

LEONARDO DA SILVA REIS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DESEMPENHO DE MOTOR GERADOR  
OPERANDO COM BLENDDAS DE DIESEL/ ÓLEO DE CRAMBE**

CASCVEL  
PARANÁ – BRASIL  
AGOSTO – 2022

LEONARDO DA SILVA REIS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DESEMPENHO DE MOTOR GERADOR  
OPERANDO COM BLENAS DE DIESEL/ ÓLEO DE CRAMBE**

Projeto de Pesquisa apresentado à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Coorientador (a): Dr<sup>a</sup>. Maritane Prior.

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
AGOSTO – 2022

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Reis, Leonardo da Silva  
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DESEMPENHO DE MOTOR  
GERADOR OPERANDO COM BLENDS DE DIESEL/ ÓLEO DE CRAMBE /  
Leonardo da Silva Reis; orientador Dr. Reginaldo Ferreira  
Santos; coorientadora Maritane Prior. -- Cascavel, 2022.  
96 p.

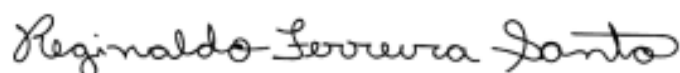
Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências  
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Energia na Agricultura, 2022.

1. Biodiesel. 2. Biodegradável. 3. Energias Renováveis.  
4. Transesterificação. I. Santos, Dr. Reginaldo Ferreira ,  
orient. II. Prior, Maritane, coorient. III. Título.

## LEONARDO DA SILVA REIS

Caracterização físico-química e desempenho de motor gerador operando com  
blendas de diesel/óleo de Crambe

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:



Orientador - Reginaldo Ferreira Santos  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Silvia Renata Machado Coelho  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Thiago Guerra  
Centro Universitário União Educacional de Cascavel (UNIVEL)

Cascavel, 29 de agosto de 2022

*“Elevo os olhos para os montes: de onde me virá o socorro? O meu socorro vem do Senhor, que fez o céu e a terra.”*

*(Salmos 121:1 e 2)*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar forças em todas as dificuldades, erguendo - me quando estava caído, e me proporcionando alegria para que esta caminhada se tornasse possível. Agradeço a Ele por ter me dado esta oportunidade, e por ter colocado em meu caminho pessoas que contribuíram para a minha formação, consolidando inclusive este trabalho, formando amizades e permitindo que o conhecimento fosse adquirido durante esse Mestrado.

Aos meus pais Leonildo do Carmo dos Reis e Mari Theresinha da Silva Reis que nunca conseguirei retribuir, pois se fizeram presentes para que o sonho da Pós- Graduação se tornasse real e alcançável, sem vocês eu não teria forças suficientes para completar essa missão.

Aos meus irmãos Leandro da Silva Reis e Liliane Reis Barbosa, os melhores e mais pacientes conselheiros. Tornaram-se os maiores exemplos de amor, carinho e determinação. Obrigado por fazerem de mim o que sou hoje. Obrigado por me ampararem em frente às dificuldades.

Aos amigos Cristiano Fernando Lewandoski, Eliane Vieira dos Santos, Evelyn Tânia Carniato Silva, Felipe Luiz de Lemos Nobre, Félix Augusto Pazuch, Hamom Ventura Rodrigues, Isabella Ribas Pereira, João Gabriel Ruppenthal e Vander Fábio Silveira que caminharam comigo nesta jornada, espero profissionalmente poder contar com cada um de vocês, e que a amizade permaneça para sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos, por acreditar em mim e me mostrar o caminho da ciência, da pesquisa e da perseverança.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, aos Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira e Prof. Dra. Maritane Prior, por serem exemplos de profissionais, pelos ensinamentos, amizade e coorientação.

À assistente da coordenação Vanderléia pelo incentivo e apoio.

Ao Centro de Desenvolvimento e Difusão Tecnológico em Energias Renováveis – CDTER e ao Laboratório de Tecnologias Renováveis - LABTES pelo apoio concedido durante as atividades de pesquisa.

À CAPES/ CNPQ e FUNDETEC pelo apoio financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

Muito obrigado.

## LISTA DE SÍMBOLOS

A: Ampere  
AC: Corrente Alternada  
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica  
ANP: Agência Nacional de Petróleo  
AVR: Regulador automático de tensão  
BLENDA: Mistura de biodiesel e diesel  
EE: Eficiência Energética  
E/S: Entrada e saída  
CC: Corrente Contínua  
CE: Consumo Específico  
CH<sub>3</sub>OH: Álcool metílico  
CH<sub>4</sub>: Metano  
CLP: Controlador lógico programável  
CO: Monóxido de carbono  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono  
DC: Corrente contínua  
EPE: Empresa de Pesquisa Energética  
g.kWh<sup>-1</sup>: Grama por Quilo watt hora  
g: Grama  
GD: Geração Distribuída  
GEE: Gases de Efeito Estufa  
IHM: Interface homem-máquina  
HC: Hidrocarbonetos  
PM: Material particulado  
LCA: Análise do ciclo de vida  
Kg: Quilograma  
kJ.kg<sup>-1</sup>: Quilojoule por quilograma  
kJ: Quilojoule  
kW: Quilowatt  
kVA: Quilovolt ampere  
kWh: Quilowatt hora



NO: Monóxido de nitrogênio

NO<sub>2</sub>: Dióxido de nitrogênio

NO<sub>x</sub>: Óxido nitroso

NaOH: Hidróxido de sódio

NC: Número de cetano

KOH: Hidróxido de potássio

O<sub>2</sub>: Oxigênio

OCDE: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

P.A: Para análise (utilizado em produtos químicos)

rpm: Rotações por minuto

RTU: Unidade terminal remota

tep: Tonelada equivalente de petróleo

V: Volt

V<sub>cc</sub>: Volt em corrente contínua

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição química de óleos vegetais quanto a sua composição carboxílica. ....	5
Tabela 2: Porcentagem de ácidos graxos de dendê, soja, crambe e girassol.....	6
Tabela 3: Perfil de composição de ácidos graxos em crambe .....	6
Tabela 4. Teor de óleo dos grãos e rendimento médio dos óleos.....	11
Tabela 5. Características dos óleos vegetais comparadas com o diesel e o biodiesel . .....	11
Tabela 6. Propriedades físico-químicas utilizadas como padrão de qualidade de combustível .....	17
Tabela 7. Principais vantagens e desvantagens do biodiesel em comparação com diesel de petróleo. ....	18
Tabela 8. Evolução prevista de mistura de biodiesel.....	19
Tabela 9. Principais emissões do biodiesel.....	22
Tabela 10. Especificações do motor .....	29
Tabela 11. Características do Gerador.....	30
Tabela 12. Características técnicas do medidor multifuncional.....	32
Tabela 13. Acionamento das cargas resistivas .....	34
Tabela 14. Especificações técnicas da célula de carga SV50 .....	35
Tabela 15. Especificações dos valores medidos pelo analisador ELD Infralite .....	36
Tabela 16. Combustíveis utilizados no experimento. ....	37
Tabela 17. Análise físico-química dos combustíveis .....	45
Tabela 18. Resultados da Análise Físico-Química do Óleo, Blendas e Diesel .....	47
Tabela 19. Resultados de Consumo Energético, Blendas e Diesel .....	51

Tabela 20. Amostra dos Dados de CO <sub>2</sub> .....	52
Tabela 21. Teste de Normalidade CO <sub>2</sub> .....	53
Tabela 22. Amostra dos Dados de NO <sub>2</sub> .....	59
Tabela 23. Teste de Normalidade de NO <sub>2</sub> .....	59
Tabela 24. Amostra dos Dados de CO.....	64
Tabela 25. Teste de Normalidade de CO .....	64

## Lista de Figuras

Figura 1: Cultura do crambe no florescimento. (A) primavera, (B) verão. ....	8
Figura 3: Prensa Hidráulica. ....	13
Figura 4: Método e o Equipamento de Extração por Solvente. ....	14
Figura 5: Equipamento de Extração por Fluido Supercrítico. ....	15
Figura 6: Equipamentos Utilizados. ....	28
Figura 7: Conjunto Motor Gerador. ....	28
Figura 8. Curva torque, potência, consumo específico de combustível do motor. ....	30
Figura 9: Medidor multifuncional de parâmetros elétricos DPM-C520. ....	31
Figura 10: TC – Transformador de corrente 50/5. ....	32
Figura 12: Indicador de pesagem digital e célula de carga. ....	35
Figura 14: Sonda do analisador inserido no escapamento do motor. ....	39
Figura 15: Prensa extrusora de óleo. ....	40
Figura 16. Processo de mistura de óleo de crambe e álcool metílico (A), Figura 17. Separação da glicerina do Biodiesel de crambe (B), Figura 18. Processo de lavagem de biodiesel de crambe (C), Figura 19. Separação da lavagem do biodiesel (D), Figura 20. Secagem do biodiesel da estufa (E).....	42
Figura 21: Blendas de Biodiesel de crambe. ....	45
Figura 22: Consumo Energético em Potência de 0,5 kW . ....	48
Figura 23: Consumo Energético em Potência de 1,5 kW. ....	49
Figura 24: Consumo Energético em Potência de 4,5 kW. ....	49
Figura 25: Consumo Energético em Potência de 6,0 kW. ....	50
Figura 26. Amostra dos Dados de NO <sub>2</sub> . ....	58

Figura 27. Amostra dos Dados de CO .....63

REIS, Leonardo da Silva. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho, 2022.

**Caracterização físico-química e desempenho de motor gerador operando com blendas de diesel/ óleo de crambe.** Orientador: Reginaldo Ferreira Santos.

Coorientador(a): Maritane Prior.

## RESUMO

O uso contínuo dos derivados de petróleo aparece como um dos grandes agentes poluidores do meio ambiente. O aumento exponencial da população e os avanços tecnológicos demandam, cada vez mais, fontes de energia renováveis. O biodiesel, do ponto de vista ambiental, é um produto biodegradável, não tóxico, de carbono neutro e utilizado mundialmente. Assim, o presente trabalho visou aperfeiçoar o processo de prensagem mecânica contínua em prensa mecânica, sendo avaliado o efeito das variáveis independentes de temperatura de extração e o teor de umidade adicionado aos grãos de crambe no rendimento de extração de óleo bruto. O delineamento inteiramente casualizado (DIC) será realizado com três repetições, sendo assim, cada extração mecânica do óleo foi dividida em quatro teores de umidade relativos de água adicionada as amostras as faixas de temperatura para a extração de óleo e torta de crambe. Será avaliado o óleo de crambe através de viscosidade, massa específica e ponto de fulgor. Será avaliada também a qualidade de misturas de biodiesel de crambe com óleo diesel, em diferentes proporções, através dos parâmetros físico-químicos, desempenho em motor-gerador, juntamente à análise de emissões geradas no processo. Os ensaios ocorreram sob um delineamento inteiramente casualizado, com quatro demandas de cargas elétricas resistivas de potências 500W, 1500W, 4500W e 6000W e oito concentrações de combustíveis B0 como testemunha B5, B10, B15, B20, B50, B70 e B90. O biodiesel foi produzido através da transesterificação do óleo. As propriedades físico-químicas das blendas foram analisadas em laboratório especializado. Conforme resultados, a viscosidade, a massa específica e o ponto de fulgor aumentaram com acréscimo de biodiesel e, ao diesel, teve redução de CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO. Pode-se afirmar que a blenda B20 teve um melhor resultado do óleo de Biodiesel em comparação com as outras blendas, a pesquisa mostrou que a queima do B20 mostrou-se mais eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energias renováveis, transesterificação, biodegradável.

REIS, Leonardo da Silva. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, July, 2022.  
**Physico-Chemical Characterization and Development of Generator Engine Operating with Blends of Diesel/Crambe Oil.** Supervisor: Reginaldo Ferreira Santos. Co-Supervisor: Maritane Prior.

### **ABSTRACT**

The continuous use of petroleum derivatives appears as one of the great polluting agents of the environment. The exponential increase in population and technological advances increasingly demand renewable energy sources. Biodiesel, from an environmental point of view, is a biodegradable, non-toxic, carbon neutral product used worldwide. Thus, the present work aimed to improve the continuous mechanical pressing process in a mechanical press, evaluating the effect of the independent variables of extraction temperature and the moisture content added to the crambe grains on the crude oil extraction yield. The completely randomized design (DIC) will be carried out with three replications, thus, each mechanical extraction of the oil was divided into four relative moisture contents of water added to the samples at the temperature ranges for the extraction of oil and crambe cake. Crambe oil will be evaluated through viscosity, specific mass and flash point. It will also be evaluated the quality of mixtures of biodiesel from crambe with diesel oil, in different proportions, through the physical-chemical parameters, engine-generator performance, together with the analysis of emissions generated in the process. The tests took place under a completely randomized design, with four demands of resistive electrical loads of powers 500W, 1500W, 4500W and 6000W and eight concentrations of B0 fuels as control B5, B10, B15, B20, B50, B70 and B90. Biodiesel was produced through the transesterification of oil. The physicochemical properties of the blends were analyzed in a specialized laboratory. According to the results, the viscosity, the specific mass and the flash point increased, with the addition of biodiesel to diesel, there was a reduction in CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO. It can be said that the B20 blend had a better result of the Biodiesel oil compared to the other blends, the research showed that the burning of the B20 showed more efficiency.

