos para a massa um valor de 42.790,00 gramas.

Logo após, utilizando-se ainda do cálculo de razão proporção, realizou-se a correlação mol para mol, utilizando os dados referente a quantidades mol's existentes em uma molécula de diesel (cálculo anterior) e a quantidade de carbonos adquiridas na estequiometria.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ C}_{16}\text{H}_{34} \text{_____} 16\text{CO}_2 \\ 189,34 \text{_____} Y \end{array}$$

Onde se obteve de Y um valor de 3.029,44 mol's, correspondente a quantidade de mol's de CO_2 gerados na combustão do diesel.

Por fim, empregando o mesmo cálculo, efetuou-se a correlação mol para massa, utilizando os dados referente ao valor da massa de uma molécula de CO₂ e a quantidade de mol's obtida para a molécula do diesel (cálculo anterior).

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol CO}_2 \text{_____} 44\text{g} \\ 3.029,44 \text{_____} Z \end{array}$$

Onde se obteve de Z um valor de 133.295,36g, correspondente a quantidade de CO₂ em quilogramas emitidos pelo motogerador durante todo seu período de funcionamento, equivalente a 133,29 quilogramas e 0,13329 toneladas.

Para descobrir o valor de 1 mol de CO₂ realizou a multiplicação da quantidade de cada elemento contida na molécula pelo valor de suas massas contidas na tabela periódica:

$$1 \text{ mol C} = 12\text{g} \times 1 = 12\text{g}$$

$$1 \text{ mol O} = 2\text{g} \times 16 = 32\text{g}$$

$$\text{Portanto } 1 \text{ mol CO}_2 = 44\text{g}$$

Para equação S + O₂ → SO₂ + Calor:

Para este cálculo considerou-se a combustão completa do diesel S500, que segundo PETROBRAS (2021), possui um produto máximo de 500 mg/kg de enxofre total. Levando em consideração que o gerador utilizou cerca de 50.820,00 litros de diesel a uma densidade média de 0,842g, portanto houve o consumo de 21395,2 gramas de combustível.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol S} \text{_____} 32\text{g} \\ X \text{_____} 21395,2\text{g} \end{array}$$

Onde se obteve de X um valor de 668,6 mols de S, correspondente ao valor em mols referente a uma molécula de combustível.

Para descobrir o valor de 1 mol de S realizou a multiplicação da quantidade de cada elemento contida na molécula pelo valor de suas massas contidas na tabela periódica:

$$1 \text{ mol S} = 32\text{g} \times 1 = 32\text{g}$$

Para o cálculo de massa considerou-se a combustão completa do diesel S500, que segundo PETROBRAS (2021), possui um produto máximo de 500 mg/kg de enxofre total. Levando em consideração que o gerador utilizou cerca de 50.820,00 litros de diesel a uma densidade média de 0,842g, portanto houve o consumo de 21395,2 gramas de combustível.

Logo após, utilizando-se ainda do cálculo de razão proporção, realizou-se a correlação mol para mol, utilizando os dados referente a quantidades mol's existentes em uma molécula de diesel (cálculo anterior) e a quantidade de carbonos adquiridas na estequiometria.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol de S} \underline{\hspace{2cm}} \text{SO}_2 \\ 668,6 \underline{\hspace{2cm}} \text{Y} \end{array}$$

Onde se obteve de Y um valor de 668,6, correspondente a quantidade de mols de SO₂ gerados na combustão do diesel.

Por fim, empregando o mesmo cálculo, efetuou-se a correlação mol para massa, utilizando os dados referente ao valor da massa de uma molécula de SO₂ e a quantidade de mol's obtida para a molécula do diesel (cálculo anterior).

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol SO}_2 \underline{\hspace{2cm}} 64\text{g} \\ 668,6 \underline{\hspace{2cm}} \text{Z} \end{array}$$

Onde se obteve de Z um valor de 42.790,4g, correspondente a quantidade de SO₂ em quilogramas emitidos pelo motogerador durante todo seu período de funcionamento, equivalente a 42,7904 quilogramas e 0,0427 toneladas.

Para descobrir o valor de 1 mol de SO₂ realizou a multiplicação da quantidade de cada elemento contida na molécula pelo valor de suas massas contidas na tabela periódica:

$$1 \text{ mol S} = 32\text{g} \times 1 = 32\text{g}$$

$$1 \text{ mol O} = 16\text{g} \times 2 = 32\text{g}$$

$$\text{Portanto } 1 \text{ mol SO}_2 = 64\text{g}$$

ANEXO II – TABELA DE GASTOS ENERGÉTICOS E FINANCEIROS

Consumo de energia elétrica e solar do ICA/UFVJM-Campus Unai						
Mês/ano	Demanda (kW)		Energia (kWh)		Total kW	Média de valor kW
	HP	HFP	HP	HFP		
						0,86
mai/21	14	18	700	4900	5632	4843,52
jun/21	18	28	700	6300	7046	6059,56
jul/21	21	25	700	6300	7046	6059,56
ago/21	18	28	1050	7350	8446	7263,56
set/21	32	39	700	7700	8471	7285,06
out/21	35	49	700	8750	9534	8199,24
nov/21	28	42	350	7700	8120	6983,2
dez/21	25	42	700	7000	7767	6679,62
jan/22	28	42	700	7700	8470	7284,2
fev/22	35	46	700	9100	9881	8497,66
mar/22	35	46	1050	9800	10931	9400,66
abr/22	56	74	1050	11200	12380	10646,8
mai/22	56	77	1400	14000	15533	13358,38
jun/22	46	60	1050	15000	16156	13894,16
jul/22	46	60	1750	14000	15856	13636,16
ago/22	56	70	1750	15050	16926	14556,36
set/22	35	53	1050	9450	10588	9105,68
out/22	60	74	1750	14350	16234	13961,24
nov/22	49	74	1400	10850	12373	10640,78
dez/22	49	63	700	8050	8862	7621,32
jan/23	60	77	1400	10500	12037	10351,82
fev/23	33	47	1059	8444	9583	8241,38
mar/23	43	54	718	4664	5479	4711,94
abr/23	57	69	1435	7175	8736	7512,96
mai/23	62	65	2153	7534	9814	8440,04
				Média	9583	8241,38
				Meses de funcionamento		20
				Total de gastos energia elétrica Kw e R\$	191660	R\$ 164.827,60
				Energia solar		
				Geração média/mês		7166 kW
				Economia R\$/mês	R\$	6.162,76

Fonte: Autora do trabalho com base no histórico de contas de energia do ICA-UFVJM.