**KEY WORDS:** Renewable energies, transesterification, biodegradable.

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	3
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Óleos Vegetais .....	4
2.1.1. Crambe.....	7
2.1.2. Crambe e processos biológicos.....	9
2.1.3. Crambe e suas características .....	10
2.2. Óleos Vegetais para a produção de Energia.....	10
2.3. Extração Mecânica de Óleos Vegetais.....	12
2.4. Métodos de Extração.....	13
2.4.1. Prensa hidráulica.....	13
2.4.2. Extração por solvente .....	13
2.4.3. Extração por fluido supercrítico .....	14
2.4.4. Extração de óleo relacionado com temperatura e umidade relativa .....	15
2.5. Características do biodiesel para utilização em motores a diesel .....	17
2.6. Blendas de Biodiesel .....	18
2.7. Análise do Desempenho de Motores a Biodiesel .....	20
2.8. Emissões e Desempenho de Motores a Biodiesel .....	21
2.9. Linha do tempo dos trabalhos desenvolvidos.....	25
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1. Material.....	27
3.1.1. Local do Experimento.....	27
3.1.2. Conjunto motor gerador.....	28
3.1.3. Óleo Diesel Mineral Tipo A.....	31
3.1.4. Instrumentação do Conjunto Motor Gerador .....	31
3.1.5. Banco de Resistências .....	33
3.1.6. Consumo de Combustível .....	34
3.1.7. Analisador de Gás .....	35
3.2 Métodos.....	36
3.2.2. Avaliação da Eficiência Energética.....	39
3.2.2. Determinação das emissões geradas pelo conjunto motor gerador.....	39
3.2.3. Extrusão da semente.....	40
3.2.4. Produção de Biodiesel.....	40
3.2.4. Análise Físico – Química dos Combustíveis .....	42
3.2.5. Blendas utilizadas no experimento .....	45



<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO E DIESEL.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>DESEMPENHO MOTOR GERADOR .....</b>	<b>47</b>
4.2.1.	Potência Efetiva e Consumo Específico.....	47
<b>4.3</b>	<b>EMISSIONES E TEMPERATURA DOS GASES DE ESCAPE .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4</b>	<b>EFEITO NAS EMISSIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>



## 1. Introdução

A busca da energia sustentável está pautada no equilíbrio entre o conforto social e a viabilidade econômica, ou seja, as atividades desenvolvidas pelo homem devem gerar menores prejuízos ao meio ambiente, buscando assim a sustentabilidade (AGOPYAN, 2012).

Considerando o cenário atual, é crucial, dentro da percepção de sustentabilidade, compreender várias áreas de uma sociedade, entre o tripé “meio ambiente – economia – sociedade”, o desenvolvimento de novas técnicas e procedimentos para obtenção de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000; AGOPYAN, 2012).

Tornar – se sustentável significa aplicar técnicas à cadeia produtiva, englobando o beneficiamento da matéria-prima, percorrendo pelo planejamento e gerenciamento de resíduos, com materiais escolhidos de modo a diminuir ou retardar o extrativismo compulsivo e contribuir com sua recuperação, a não ser reduzir o consumo de água e energia elétrica (PRADO; JOHN, 2010).

As novas tecnologias energéticas alternativas ao petróleo, incentivando a sustentabilidade, impulsionando a criação de novas tecnologias e assim o desenvolvimento do país (CARVALHO, 2013). No Brasil, um país essencialmente agrícola, a tecnologia da biomassa tem sido desenvolvida de resíduos agroindustriais principalmente de óleos vegetais, caracterizando – se como uma fonte de energia sustentável (ANP, 2003; IICA, 2017).

A potencialidade brasileira é de cerca de 150 milhões de hectares plantados para o estabelecimento de biomassa, sendo 90 milhões relativos às novas fronteiras, e os outros 60 referentes às terras de pastagens que conseguem ser convertidas em exploração agrícola em curto prazo (STACHIW et al., 2016).

Conforme fonte de matéria prima, os óleos vegetais apontam viáveis, visto que sua semente é a componente que, além de possui teor de óleo, e por meio desse, é a ainda mais utilizada para a extração e produção (MARIANO; COURI; FREITAS, 2009).

Desse modo, os óleos produzidos por meio de vegetais têm vantagem na produção de energia, tanto na sua forma de óleo cru, quanto na forma de biodiesel, tal vantagem se intensifica em locais no qual o combustível possui alto custo ou em regiões afastadas que necessitam de autossuficiência energética (ABDALLA, 2008).

O biodiesel é um dos combustíveis alternativos promissores para motores à diesel que ganharam popularidade nas últimas décadas. É constituído, principalmente, por ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos (triglicerídeos), especialmente derivados de óleos vegetais comestíveis e não comestíveis e gorduras animais por meio do processo de transesterificação, no qual os triglicerídeos reagem com o álcool de cadeia curta na presença de um catalisador (YESILYURT; CESUR, 2020).

O biodiesel pode ser produzido a partir de uma variedade de matérias-primas, tais como: canola, soja, girassol, crambe, entre outros (ALDHAIHAWI; CHIRIAC; BADESCU, 2017; SAIFUDDIN; REFAL; KUMARAN, 2017). A utilização adequada dos combustíveis alternativos renováveis, substituindo os combustíveis fósseis, contribui para a proteção do clima, da água e do solo, ajudando ainda a redução das emissões de gases com efeito de estufa e proporcionando sustentabilidade, desenvolvimento regional e melhoria na agricultura (HASAN; RAHMAN; KADIRGAMA, 2013). Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a produção de biodiesel ainda se concentra principalmente em fontes de óleo, como o de soja, provenientes das regiões Centro-Oeste e região Sul (AMARAL; ABREU, 2014).

O biodiesel é um combustível renovável, biodegradável, não tóxico e com propriedades comparáveis às do diesel de origem mineral. Além disso, o biodiesel é mais vantajoso em comparação com o diesel devido ao seu ponto de inflamação mais elevado, menor volatilidade e maior lubrificidade (NOOR et al., 2016). O biodiesel ainda tem um teor de compostos aromáticos mais baixos, contém de 10 a 12% de oxigênio em peso e é livre de teor de enxofre. Devido à maior presença de oxigênio, é alcançado maior oxidação de hidrocarbonetos queimados na câmara do motor, que são gerados durante a combustão (AGARWAL et al., 2013). Isso leva a menores emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (HC) e material particulado (MP) para combustível à base de biodiesel. No entanto, um maior teor de oxigênio no biodiesel produz emissões mais elevadas de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o que constitui uma grande preocupação (RAHMAN et al., 2017). Outra desvantagem é a sua maior viscosidade (NAYAK; PATTANAIK, 2014; RADHA et al., 2011; NO, 2011a). A maior viscosidade do biodiesel leva a problemas de bombeamento, atomização deficiente, redução de fluxo do combustível, entupimento de injetores, obstrução de filtros, aumento de depósitos de carbono na cabeça do

pistão, entre outros (NO, 2014; SUNDARARAJAN et al., 2016). Podem apresentar ainda menor volatilidade, poder calorífico, densidade de energia e maior consumo específico de combustível (SINGH; KUMAR; MUK, 2012).

Para contornar as variáveis indesejáveis, a mistura de diesel com biodiesel é a alternativa mais viável. Hasan et al. (2015) relataram que o combustível misturado com biodiesel apresenta menor torque e maior consumo específico a combustível diesel devido a valores caloríficos mais baixos contidos no biodiesel.

Estes e muitos outros trabalhos de pesquisa envolvendo biodiesel como combustível em motores de ignição por compressão relatam que a utilização de diesel e misturas de biodiesel num motor diesel resulta maior consumo específico e emissões de NO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, emissões de CO e HC mais baixas em comparação com o diesel. As maiores emissões de NO<sub>2</sub> provenientes da combustão de biodiesel é o principal obstáculo para a sua produção em escala comercial, que se deve, principalmente, ao seu maior teor de oxigênio. Por conseguinte, é necessário avaliar um valor adequado de teor de oxigênio no biodiesel e combustíveis misturados de biodiesel, o que garantirá um desempenho comparável do motor, juntamente com parâmetros aceitáveis de emissões do motor (ALPTEKIN, 2017).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade das blendas de biodiesel de crambe com petrodiesel, em diferentes proporções, através dos parâmetros físico-químicos, desempenho em motor-gerador, juntamente à análise de emissões geradas no processo.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Analisar as propriedades físico-químicas das blendas.
- Avaliar o desempenho de um conjunto motor gerador a diesel operando com combustíveis à base de óleo vegetal de crambe.
- Avaliar a curva de desempenho do motor gerador a diesel.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Óleos Vegetais

Os óleos e as gorduras são classificados como lipídios, e são formadas basicamente por triglicerídeos e outros compostos químicos, podendo ser tanto de origem animal, quanto origem vegetal, sendo classificadas em sua solubilidade como substâncias não solúveis em água (MORETTO; FETT, 1998).

Os primeiros estudos sobre a constituição de óleos e gorduras foram realizados pelo químico e físico Michel-Eugène Chevreul, onde foi observado que a hidrólise de óleos e gorduras davam origem a ácidos graxos e glicerol (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

Sua composição química varia de 4 a 24 ligações de carbono, os quais podem ser saturados e insaturados, tendo ligações simples e complexas respectivamente. A primeira ligação carbono-carbono, e a segunda de carbono e outros elementos (VIRGENS et al., 2017).

Verifica-se que dentre os óleos analisados por Christie (2003), o buriti e a castanha – do - para são as oleaginosas que mais possuem porcentagem de gorduras monossaturadas (76 e 73,6 %, respectivamente), enquanto o girassol e a soja apresentam maior porcentagem de ligações polissaturadas (68,7 e 61,0 %, respectivamente). Para os ácidos graxos saturados, o óleo de palma possui o maior valor (51,4 %), enquanto o de canola abrange apenas 6,8 % de saturação (Tabela 1).

Os ácidos graxos mais frequentes possuem até 22 carbonos, sendo os mais comuns aqueles com 14 e 18 carbonos, dentre eles os saturados palmítico e esteárico, e os insaturados oleico, linoleico e linolênico (SCRIMGEOUR, 2005).

Nos óleos vegetais, a maior parcela dos ácidos graxos se encontra esterificada (triacilgliceróis). A presença de grandes quantidades de ácidos graxos não esterificados (ácidos graxos livres) é um indicativo de que algum dano permanente ocorreu ao lipídeo (CHRISTIE, 2003).

Tabela 1: Composição química de óleos vegetais quanto a sua composição carboxílica.

<b>Óleo</b>	<b>Monossaturados</b>	<b>Polissaturados (%)</b>	<b>Saturados</b>
<b>Azeite de oliva</b>	72,3	11,5	16,2
<b>Buriti</b>	76,0	4,6	19,4
<b>Canola</b>	65,3	27,9	6,8
<b>Castanha do Pará</b>	73,6	5,1	21,3
<b>Girassol</b>	18,7	68,7	12,6
<b>Milho</b>	27,6	57,9	14,5
<b>Óleo de palma</b>	38,0	9,7	51,4
<b>Soja</b>	23,5	61,0	15,5

Fonte: Christie (2003).

Os óleos vegetais provindos de culturas oleaginosas apresentam em sua composição quantidades grandes de ácidos graxos livres e outros componentes como fosfolípidios e esteróis. E essa fonte de biomassa é prontamente disponível e de fácil acesso tecnológico (MORETTO; FETT, 1998).

O Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) em sua resolução nº 20/77 define condições normais de temperatura e pressão para óleos vegetais, como sendo a temperatura de 20 °C o limite mínimo e inferior para o ponto de fusão das gorduras, classificando como óleo quando o ponto de fusão se situa abaixo desta temperatura (CHISTE et al., 2006).

O ponto de fusão dos triglicerídeos (transformação do estado físico sólido para o líquido) depende das instaurações ou saturações em seus ácidos graxos. As gorduras são sólidas e derivadas de ácidos graxos saturados (possuem ligações simples). Já os óleos são líquidos em condições normais de temperatura e pressão, pois são derivados de ácidos graxos insaturados (possuem ligações duplas). Essa característica para os óleos confere aos mesmos, elevada estabilidade térmica e oxidativa (REDA, 2004).

Segundo Brito (2009), o óleo de crambe é o que possui maior porcentagem de ácido erúico (58,0 %), seguido pelo óleo de soja com 3,3 % (Tabela 2). Enquanto o ácido palmítico está presente em maior porcentagem no óleo de dendê, soja, girassol

e crambe, respectivamente. Já o ácido oleico possui 17,2 % de sua composição no óleo de crambe quando comparado com o óleo de dendê com 39 %.

Tabela 2: Porcentagem de ácidos graxos de dendê, soja, crambe e girassol

<b>Ácido graxo</b>	<b>Dende</b>	<b>Soja</b>	<b>Crambe</b>	<b>Girassol</b>
		(%)		
<b>Palmítico</b>	43,9	10,3	1,8	6,0
<b>Esteárico</b>	4,9	4,7	0,7	5,9
<b>Oléico</b>	39,0	22,5	17,2	16,0
<b>Linoléico</b>	9,5	54,1	8,7	71,4
<b>Erúxico</b>	0,3	3,3	58,0	0,6
<b>Brassídico</b>	0,0	0,0	5,2	0,0
<b>Tetracosanóico</b>	0,0	0,0	0,7	0,0
<b>Nervônico</b>	0,0	0,0	1,6	0,0
<b>Outros</b>	2,4	0,1	2,5	0,1

Fonte: Brito (2009).

Observa-se que o óleo de crambe tem em sua composição graxa, maior quantidade de ácido erúxico segundo os autores superando todos os outros ácidos graxos analisados. É possível ainda encontrar a média que fica em 59,02 % de composição (Tabela 3).

Tabela 3: Perfil de composição de ácidos graxos em crambe

<b>Ácido</b>	<b>Palmítico</b>	<b>Esteárico</b>	<b>Oléico</b>	<b>Linoléico</b>	<b>Erúxico</b>	<b>Nervônico</b>
			(%)			
<b>Silva et al. (2009)</b>	1,3	1,1	17,8	2,8	56,7	0,8
<b>Brás (2011)</b>	1,3	0,6	13,0	6,5	64,5	0,8
<b>Gomes Júnior (2010)</b>	2,0	0,7	18,0	9,4	55,9	0,7
<b>Melo (2010)</b>	2,0	0,9	19,0	9,0	59,0	0,9
<b>Média</b>					59,02	

Fonte: Silva et al. (2009); Brás (2011), Gomes Júnior (2010); Melo (2010).

Verifica-se que a composição de ácido erúxico para a semente de crambe é de 40 a 50 % da composição da semente de crambe, o qual se torna impróprio para consumo humano, conforme Bondioli et al. (1998).



Assim, levam-se em conta na análise de viabilidade de escolha de uma cultura desde os princípios da composição de óleo, até os fatores socioeconômicos. Entre esses fatores têm-se como parâmetros de adequação os mais diversos fatores como produtividade regional, competitividade alimentícia, teores de rendimento de óleo, plantação por unidade de área, armazenamento de grãos, transporte e fatores de umidade e temperatura (FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION, 2013).

Bezerra (2014) verificou que o teor de óleo está relacionado com o armazenamento e ambiente de depósito de grãos, verificando valores médios de temperatura.

Igualmente Zhou et al. (2002) verificou a influência de temperatura no teor de lipídios, constatando que acontece decréscimo do teor de óleo em armazenamento com temperatura menor que 35 °C.

#### 2.1.1. Crambe

O crambe pertence à família *Brassicaceae*, da qual fazem parte plantas como a canola (*Brassica napus L.*), a mostarda-castanha (*Brassica campestris L.*), o nabo-forrageiro (*Raphanus raphanistrum L.*) (COLODETTI et al., 2012).

Tem como seu local de origem a região do Mediterrâneo, mais precisamente na África e Ásia, porém a espécie tem demonstrado boa adaptação a diferentes condições climáticas como Europa, Estados Unidos e América do Sul (OPLINGER et al., 1991; SILVA et al., 2010).

Atualmente é cultivada com base na anualidade principalmente pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Fundação MS, em ciclos de primavera e verão respectivamente (Figura 1). Entretanto, no município de Maracaju em Mato Grosso do Sul, os estudos dessa cultura iniciaram em meados da década de 90, época na qual ocorreu expansão dessa cultura (JASPER et al., 2010a; VIANA, 2013; ECHEVENGUÁ, 2017).



Figura 1: Cultura do crambe no florescimento. (A) primavera, (B) verão.

Fonte: JASPER et al. (2010a).

Os derivados da extrusão da semente de crambe são o óleo e a torta. A semente de crambe possui de 38 a 40 % de óleo, sendo que até 50 % desse óleo é composto de ácido erúcido tornando-o impróprio para consumo humano, porém ganhando grande espaço em outras áreas como a indústria, na fabricação de óleos, lubrificantes, plástico e biodiesel. A torta por sua vez pode ser utilizada como suplemento proteico na nutrição animal em porcentagem relativamente baixa (PITOL et al., 2010a; PITOL et al., 2010b).



Figura 2: Sementes de Crambe

Fonte: (Pitol et al., 2010b).

O alto teor de óleo da semente (Figura 2) de crambe potencializou esta oleaginosa em sua expansão pelo Brasil, com isso a produção de combustível foi

aumentada com a criação do Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel. Assim, essa semente tem grande potencial para produção de biodiesel, devido à composição química (ácido erúico com mais da metade em porcentagem na composição da semente) (BISPO et al., 2010; WEISS, 2000).

### 2.1.2. Crambe e processos biológicos

Primordialmente deve-se levar em conta que dentro do ciclo das culturas, sejam florestais ou agrícolas, existem diversos processos e ciclos bioquímicos envolvidos (CAMPOS, 1998; EM DISCUSSÃO, 2014).

Os nutrientes orgânicos e inorgânicos necessários para o crescimento das plantas circulam pelo solo e são fundamentais para o processo da fotossíntese, e conseqüentemente para o crescimento e desenvolvimento das culturas (VIANA, 2013).

Os organismos vegetais sintetizam os açúcares a partir da absorção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água, e sais junto com a energia solar. Porém o ciclo não é completo apenas com o desenvolvimento da planta, ou seja, existe todo um processo de decomposição que engloba microrganismos, animais – os quais se aproveitam da matéria orgânica – para que no fim o processo se inicie novamente (CAMPOS, 1998).

Essa cultura realiza um processo metabólico (durante o período com incidência solar) chamado de fotossíntese, que é basicamente a captura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, aliado à captura de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) do solo, e que mediante a energia solar, transforma quimicamente os substratos absorvidos em oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e açúcares ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) (MARENCO; LOPES, 2009). Já à noite, a respiração vegetal se procede, realizando um processo em que há absorção de oxigênio e queima dos açúcares para produção de energia (VITAL, 2007; FONTANA et al., 1998).

Dentro desse processo químico-biológico a água é fundamental, sendo importante em três etapas: a) participar da reação da fotossíntese realizada nos estômatos (organela presente na epiderme das folhas, cujas células são responsáveis pelas trocas gasosas; b) participar da transpiração vegetal (que ocorre em períodos mais amenos, como à noite); c) participar como veículo de transporte de açúcares no sistema interno da planta (SILVA et al., 2013c).

### 2.1.3. Crambe e suas características

Em suas características botânicas, têm folhas não simétricas e lisas de até 15 cm de comprimento e 10 cm de largura (FARIA JÚNIOR, 2013). A flor de cor amarela esbranquiçada, florescendo aos 35 dias após a semeadura, têm suas sementes pequenas e de colocação bege (DESAI; KOTTECHA; SALUNKHE, 1997).

Essa cultura é tolerante ao clima seco e também a temperaturas baixas, desde que não seja exposto a essas condições na fase de plântula e no florescimento. A principal característica é quanto ao ciclo de produção de 90 dias, assim, é viável como cultura para rotação em boa parte do território nacional (MACHADO et al., 2007; NEVES et al., 2016;).

A fase primordial para a produção do crambe se estabelece no início de germinação, com densidade recomendada de 17,0 a 22,5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis, resultando numa taxa de germinação de 2.500.000 plantas ha<sup>-1</sup>, e isso se deve a bons rendimentos devido à ramificação de plântulas no florescimento (ATADASHI, et al. 2008; JASPER, 2009).

## 2.2. Óleos Vegetais para a produção de Energia

Habitualmente, óleo vegetal puro ou bruto e óleo vegetal virgem são usados como sinônimos de óleo vegetal puro, podendo ser utilizados como matéria-prima para a produção de biodiesel (NO, 2011b). As plantas mais comuns usadas para extração de óleo são: soja, canola, palma, milho, girassol, amendoim, algodão, mamona e pinhão-manso (KAMANI et al., 2019); a extração do óleo pode ser feita por prensa mecânica ou por meio de solventes, dependendo da capacidade instalada das unidades de produção (ABOUBAKAR; GOUDOUM; YAYA, 2017).

O Brasil, por ter uma vasta biodiversidade, possui diversas oleaginosas com potencial para a produção de energia à base de óleos vegetais, como por exemplo, a canola, a soja, o girassol, o amendoim, o caroço de algodão e o dendê (OLIVEIRA; REYS, 2009).

No entanto, à medida que a produção de óleos destinados à produção de biocombustíveis aumenta em todo o mundo, também aumentaram as discussões se

realmente as safras deveriam ser destinadas para a produção de biocombustíveis ou para a produção de alimentos. Quando a produção de biocombustíveis compete com a de alimentos em termos de espaço, uma alternativa é utilizar culturas que completem o período nos quais as áreas ficariam subutilizadas entre safras, como durante o inverno. Como opção, pode-se utilizar a canola (colza), que é uma cultura relativamente conhecida e a tecnologia de cultivo se encontra amadurecida principalmente na região sul do país. Existem outras culturas menos conhecidas, como a linhaça e o crambe, que também são de inverno, e apresentam teor de óleo com grande potencial de produção, conforme a Tabela 4 (DELALIBERA, 2016).

Tabela 4. Teor de óleo dos grãos e rendimento médio dos óleos

<b>Oleaginosa</b>	<b>Teor de óleo dos grãos (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendimento de óleo (L ha<sup>-1</sup>)</b>
Canola	350 a 450	550 a 1.100
Crambe	260 a 441	260 a 660
Linhaça	400 a 440	330 a 370
Pinhão-manso	280 a 370	140 a 2.220

Fonte: Delalibera (2016).

Na Tabela 5 são observadas algumas características dos óleos vegetais em comparação com o diesel e o biodiesel.

Tabela 5. Características dos óleos vegetais comparadas com o diesel e o biodiesel

<b>Características</b>	<b>Óleo de canola</b>	<b>Óleo de pinhão-manso</b>	<b>Óleo de soja</b>	<b>Diesel</b>	<b>Biodiesel</b>
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,91 - 0,93	0,91 - 0,92	-	0,82 - 0,85	0,86 - 0,90
Viscosidade a 40°C (mm <sup>2</sup> s)	38	-	36,8	2 - 4,5	3,5 - 5,0
Facilidade de ignição (índice de cetanos)	40 - 42	51	36 - 39	51 - 56	50
Valor calorífico (kJ/kg)	35.000	39.500 - 41.700	39.950	41.400 - 43.500	36.200
Ponto de fulgor (°C)	220	110 - 240	-	50 - 80	120 - 135
Teor de fósforo (%)	12	-	5	-	-

Fonte: Guerra e Fuchs (2017).

### 2.3. Extração Mecânica de Óleos Vegetais

Desde a antiguidade, os óleos vegetais apresentavam um grande leque de aplicações na vida humana, e o método mais antigo de extração consistia na aplicação de uma pressão ou força para a extração do óleo da semente. As primeiras prensas eram parafusos (*expeller*) que giravam em torno do próprio eixo extraíndo o óleo por rotação, e isso avança até a tecnologia atual, onde existem prensas modernas contínuas e hidráulicas (FREITAS; NAVES, 2010).

Cita-se como vantagens, o baixo custo de investimento, além de grandes capacidades de extração, com fácil manuseio e não necessidade de solvente. A prensagem ainda resulta em um rejeito chamado de torta, a qual possui várias características nutricionais (SANTOS et al., 2012).

O funcionamento de prensas do tipo *expeller* tem como fundamento a passagem de um fluido newtoniano dentro de um cilindro chamado extrusor, fazendo com que o grão sofra uma pressão em toda a prensagem. Este processo se divide em três partes: alimentação, processamento e separação. Na alimentação e no processamento tem-se que o volume de reposição de grãos afeta diretamente a produção de óleo. Já na separação, o volume de semente inicial, tem como soma a quantidade de óleo extraído mais a quantidade de torta restante (FREITAS; NAVES, 2010).

Pighinelli (2010) analisou a extração de óleo de sementes de amendoim e algodão com avaliações relacionadas a temperatura e teor de umidade relativa dos grãos. Para as sementes de algodão, o maior rendimento foi de 93 %, atingido para as condições de 5,5 % de umidade relativa e 107 °C de temperatura. Já o menor volume foi de 6,9 %, nas condições de 4,05 % de umidade relativa e 85 °C.

Pighinelli *et al.* (2008) analisou que a prensagem a frio não é adequada ao amendoim em casca, pois apresentou produção de uma torta quebradiça e com alto teor de óleo. O aumento na temperatura produziu uma torta mais coesa e o óleo foi facilmente recuperado com prensagem de 12 minutos de média. Verificou-se que o maior rendimento (72,19 %) foi para as condições de 9 % de teor de umidade relativa e 85 °C, e o menor rendimento, 43,55 %, foi alcançado nas condições de 72 °C, tanto para 5,5 % de umidade relativa quanto para 12,5 %.

A extração mecânica de óleos vegetais pode ser utilizada em pequenos espaços, além de permitir utilização do produto óleo e subproduto da torta. Na

extração por prensagem, a quantidade de óleo residual na torta depende da espécie processada e das especificações das prensas, e varia entre 15 e 27 % para grãos como algodão, girassol, pinhão-manso e nabo-forrageiro (BENELLI, 2010).

## 2.4. Métodos de Extração

Os métodos de extração de óleo podem ser basicamente três: prensa hidráulica contínua, extração por solventes, e fluido supercrítico (WEISS, 2000).

### 2.4.1. Prensa hidráulica

A extração por prensagem é o processo mais utilizado em pequena escala, onde se retira óleo das sementes ou grãos por extrusão com baixa umidade e teores significativos de óleo (KAZMI, 2012).

Divide-se em duas: prensas contínuas onde existe um cilindro ou parafuso que esmaga o grão/semente liberando o óleo, e a descontínua que apresenta um embolo que faz pressão na matéria prima. Esses dois processos elevam a temperatura do material, dependendo do tipo de equipamento que está realizando a prensagem e principalmente da umidade e temperatura do processo de extrusão (TRENTINI et al., 2016).



Figura 3: Prensa Hidráulica.  
Fonte: BindGalvão. (2019).

### 2.4.2. Extração por solvente

A extração por solventes por sua vez, apresenta a característica de permitir que sejam extraídos os componentes lipofílicos, habilidade de um composto químico dissolver-se em gorduras, óleos vegetais, lipídios em geral (BRENNAN, 2006). Deve-se considerar essa escolha de extração levando em conta todos os processos de obtenção da semente. Ainda assim atenta-se que esse método de extração pode trazer uma cor escura ao extrato e mais viscosa, sem ser possível a remoção completa do solvente da mistura (KAZMI, 2012).

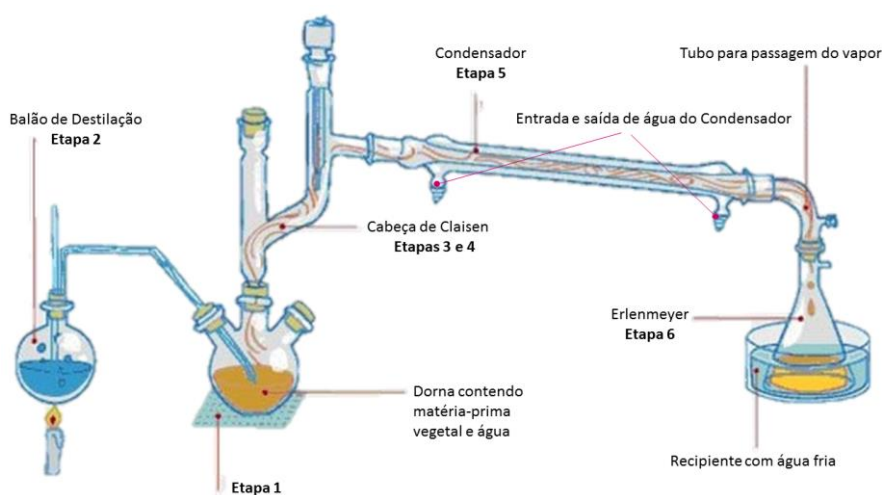


Figura 4: Método e o Equipamento de Extração por Solvente.  
Fonte: KAZMI. (2012).

#### 2.4.3. Extração por fluido supercrítico

A extração por fluido supercrítico se dá com meio de gases e líquidos em um sistema onde se desenvolvem pressões e temperaturas cuja fase física gás-líquido não existe mais, encontrando-se numa fase supercrítica (SRIKANTHA, 1980).

Assim nesse estado, o fluido possui melhores características como solvente, que quando misturados a sólidos (como sementes e grãos), difundem-se mais facilmente rendendo maior quantidade de extração. Esse tipo de extração por sua vez é elevado, porém vantajosa, porque se separa facilmente o fluido do óleo, e não há contaminantes, pois o solvente geralmente utilizado é o gás carbônico (OHLSON, 1992).



Tendo em vista essas análises, o óleo produzido através dos vários tipos de extração tem grande vantagem na produção de energia tanto na sua forma de óleo cru, quanto na forma de biodiesel. Verifica-se então a importância de escolher o método que mais se enquadre na situação econômica e social da região. Isso se intensifica ainda mais quando se têm locais onde existe *déficit* em processos de extração, ou ainda em regiões afastadas que necessitam de autossuficiência energética (ABDALLA, 2008).



Figura 5: Equipamento de Extração por Fluido Supercrítico.  
Fonte: ABDALLA. (2008).

#### 2.4.4. Extração de óleo relacionado com temperatura e umidade relativa

O primeiro processo é o recebimento da matéria prima, que geralmente é feito em grandes quantidades chamada “granel”. Nesta etapa são conferidas as características do produto, como aspectos físicos, impurezas, grãos, umidade em base úmida, qualidade da embalagem. Observa-se ainda a importância da armazenagem dos grãos em silos, para preservar a qualidade do produto da extração, levando em conta a logística de transporte, logística de armazenamento e qualidade de depósito (JASPER et al., 2010b).

Marcos Filho (2005) relata que o armazenamento de grãos é a etapa de maior atracção de valor ao produto final, e que resulta dos recursos de colheita, transporte, para evitar desperdícios.

O segundo processo é a extrusão do grão, o qual tem maior destaque dentro do processo de prensagem, devido aos fatores da umidade relativa dos grãos, temperatura do processo e qualidade do equipamento. Dentro do processo da extrusão, existe a quebra da parede celular do grão, que ocasiona melhores rendimentos e elimina fatores antinutricionais (no entanto, pode se perder, nessa etapa, qualidade nutricional do grão) (MELO, 2010).

O terceiro processo é a prensagem mecânica, que consiste na retirada do óleo da semente através da extrusão do grão por aplicação de pressão, resultando na separação do óleo e da torta. O processo se dá pela prensagem dos grãos que são posicionados em um cilindro, através de um funil, e nesse cilindro existem pequenas barras reguláveis para a saída do óleo. A torta da semente é expelida e a separação ocorre.

O quarto passo é a filtragem de óleo bruto que saiu da prensa através do cilindro de extrusão. O filtro faz a purificação do óleo bruto deixando-o livre de impurezas (CUNHA, 2008).

A temperatura e umidade são fatores que afetam o rendimento e a eficiência de extração de óleo em oleaginosas com alto teor de lipídios, como o milho, a soja e o crambe, e valores altos causam baixo rendimento (RODRIGUES FILHO, 2010).

Gomes Júnior (2010) afirmou que é importante prever uma umidade relativa de grãos para extração de óleo, seja por prensa hidráulica, do tipo *expeller*, ou ainda pelo método de solventes. Para melhorar a eficiência das prensas de pequena capacidade, estão sendo realizados estudos de otimização das principais variáveis envolvidas no processo.

Singh e Bargale (2000) e Mpagalile, Hanna e Weber (2006) testaram o rendimento de uma extrusora com variação de teor de umidade nos grãos e temperatura de extração em grãos de canola e amendoim. Os primeiros testaram umidades relativas de 0 a 11% alcançando um rendimento ótimo com o teor de umidade nos grãos de 7,5%, já os segundos atingiram um bom rendimento com 12% de umidade. Essas umidades foram explicadas de tal forma que o aquecimento com esse grau de saturação beneficiava a quebra das células de óleo, e a diminuição da viscosidade, o que tornava o fluxo de óleo mais fácil.

## 2.5. Características do biodiesel para utilização em motores a diesel

Independentemente do método utilizado, o produto final do biodiesel deve ter propriedades físico-químicas próximas às descritas na Tabela 6.

Tabela 6. Propriedades físico-químicas utilizadas como padrão de qualidade de combustível

<b>Propriedades</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limites</b>	<b>Normalização</b>
Aparência (aspecto e cor)	-	-	ABNT/NBR 14483
Cinzas	%	0,02	ABNT/NBR 9842
Contaminantes	%	0,05	ABNT/NBR 14647
Corrosividade	-	1	ABNT/NBR 14359
Densidade a 20°C	kg m <sup>-3</sup>	820 - 865	ABNT/NBR 14065
Enxofre	%	0,20 - 0,35	ABNT/NBR 14533
Número de Cetano (NC)	-	42 - 48	ASTM/D 613
Poder Calorífico	kJ kg <sup>-1</sup>	> 36.006	E DIN 51 605
Ponto de fulgor	°C	> 38,0	ABNT/NBR 14598
Ponto de névoa	°C	4	ABNT/NBR 14747
Viscosidade a 40 °C	cSt\mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	2,5 - 5,5	ABNT/NBR10441

Fonte: DELALIBERA (2016).

O biodiesel possui inúmeras vantagens sobre o diesel. Estudos têm demonstrado que o biodiesel tem melhor desempenho lubrificante, exercendo um papel importante na redução do atrito entre os componentes do motor comparado ao diesel de origem mineral (LIU et al., 2019).

O desempenho da lubrificação do biodiesel é geralmente avaliado por meio de testes de atrito e do desgaste alternativo de alta frequência (DE FARIAS; DE MEDEIROS; ALVES, 2014). Outra investigação semelhante observou que os coeficientes de atrito do B5 (diesel misturado com 5% de biodiesel de colza) e do B100 foram 20% e 30% menores em relação ao diesel (LAPUERTA et al., 2016).

Além das vantagens, foram verificadas algumas desvantagens, assim como na investigação de biodiesel com origem de pinhão manso tem-se boas propriedades lubrificantes, ele também tem desvantagens significativas, como baixa estabilidade à oxidação. O biodiesel tem um alto teor de ésteres metílicos de ácidos graxos insaturados, o que o torna muito suscetível à oxidação (YANG et al., 2017).

Um resumo das principais vantagens, desvantagens e benefícios do biodiesel em comparação com o diesel de petróleo pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7. Principais vantagens e desvantagens do biodiesel em comparação com diesel de petróleo.

	Benefícios técnicos	Não tóxico
		Vapores não inflamáveis e não explosivos
		Maior lubricidade
	Benefícios ambientais	Menor ponto de fulgor que o diesel mineral
		Sintetizado a partir de óleos comestíveis e não comestíveis
		Melhor conteúdo de enxofre e aromáticos
Vantagens	Benefícios econômicos	Manuseio e armazenamento mais seguros
		Ambientalmente correto
		Redução de CO <sub>2</sub> na atmosfera
	Benefícios ambientais	Redução dos níveis de enxofre na atmosfera
		Biodegradável
		Renovável
	Benefícios econômicos	Criação de emprego
		Evitar a migração urbana
		Disponibilidade de matéria-prima
Desvantagens		Segurança energética
		Menor conteúdo de energia
		Estabilidade inferior
		Criação de problemas de durabilidade do motor e corrosão
		Criação de deposição de carbono e polimerização no motor

Fonte: DELALIBERA (2016).

## 2.6. Blendas de Biodiesel

O biodiesel pode ser utilizado na sua forma pura ou misturado com diesel mineral convencional, tendo havido a necessidade de adaptar uma nomenclatura para identificar a proporção dos dois componentes na mistura. Assim, designou-se Biodiesel BXXI, onde –XXI corresponde à percentagem em volume do biodiesel na mistura. Por exemplo, o B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel em volume, respectivamente. As características para produção do biodiesel são definidas pela Resolução nº45 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014). Esta Resolução impõe limites para diversos parâmetros físicos e químicos e define quais as normas de ensaio a serem utilizadas para a avaliação desses parâmetros.

No Brasil, os estudos para a criação de uma política nacional para a implantação do biodiesel iniciaram em 2003 pela Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB). O governo federal lançou em 2004 o Programa Nacional de

Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) com o objetivo de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira. Inicialmente, a mistura em caráter experimental entre os anos de 2005 e 2007 tinha o teor de 2% de biodiesel adicionado ao diesel de origem fóssil. Em janeiro de 2008 entrou em vigor a obrigatoriedade da mistura de 2% (B2) em todo o território brasileiro, pela Lei nº 11.097/2005. Esse percentual foi ampliado para 3% (B3) em julho de 2008, 4% (B4) em julho de 2009, 5% (B5) em janeiro de 2010, 6% (B6) em agosto de 2014, 7% (B7) em novembro de 2014, 8% (B8) em março de 2017, 10% (B10) em março de 2018, 11% (B11) em março de 2019 e 12% (B12) em março de 2020. Em oito de outubro de 2018 entrou em vigência a Resolução nº 16/2018 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), autorizando a ANP a fixar o percentual de adição de até 15% em volume de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, sendo obrigatório o incremento de 12% (B12) em 01/03/2020, 13% (B13) em 01/03/2021, 14% (B14) em 01/03/2022 e 15% (B15) em 01/03/2023 (ANP, 2022). A evolução das misturas de biodiesel pode ser observada na Tabela 8.

Tabela 8. Evolução prevista de mistura de biodiesel

<b>Data de início</b>	<b>Mistura obrigatória (%)</b>	<b>Mistura comercial</b>
2003	Facultativo	B2
JAN/08	2	B2
JUL/08	3	B3
JUL/09	4	B4
JAN/10	5	B5
AGO/14	6	B6
NOV/14	7	B7
MAR/17	8	B8
MAR/18	10	B10
MAR/19	11	B11
MAR/20	12	B12
MAR/21	13	B13
MAR/22	14	B14
MAR/23	15	B15

Fonte: (ANP, 2022).

Na data atual deste trabalho, foi determinada a redução do valor atual de B13 para B10 por meio da Resolução nº 4, em nove de abril de 2021 pelo Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2022).

De acordo com pesquisas realizadas por Demirbas (2009) e Ali et al. (2016), misturas de até 20% de biodiesel misturadas com combustível diesel de petróleo podem ser usadas em quase todos os equipamentos a diesel e são compatíveis com a maioria dos equipamentos de armazenamento e distribuição.

## **2.7. Análise do Desempenho de Motores a Biodiesel**

Os motores de combustão interna, em especial os motores a diesel, são preferíveis para geração de energia, a partir de combustíveis alternativos devido à sua robustez, alta eficiência, baixo custo inicial, fácil manutenção e operação (HESSAMI; CAMPBELL; SANGUINETTI, 2011). Esses motores são responsáveis pelas emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos aromáticos. Ainda, a combustão do diesel libera material particulado (MP) na forma de aerossol, que contribui diretamente na formação do efeito estufa (KALARGARIS; TIAN; GU, 2017).

O uso de motores a diesel na agricultura, no transporte e na geração de energia causa aumento de poluentes, que são prejudiciais aos animais, aos seres humanos e ao meio ambiente (THANGARAJ; SOLOMON, 2020). Assim, conforme relatado e enfatizado em inúmeras pesquisas, combustíveis alternativos precisam ser usados para controlar e reduzir essas emissões.

O efeito do biodiesel nas emissões geralmente não é claro devido a vários fatores, incluindo: fonte do diesel, origem do biodiesel e parâmetros do motor. De maneira geral, a maioria dos estudos mostra um aumento de NO<sub>2</sub> com o conteúdo de biodiesel e uma redução nas emissões de CO, HC e partículas (PM). O consumo de combustível e as emissões de NO<sub>2</sub> tendem a aumentar com o aumento da fração de biodiesel, o que pode ser atribuído ao menor conteúdo de energia do biodiesel em comparação com o diesel e ao aumento do conteúdo de oxigênio e, portanto, temperaturas de chamas mais altas no interior do cilindro do motor (ALDHAIHAWI et al., 2016; PAUL; PANUA; DEBROY, 2017). Em condições de baixa carga e alta fração de biodiesel, o CO pode aumentar em relação ao diesel, embora o aumento seja pequeno em comparação à redução observada em todas as cargas do motor (GHAREHGHANI; MIRSALEM; HOSSEINI, 2017). No entanto, a fonte de biodiesel tem

efeitos significativos nas emissões. Como visto em pesquisas específicas na literatura, aumentando as emissões de CO em altas cargas, aumenta-se também o NO<sub>2</sub>.

Algumas investigações misturando biodiesel ou diesel-biodiesel com metanol e etanol evidenciam resultados semelhantes. O emprego do metanol misturado ao biodiesel apresentou ser mais eficiente no controle de material particulado (MP) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), do que o etanol (YILMAZ; DAVIS, 2016; RAJESH et al., 2018). Por outro lado, misturas de diesel ou biodiesel com metanol ou etanol causam um aumento nas emissões de hidrocarbonetos (HC) para misturas maiores que 5% em volume de álcool (YILMAZ; DAVIS, 2016).

Outra investigação que misturou de 10 a 20% de biodiesel no diesel mostrou um aumento no consumo específico do motor e, conseqüentemente, apresentou uma redução na eficiência térmica. As emissões de hidrocarbonetos (HC) e de monóxido de carbono (CO) diminuíram com o aumento da fração de biodiesel, enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> aumentaram (RUHUL et al., 2016).

## **2.8. Emissões e Desempenho de Motores a Biodiesel**

Embora os motores a diesel sejam atraentes devido à sua alta eficiência térmica e potencial, buscam-se formas de reduzir emissões provocadas pelos gases de exaustão dos motores a diesel, como exemplo, minimizar as emissões de gases CO, CO<sub>2</sub> e HC, NO<sub>2</sub> e MP (também conhecido como fuligem), os quais prejudicam a qualidade do ar ambiente e a saúde dos seres vivos. As principais tecnologias para mitigar as emissões provocadas durante o acionamento de motores a diesel têm duas vertentes: melhorar a eficiência da combustão do motor e desenvolver dispositivos de pós-tratamento (ABDULLAH, 2018).

Algumas das alterações no desempenho do motor e nos parâmetros de emissão de escapamento de motores a diesel alimentados por biodiesel e diferentes misturas de biodiesel em relação ao diesel são observadas na Tabela 9. Deve-se notar que os resultados apresentados nesta tabela se referem a biodieseis produzidos a partir de uma única matéria-prima.

Tabela 9. Principais emissões do biodiesel

Matéria-prima	Óleo de palma bruto (%)			Óleo de canola (%)	Óleo de soja (%)	Óleo de pinhão manso (%)
Volume percentual de biodiesel misturado ao diesel (amostra)	25	50	75	100	100	10
<b>Desempenho do motor</b>						
Consumo específico de combustível	+0,08	+ 9,0	+ 10,0	+ 13,2	+ 21,5	+ 3,4
<b>Emissões de exaustão</b>						
CO (monóxido de carbono)	+ 82,6	- 1,7	- 17,4	- 22,2	- 44,4	- 14,0
NO <sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio)	- 1,8	- 5,4	- 7,3	+ 12,0	+ 28,0	+ 7,0
Referências	Yusaf, Yousif e Elawad (2011)			Celikten, Koca e Arslan (2010)	Celikten, Koca e Arslan (2010)	Hassan et al. (2014)

Fonte: (ATTIA; HASSANEEN, 2016).

A opacidade da fumaça é um indicador de emissão de fuligem seca e material particulado. Nos motores a diesel, o combustível atomizado se divide em carbono (formação de fuligem) durante o processo de combustão, e o carbono então se oxida na zona de reação (oxidação de fuligem). Partículas de carbono, ou seja, fuligem ou fumaça, irão se formar se a quantidade de oxigênio ou a temperatura local não suportar o processo de oxidação (ATTIA; HASSANEEN, 2016).

A mistura de biodiesel com óleo diesel reduz a opacidade da fumaça, que se deve à maior quantidade de moléculas de oxigênio presentes no biodiesel, e isso melhora a combustão. A diminuição da opacidade da fumaça com a adição de biodiesel também se deve à redução de compostos aromáticos na mistura, que são precursores da fuligem (KAKATI; GOGOI, 2016).

Em investigação das características de desempenho e da emissão de escapamento de um motor diesel monocilíndrico de injeção direta movido a três tipos de matéria-prima disponíveis na região da Índia (Polonga, koroach e *Pinhão-manso*) com misturas de biodiesel e diesel de petróleo em cinco proporções diferentes de



biodiesel (10, 20, 30, 40 e 50%), as propriedades físico-químicas dos combustíveis foram determinadas, e os resultados indicaram que viscosidade cinemática, densidade e ponto de fulgor crescem com um aumento no conteúdo de biodiesel da mistura, enquanto o valor calorífico e o ponto de fluidez diminuem. As propriedades físico-químicas da mistura B10 (contendo 10% de biodiesel) são semelhantes às do combustível diesel (DHARMA et al., 2017).

Em investigação realizada por Sanjid et al. (2016), os resultados mostraram que o consumo específico foi de 320, 350 e 370 g/kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> quando o teor de biodiesel foi de 10, 20 e 40%, respectivamente. Em contraste, o consumo específico para óleo diesel foi de 310 g/kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>. Em geral, o consumo específico para biodiesel é maior do que para o óleo diesel de origem mineral.

O consumo de combustível aumenta na proporção do aumento do teor de biodiesel das misturas de biodiesel com diesel. No entanto, há uma diminuição do valor calorífico do biodiesel durante a combustão devido ao alto número de cetano contido nos combustíveis de origem vegetal (BUYUKKAYA, 2010).

Segundo a investigação realizada por Dharma et al. (2017), o torque encontrado no motor foi mais alto para o combustível diesel, com um valor de 34,15 Nm a uma rotação nominal de 1900 rpm. O torque do motor para a mistura de 10% de biodiesel adicionado ao diesel mineral B10 foi de 34,07 Nm, sendo próximo ao do diesel mineral, mantendo a rotação do motor. Nessa mesma velocidade de 1900 rpm, o torque do motor para as misturas de B20, B30, B40 e B50 foi menor do que o torque do motor para o combustível diesel mineral em 2,23; 4,07; 6,30 e 7,41%, respectivamente.

O biodiesel possui maior viscosidade, menor volatilidade e moléculas mais pesadas, conseqüentemente, as misturas de biodiesel com combustível diesel evaporam a uma taxa mais lenta e são mais difíceis de queimar em comparação com o combustível diesel, reduzindo a quantidade de combustível que está sendo alimentado na bomba de óleo e a eficiência volumétrica do motor permanece baixa, diminuindo o torque do motor (BARI, 2014).

A qualidade de ignição do diesel pode ser medida pelo seu número de cetano (NC), que corresponde ao tempo decorrido entre o início da injeção e o início da combustão, sendo chamado de atraso de ignição. Esse atraso é consequência do tempo requerido para que ocorra pulverização, aquecimento e evaporação do

combustível com a sua mistura com o ar e, finalmente, sua autoignição. O índice de cetano (CN) mede o atraso e dependendo da fonte e do processo de produção do biodiesel, o índice de cetano do biodiesel pode ser maior ou menor que o do diesel fóssil. O biodiesel produzido a partir de soja apresentou menor atraso de ignição de 7,9° e 7,8°, respectivamente, em comparação com 8,2° do diesel com baixo teor de enxofre, devido ao maior número de cetano. Como resultado de um atraso de ignição mais curto, o biodiesel acendeu mais cedo e, conseqüentemente, a energia liberada durante a fase pré-misturada foi menor, resultando em menor taxa de liberação de calor do que o diesel (CANAKCI, 2007).

Em investigação experimental sobre os efeitos combinados da razão de compressão, pressão de abertura do bico e tempo de injeção no desempenho e nas emissões de HC (hidrocarbonetos não queimados) de um motor a diesel (ignição por compressão) operado com um combustível diesel, apresentou-se reduções das emissões de HC para todos os combustíveis com incremento das cargas do motor devido ao aumento da combustão (WAMANKAR; SATAPATHY; MURUGAN, 2015).

Misturas chamadas de ternárias com diesel-butanol-óleo vegetal (óleo de algodão) mostraram que quando a carga aumenta, a temperatura do cilindro aumenta também; assim, melhora o processo de combustão e leva a menores emissões de CO. Nesta pesquisa foram encontrados valores de emissões de CO menores para os combustíveis testados em todas as cargas do motor, em comparação com o diesel puro (ATMANLI; ILERI; YILMAZ, 2016).

Em investigação de um motor diesel de injeção direta de 33 kW, abastecido com diferentes combustíveis: diesel, biodiesel, óleo de linhaça, óleo de milho, óleo de soja, óleo de amendoim, óleo de girassol e óleo de palma. Para este motor quando aplicadas a diferentes cargas os resultados apontam que, ao aumentar a carga, o consumo específico de combustível tende à diminuição, enquanto as emissões de CO reduzem e as emissões de NO<sup>2</sup> aumentam. Todos os combustíveis apresentam um consumo superior ao diesel mineral, devido ao menor poder calorífico. As emissões de CO para o biodiesel diminuem com o aumento da carga aplicada ao motor, com uma inclinação menor do que a do diesel, portanto são menores nas cargas mais baixas e maiores nas cargas mais altas. As emissões de NO<sub>x</sub> do biodiesel são sempre de 15 a 20% mais altas do que o diesel mineral (ALESSANDRO et al., 2016).

Segundo informações publicadas por Simsek (2020), um motor gerador a diesel de injeção direta aspirado naturalmente, resfriado à ar, monocilíndrico, quatro tempos, com uma velocidade fixa de 3000 rpm, com capacidade de geração em corrente alternada de 3,36 kVA, tipo monofásico de 230 V e frequência de 50 Hz foi usado para o experimento. Para as misturas volumétricas de diesel e biodiesel, cujas proporções de biodiesel foram incrementadas no diesel em 10, 20, 30, 50, 75 e 100%, o consumo específico deste experimento aumentou em 3,79; 6,47; 9,27; 12,89; 15,55 e 19,80%, respectivamente, em comparação com diesel de origem mineral. As emissões de CO aumentaram em 13,30; 18,23; 21,33; 25,68; 30,77 e 34,28%, para as cargas resistivas aplicadas ao gerador de 500, 1000, 1500, 2000, 2500 e 3000 W, respectivamente.

## **2.9. Linha do tempo dos trabalhos desenvolvidos**

Os primeiros trabalhos realizados nesta linha de pesquisa deram início oficialmente em 31 de agosto de 2016 com a inauguração do Centro de Desenvolvimento e Difusão Tecnológico em Energias Renováveis (CDTER-PR), projeto desenvolvido pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) em parceria com a Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), localizado na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fundetec) – BR 277, km 573.

O CDTER tem como objetivo ser referência em desenvolvimento de soluções inovadoras para empresas, indústrias e concessionárias de energia, visando disseminar e promover o desenvolvimento tecnológico sustentável, oferecendo ainda no local um espaço para realização de capacitação técnica, ensaios laboratoriais, cursos de aperfeiçoamento e projetos de pesquisa de pós-graduação. Entre os equipamentos contidos no laboratório, está a máquina extrusora de grãos, que realiza a extração de óleo e farelo pelo método a frio, possibilitando a transformação de culturas de sementes oleaginosas em energia e alimento.

Na sequência, serão apresentados alguns dos trabalhos que utilizaram a prensa extrusora, produziram óleo, extraíram tortas (farelo) ou usaram as dependências do Laboratório CDTER.

Antes mesmo da inauguração do CDTER, alguns trabalhos já estavam sendo realizados na área com o emprego de óleos e biodiesel, como é o caso do trabalho de dissertação de mestrado desenvolvido por (TONDO, 2015), na qual foi estudado o efeito do pré-aquecimento de blendas de óleo de fritura e biodiesel com óleo diesel utilizados como combustível em queimadores.

O trabalho de dissertação desenvolvido por (OLIVEIRA, 2016) avaliou a eficácia de um subproduto de cártamo no uso em nutrição animal e como fonte de biocombustível.

No ano de 2018, foram realizados diversos trabalhos, seguindo a ordem cronológica de apresentação, o trabalho desenvolvido por (SCHUROFF, 2018) avaliou a adubação da cultura da soja com torta de crambe em comparação com a adubação mineral. Seguindo os trabalhos, temos a dissertação desenvolvida por (LEITE, 2018), avaliando o desempenho e as emissões de um conjunto motor gerador diesel operando com combustíveis à base de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe. Em seguida, foi desenvolvido o trabalho de dissertação por (BRESSAN, 2018), que visou aperfeiçoar o processo de variáveis independentes de temperatura de extração e o teor de umidade aos grãos de crambe no rendimento de extração de óleo bruto e caracterização química e física do óleo e torta. E por fim, no ano de 2018, o trabalho de (COLLE, 2018) que consistiu em avaliar o desempenho de um gerador de eletricidade operando no modo dual com biogás e blendas de biodiesel.

No ano de 2019, o trabalho de dissertação de (LEWANDOSKI, 2019) realizou a automação de uma prensa extrusora mecânica, avaliando as diferentes temperaturas e velocidades de rotação aplicadas na moagem de grãos de crambe.

Em 2021, alguns trabalhos também foram desenvolvidos por pesquisadores em suas dissertações. Inicialmente, o trabalho desenvolvido por (GONGORA, 2021) avaliou as emissões e o desempenho de um motor gerador abastecido por misturas de biodiesel de cártamo e biodiesel comercial. No mesmo ano, o pesquisador (RODRIGUES, 2021) em sua dissertação aplicando sementes de canola na prensa extrusora, otimizou o processo através de variáveis independentes, como temperatura e velocidade de rotação, caracterizando o óleo e a torta, química e fisicamente. Outro trabalho realizado foi desenvolvido por (POSSA, 2021), aplicado a um motor gerador foi realizada a análise energética com base nas leis da termodinâmica em diferentes cargas.

### **3. Material e Métodos**

#### 3.1. Material

##### 3.1.1. Local do Experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologias Sustentáveis (LABTES) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Campus de Cascavel, na latitude de 24°59'18.1"S, longitude de 53°26'55.4"O, e altitude de 790m (GOOGLE, 2022). Para realizar a extração do óleo da semente de crambe foi utilizado o laboratório CDTER pelo fato de que a prensa extrusora encontrava-se instalada naquele espaço, localizado na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fundetec) – BR 277, km 573.

O clima da região do município de Cascavel é classificado como Clima subtropical (Cfa), onde a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (SIMEPAR, 2022). A Figura 6 apresenta os principais equipamentos utilizados durante o experimento.

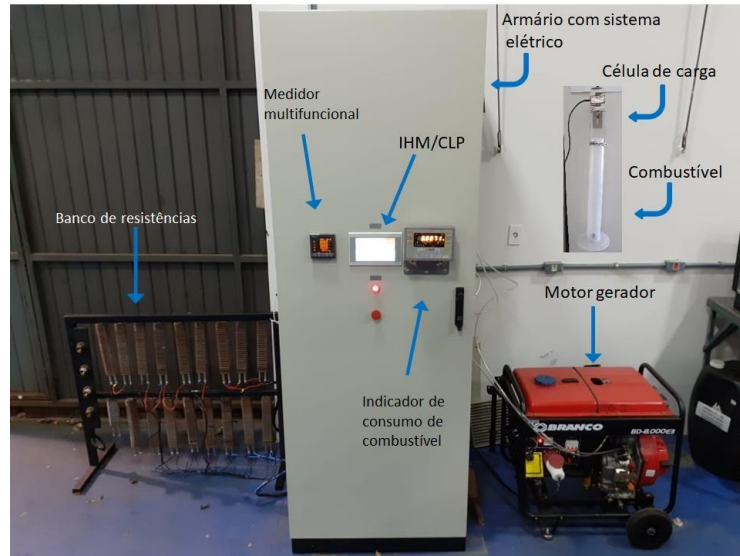


Figura 6: Equipamentos Utilizados.  
Fonte: AUTOR. (2022).

### 3.1.2. Conjunto motor gerador

Foi utilizado um conjunto motor gerador ciclo diesel, monocilíndrico, refrigerado a ar, da marca Branco, modelo BD-8000 E3 conforme pode ser observado na Figura 7.



Figura 7: Conjunto Motor Gerador.  
Fonte: AUTOR. (2022).

De acordo com recomendações do fabricante, ao dar início ao funcionamento do grupo motor gerador, é necessário deixá-lo ligado em funcionamento por cerca de cinco minutos, sem carga, para que a temperatura do cárter estabilizasse. Desta forma, antes de ser iniciado o experimento e em cada seqüência de ensaios, seguiu-

se tal recomendação para que a temperatura de funcionamento do motor não influenciasse nos resultados obtidos.

Quando necessária a troca de combustível, o filtro e as mangueiras foram esgotados para retirar o óleo acumulado. Colocado o novo óleo, acionando o motor e permanecendo ligado consumindo 50 mL da nova mistura antes de quantificar as variáveis em análise para a eliminação total do combustível anterior.

As características técnicas do motor de combustão alimentado por diesel e biodiesel do conjunto motor gerador modelo BD8000E3, da marca BRANCO utilizado para comparação dos dados de emissões, podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10. Especificações do motor

<b>Descrição</b>	<b>Especificação</b>
Sistema de combustão	Injeção direta
Diâmetro x Curso	88 mm x 75 mm
Cilindrada	456 cm <sup>3</sup>
Taxa de compressão	20:1
Potência máxima	13,0 cv a 3600 rpm
Potência contínua	11,2 cv a 3600 rpm
Torque máximo	3,51 kgfm a 2000 rpm
Consumo	2,7 L*h <sup>-1</sup>
Lubrificação	Forçada por bomba de óleo
Capacidade de óleo cárter	1,5 L
Dimensões (C x L x A)	480 x 520 x 570
Nível de ruído (7 m)	79 dB

Fonte: BRANCO (2019).

As especificações técnicas do motor, curva de torque, potência e consumo específico constam na Figura 8.

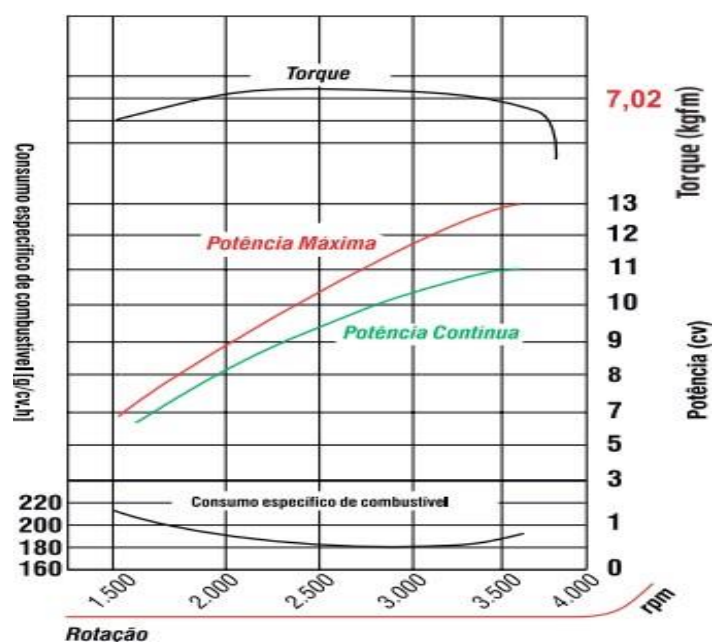


Figura 8. Curva torque, potência, consumo específico de combustível do motor.

Fonte: BRANCO (2019)

As características técnicas do motor que aciona o gerador responsável pela alimentação das cargas elétricas do conjunto motor gerador modelo BD8000E3, da marca BRANCO para comparação dos dados de desempenho energético, podem ser vistas na Tabela 11.

Tabela 11. Características do Gerador

Descrição	Especificação
Potência máxima	8,0 kVA
Potência contínua	7,5 kVA
Tensão de saída	240 V / 120 V
Fases	Trifásico
Controle de tensão	AVR / Com escova
Capacidade do tanque	10 L
Autonomia	5,0 h
Dimensões (C x L x A) (conjunto)	720 x 492 x 650 (mm)
Massa (conjunto)	110 kg

Fonte: BRANCO (2019).



### 3.1.3. Óleo Diesel Mineral Tipo A

Como componente principal nas misturas estudadas nos ensaios, foi utilizado óleo diesel mineral tipo A (S10), fornecido pela empresa comercial distribuidora com o nome Estrada Distribuidora de Derivados de Petróleo LTDA, localizada na BR 277, km 579 na cidade de Cascavel-PR.

O combustível utilizado A-S10 segue a norma da Agência Nacional do Petróleo – ANP com a Resolução ANP n° 50 de 2013, no seu Art 3° fica estabelecido que a nomenclatura A-S10 deverá apresentar o teor máximo de enxofre de 10 mg/kg (ANP, 2013b).

### 3.1.4. Instrumentação do Conjunto Motor Gerador

O operador do sistema pode selecionar a próxima tela onde os parâmetros de carga podem ser selecionados para a realização do teste, podendo ser alterada a carga de 0 W (sem carga), 500, 1500, 4500 e 6000 W de forma manual.

Para registrar os parâmetros elétricos, foi utilizado um medidor multifuncional avançado DPM-C520 da empresa Delta que oferece medições precisas de diversos valores de medidas elétricas, apresentando valores instantâneo em seu display e/ou enviando os dados via protocolo Modbus-RS485 (tensão, corrente, energia, frequência e outros). Isso pode ser observado na Figura 9.



Figura 9: Medidor multifuncional de parâmetros elétricos DPM-C520.  
Fonte: AUTOR. (2022).

Os principais valores do medidor multifuncional de parâmetros elétricos podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12. Características técnicas do medidor multifuncional.

Descrição	Range	Precisão
Tensão de alimentação	80 - 265 V	
Tensão máxima medida	20 - 400 V	± 0.5%
Corrente máxima medida	1 - 5 A	± 0.5%
Frequência	50 - 60 Hz	± 0.5%
Porta de comunicação	RS485 (9600/19200/38400 bps)	
Display	LCD	
Temperatura de operação	-20 - 70°C	
Umidade relativa	5 - 95 %	

Fonte: DELTA (2019)

O medidor multifuncional possui como característica máxima para a leitura de corrente de 5<sup>a</sup>, então foi necessário inserir três TCs (transformadores de corrente), um para cada fase do circuito, com especificação de relação entre entrada e saída de 50/5 A, desta forma, o medidor multifuncional foi configurado com esta relação (50/5), sendo possível o registro das correntes superiores aos iniciais 5<sup>a</sup>. A Figura 10 mostra um dos TCs que foram instalados ao circuito.



Figura 10: TC – Transformador de corrente 50/5.  
Fonte: AUTOR. (2022).

### 3.1.5. Banco de Resistências

Para registrar o consumo de energia elétrica gerada pelo motor gerador, foi utilizado um banco de cargas resistivas, Figura 11 (a), composto por quinze resistências em formato de —Ull com potência nominal de 1500 W cada, com tensão de alimentação de 220 V em corrente alternada. Na Figura 11 (b), pode ser observado um dos elementos que compõem o banco de resistências.



Figura 11: Banco de Cargas Resistivas.  
Fonte: AUTOR. (2022).

O manual do fabricante do motor gerador relata uma potência máxima de 8 kVA e uma potência contínua de 7,5 kVA, porém os primeiros testes indicaram que, aplicada uma carga aos geradores maior que 7 kW, o sistema eletrônico de proteção desligava o disjuntor termomagnético do painel do gerador. Quando a carga aplicada era igual a 6,5 kW, o funcionamento era instável, a tensão gerada reduzia para valores inferiores 195 volts, a frequência permanecia com valores menores que a 54 Hz, indicando uma sobrecarga no gerador. Assim, estabeleceu-se que a máxima carga aplicada nos testes seria de 6,0 kW, sendo esta carga utilizada como maior valor definida de carga máxima durante todo o experimento, onde o conjunto motor gerador funcionou adequadamente.

Como carga elétrica para o grupo motor gerador utilizou-se um banco de resistências com carga trifásica configurada em formato triângulo, equilibrada

perfazendo um total para a carga máxima de 6,0 kW, com tensão nominal de 220 volts, para uma frequência de 60 Hz. As resistências foram agrupadas em módulos, permitindo a configuração série e paralelo através de acionamento por dispositivos do tipo contadores elétricos, podendo variar de 0 W (sem carga), 1,0; 1,5; 4,5 e 6,0 kW (carga máxima) na carga aplicada ao sistema de geração. O banco de resistências foi instalado na face externa da sala de testes devido ao aquecimento gerado durante o trabalho.

A configuração das cargas que foram conectadas ao gerador pode ser vista na Tabela 13, onde a carga de 1,0 kW foi aplicada acionando o contator K2; a carga de 1,5 kW foi aplicada acionando os contadores K2 e K3; a carga de 4,5 kW foi aplicada com o acionamento do contator K1 e finalmente a carga de 6,0 kW foi aplicada ao gerador quando os contadores K1, K2 e K3 foram acionados.

Tabela 13. Acionamento das cargas resistivas

CARGA	CONTADOR		
	K1	K2	K3
1,0 kW		X	
1,5 kW		X	X
4,5 kW	X		
6,0 kW	X	X	X

Fonte: AUTOR. (2022).

### 3.1.6. Consumo de Combustível

Para registrar a massa de combustível consumida durante os testes, utilizou-se uma balança digital de padrão industrial, formada pelo indicador de pesagem digital (Figura 12a) e célula de carga (Figura 12b) com capacidade nominal para 50 kg e resolução de 1 g.

A célula de carga utilizada é da marca Alfa, modelo SV (Figura 12b) e opera mecanicamente sob forças de tração. As suas especificações técnicas estão contidas na Tabela 13 conforme descrito no catálogo do fabricante. Para a sua utilização no experimento, aferiu-se a célula de carga por meio das massas padrões de chumbo de 100,0 g e 500,0 g.



a) Indicador de pesagem



b) Célula de carga

Figura 12: Indicador de pesagem digital e célula de carga.  
Fonte: AUTOR. (2022).

As demais especificações da célula de carga podem ser verificadas na Tabela 14, retiradas do manual do fabricante.

Tabela 14. Especificações técnicas da célula de carga SV50

<b>Célula de Carga – SV 50</b>	
Fabricante	Alfa S.A.
Material	Alumínio
Esforços	Tração
Sensibilidade mV/V	2,0000
Temperatura de trabalho	-5° a 60°C
Número de divisões	5.000
Classe de proteção (interferência)	IP67

Fonte: AUTOR. (2022).

### 3.1.7. Analisador de Gás

A análise dos gases de combustão gerados no ensaio do conjunto motor gerador operando com os combustíveis com misturas à base de óleo vegetal ocorreu a partir da utilização do analisador portátil de gases de combustão da marca SAXON Junkalor GmbH, modelo ELD Infralite D-06846 (Figura 13). O aparelho possui sensores eletroquímicos capazes de realizar as medições de oxigênio (O<sub>2</sub>), monóxido

de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido de nitrogênio (NO), Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e calcular os valores de hidrocarbonetos (HC).

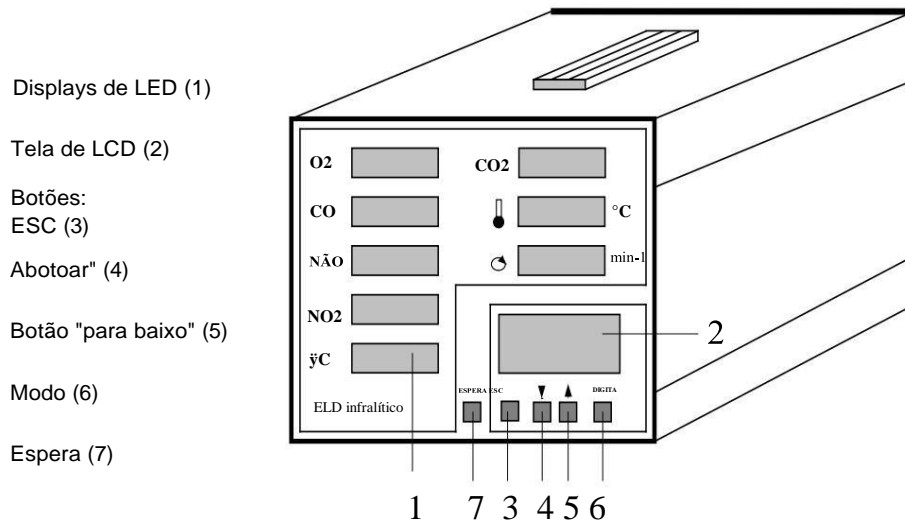


Figura 13: Equipamento de Analisador de Gases de Escape.  
Fonte: SAXON Junkalor GmbH. (2012).

Os parâmetros medidos e parâmetros calculados pelo analisador de gás ELD Infralite, respectivamente retirados do manual do fabricante. Tabela 15. Especificações dos valores medidos pelo analisador ELD Infralite.

Tabela 15. Especificações dos valores medidos pelo analisador ELD Infralite

Valores medidos	Range	Precisão
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0.1 a 22%	±0,3%
Monóxido de carbono (CO)	0 a 4000 ppm	± 5%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0 a 20%	± 5%
Óxido nitroso (NO)	0 a 3000 ppm	± 5%
Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	0 a 500 ppm	± 5%

Fonte: AUTOR. (2022).

### 3.2 Métodos

Foram avaliados os parâmetros de desempenho operacional de um conjunto motor gerador de potência máxima de 8,0 kVA, utilizando-se biocombustível à base de óleo de canola. O biodiesel foi misturado em diferentes proporções com o óleo

diesel mineral (A-S10), adquirido junto à distribuidora local de combustíveis. O conjunto motor gerador foi acionado sob diferentes cargas resistivas, quantificando-se a energia produzida fornecida ao sistema a partir da combustão dos combustíveis.

Os ensaios ocorreram sob um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro demandas de cargas elétricas resistivas de 1,0; 1,5; 4,5 e 6,0 kW e sete concentrações de combustíveis distintas. A composição dos combustíveis ensaiados está apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Combustíveis utilizados no experimento.

<b>Nome</b>	<b>Composição</b>
B 05	Mistura de 05% de biodiesel de Crambe e 95% de Diesel
B 10	Mistura de 10% de biodiesel de Crambe e 90% de Diesel
B 15	Mistura de 15% de biodiesel de Crambe e 85% de Diesel
B 20	Mistura de 20% de biodiesel de Crambe e 80% de Diesel
B 50	Mistura de 50% de biodiesel de Crambe e 50% de Diesel
B 70	Mistura de 70% de biodiesel de Crambe e 30% de Diesel
B 90	Mistura de 90% de biodiesel de Crambe e 10% de Diesel
Diesel	100% de óleo diesel (testemunha)

Fonte: AUTOR. (2022)

Os valores atribuídos às blendas (mistura) do diesel A-S10 (diesel puro) com o biodiesel produzido foram determinados segundo alguns parâmetros:

B05 devido ao motor vir de fábrica com esta configuração;

B10 pelo fato que na data do trabalho ocorreram mudanças nas políticas nacionais cuja porcentagem de biodiesel adicionada ao diesel está em 10%;

B15 devido ao fato de que o cronograma do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) confere em sua programação de que em 2023 a mistura obrigatória de biodiesel no diesel de até 15%;

B20, pois foi o valor citado na literatura por Demirbas (2009) e Ali et al. (2016), até esta porcentagem de mistura os motores não apresentam grandes diferenças em termos de consumo, torque e emissões;

B50, B70 e B90 para testar além do padrão normalmente citado nos trabalhos pesquisados.

### 3.2.1. Determinação do Consumo de Combustível

Para determinação da massa de combustível consumida, utilizou-se uma balança digital de padrão industrial, formada pelo indicador de pesagem digital (Figura 28a) e célula de carga (Figura 28b).

O tempo de realização de cada teste foi contabilizado pelo sistema de automação através da comunicação pela rede Modbus RS485, obtendo-se, deste modo, o consumo de combustível (fluxo de massa). A Equação 1 mostra o cálculo do consumo de combustível realizado em cada um dos testes de desempenho do conjunto.

$$Ma = \frac{(mi - mf)}{t}$$

Onde:

Ma – consumo horário de combustível (g/s);

mi – massa inicial de combustível (g);

mf – massa final de combustível (g); e

t – tempo de ensaio (s).

Para determinar o consumo específico de combustível, foi utilizada a unidade de potência (g. kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), conforme a Equação 2, adaptada de Gabriel Filho et al. (2010).

$$CE = \frac{(3600 \times Ma)}{EG}$$

Onde:

CE - consumo específico (g/kW\*h<sup>-1</sup>);

Ma - consumo horário volumétrico (kg\*s<sup>-1</sup>); e

EG - energia gerada no conjunto motor gerador (kW).



### 3.2.2. Avaliação da Eficiência Energética

Para o cálculo da eficiência energética, foi utilizada a Equação 3, adaptada de (Roy, Wang e Bujold (2013)).

$$EE = \left\{ \frac{3600}{(PCI \times CE)} \right\} \times 100$$

Na qual:

EE - eficiência energética (%);

PCI - poder calorífico inferior do combustível ( $\text{MJ kg}^{-1}$ );

CE - consumo específico do combustível ( $\text{g kW h}^{-1}$ ); e

3600 - fator de conversão entre unidades.

### 3.2.2. Determinação das emissões geradas pelo conjunto motor gerador

Para a determinação e análise dos gases de combustão gerados no ensaio do conjunto motor gerador, utilizou-se o analisador de gás marca SAXON Junkalor GmbH, modelo ELD Infralite D-06846, conforme pode ser observada (Figura 14) a representação da sonda inserida no cano de escapamento do motor de combustão, a fim de coletar somente os gases que realmente estavam presentes na reação exotérmica ocorrida na câmara de combustão do motor.

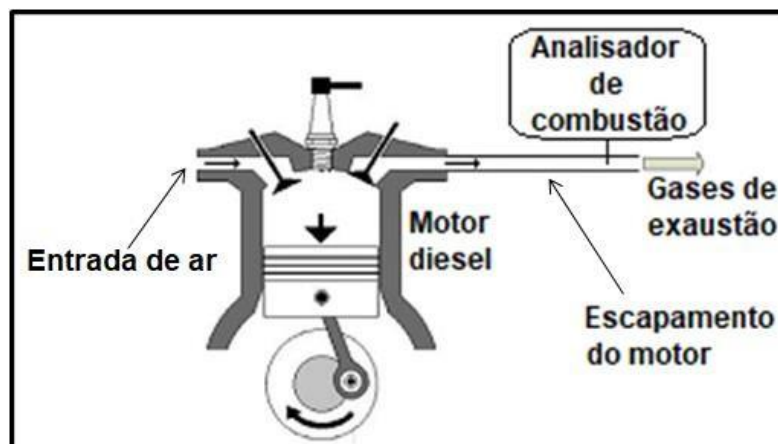


Figura 14: Sonda do analisador inserida no escapamento do motor.

Fonte: AUTOR. (2022).

### 3.2.3. Extrusão da semente

O óleo de canola utilizado nos ensaios de desempenho do conjunto motor gerador foi produzido através do processo de prensagem mecânica de grãos na prensa extrusora, da marca Zaamp (Figura 15).

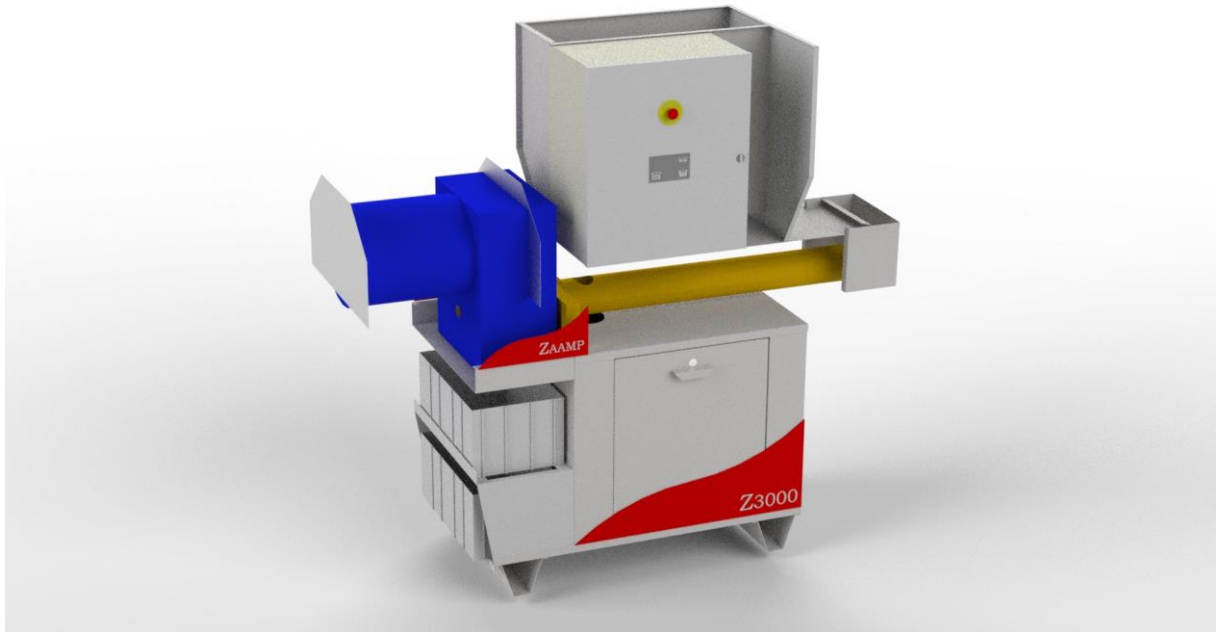


Figura 15: Prensa extrusora de óleo.  
FONTE: LEWANDOSKI (2021).

A semente recebida de produtores locais foi prensada pela máquina, produzindo óleo classificado como sendo óleo bruto, possuindo resíduos sólidos dos grãos da semente oleaginosa processada. Para separar as impurezas, foi necessário realizar a decantação e a filtragem do óleo, removendo as partículas sólidas dos grãos da semente decorrentes do processo de extrusão.

### 3.2.4. Produção de Biodiesel

O biodiesel foi produzido pelo processo de transesterificação por via metílica em procedimento realizado no Laboratório de Tecnologias Sustentáveis - (LABTES) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus Cascavel – PR.

Ao processo de obtenção do biodiesel foi empregada uma proporção de 500 ml de óleo bruto de crambe, 150 ml de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e 10 g de hidróxido de

potássio (KOH). O óleo bruto foi filtrado e aquecido à temperatura de 60°C, utilizando uma placa aquecedora com agitador magnético. Foi então adicionado à mistura de metanol (CH<sub>3</sub>OH) com hidróxido de potássio (KOH) que estava preparada. Depois de decorridos aproximadamente 30 minutos, à temperatura constante de 60°C com agitação contínua, a mistura reacional foi transferida para funil de separação, permanecendo em repouso por 24 horas, permitindo assim a separação das fases, sendo a fase mais densa composta basicamente por glicerina e a fase menos densa composta por biodiesel.

Depois de separados, o biodiesel foi submetido a consecutivas lavagens com água destilada, com a finalidade de remover o excesso de hidróxido de potássio (KOH). Utilizou-se uma proporção de (3:1) três partes de biodiesel para uma parte de água destilada, agitando e aquecendo a 60°C por três minutos, colocados no funil de separação novamente e aguardando a separação de fases entre o biodiesel e a água destilada. Foram repetidos de 6 a 8 vezes este processo para todo o material produzido.

Como indicação para a conclusão do processo de lavagem, utilizou-se a solução composta por 0,1 g de fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) e 10 ml de etanol absoluto (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) P.A. adicionando duas gotas desta solução em 100 ml da água separada após o processo.

A substância chamada de fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) a 1%, quando usada para titulação, apresenta-se incolor em meio ácido (pH abaixo de 8,2), levemente rosada (pH entre 8,2 e 9,8) e roxa em meio alcalino (pH entre 9,8 e 12,0). As primeiras lavagens do biodiesel apresentaram coloração roxa após titulação devido ao pH ser maior que 10 e ao excesso de hidróxido de potássio (KOH) no biodiesel. O processo foi repetido até que a titulação apresentasse uma solução incolor, indicando, através do pH ser abaixo de 8,2 e que a concentração de hidróxido de potássio (KOH) no biodiesel estava em conformidade.

O biodiesel finalmente foi submetido à estufa com temperatura de 105°C até atingir peso constante, em processo que perdurou por 48 horas e indicou que o mesmo estava livre de umidade e completo para os testes de conformidade com a legislação vigente, a Resolução n°45 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014).

Após a produção do biodiesel, foram realizadas as misturas (blendas) com o combustível diesel de origem mineral denominado de diesel A-S10 com as seguintes nomenclaturas: B05 (5% de biodiesel e 95% de diesel puro A-S10); B10 (10% de biodiesel e 90% de diesel A-S10); B15 (15% de biodiesel e 85% de diesel A-S10); B20 (20% de biodiesel e 80% de diesel A-S10); B50 (50% de biodiesel e 50% de diesel A-S10); B70 (70% de biodiesel e 30% de diesel A-S10); B90 (90% de biodiesel e 10% de diesel A-S10) e B100 (diesel puro A-S10 - testemunha).

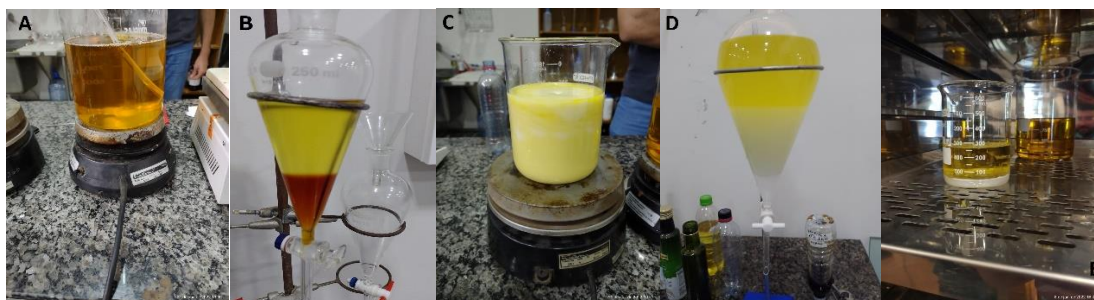


Figura 16. Processo de mistura de óleo de crambe e álcool metílico (A), Figura 17. Separação da glicerina do Biodiesel de crambe (B), Figura 18. Processo de lavagem de biodiesel de crambe (C), Figura 19. Separação da lavagem do biodiesel (D), Figura 20. Secagem do biodiesel da estufa (E).

Fonte: AUTOR. (2022).

#### 3.2.4. Análise Físico – Química dos Combustíveis

As análises físico-químicas foram realizadas para o biocombustível à base de óleo de crambe e para o diesel A-S10, sendo este último servindo como testemunha para análise técnica comparativa do biocombustível. As análises foram realizadas em conformidade com a legislação atual do biodiesel, que foram: massa específica, viscosidade e água e sedimentos.

As análises foram realizadas no Laboratório de Combustíveis - Pool-Lab, Rua Benjamin Dagnoni, 905 – Rio do Meio – Sala 01, Itajaí - SC a partir da negociação com a turma de Culturas Energéticas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no campus da cidade de Cascavel, sendo estas as análises normalmente realizadas em amostras de biocombustíveis semelhantes a este.

O valor do consumo específico pode ser utilizado para a caracterização do potencial de um determinado combustível, permitindo saber quanto de combustível o motor consome para produzir uma unidade de energia. Para isto,

multiplica-se a massa específica do combustível pelo consumo específico, resultando no volume de combustível consumido, nos casos em que seja conveniente ter esta informação para facilitar a avaliação dos custos de produção de energia.

#### 3.2.4.1. Massa Específica a 20°C

A determinação da massa específica das amostras dos combustíveis a 20°C foi realizada por meio de um picnômetro, que consiste em um medidor volumétrico ideal para determinar a densidade de substâncias líquidas. O picnômetro utilizado apresentou capacidade volumétrica de 25,0 ml e tolerância de  $\pm 0,04$  ml à temperatura de 20°C. Antes do início dos testes o picnômetro foi registrado sua massa, inserido a amostra e subtraído o valor da sua massa com a massa das amostras dos biocombustíveis. Para medição da massa das amostras, foi utilizada uma balança analítica, com resolução de 0,0001g.

As amostras foram mantidas a uma temperatura de 20°C e imersas em água. As massas das amostras foram determinadas a partir da equação (4), onde calculou-se a massa específica a 20°C.

$$D = \frac{m}{v}$$

Onde:

$m$  = massa específica (g.ml<sup>-1</sup>);

$v$  = massa do líquido (g); e

$v$  = volume do líquido (ml).

#### 3.2.4.2. Viscosidade Cinemática

As análises da viscosidade cinemática dos combustíveis foram realizadas através do viscosímetro capilar Cannon-Fenske. Neste ensaio padronizado o viscosímetro foi mantido imerso em água com uma temperatura controlada de 40°C. Cronometrou-se o tempo de escoamento do combustível dentro do viscosímetro do menisco superior ao menisco inferior. Para cada amostra do biocombustível, o ensaio foi realizado em triplicata.

Através do tempo de escoamento do combustível e do valor da constante de calibração do viscosímetro (0,035), a viscosidade cinemática foi determinada através da equação (5). O valor da viscosidade cinemática foi expresso em cSt (centistoke) ou  $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$

$$v = C \times t$$

Onde:

$v$  = viscosidade cinemática em cSt (centistoke) ou  $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ ;

$C = 0,035$  - Constante de calibração do viscosímetro ( $\text{mm}^2.\text{s}^{-2}$ ); e

$t$  = Tempo de escoamento do combustível (s).

#### 3.2.4.3. Ponto de Fulgor

Este padrão de execução cobre a determinação do ponto de fulgor de produtos de petróleo na faixa de temperatura de 40 a 360°C, usando o equipamento Pensky- Martens vaso fechado (PMCC).

Menor temperatura, corrigida à pressão barométrica de 101,3 kPa (760mm Hg), em que ocorre um lampejo, provocado pela inflamação de vapores na superfície da amostra, em virtude da passagem de uma chama-piloto.

$$PFC = C + 0,033 (760 - P)$$

Onde:

$C$  = Ponto de fulgor observado ou corrigido em °C; e

$P$  = Pressão Barométrica ambiente em mmHg.

Tabela 17. Análise físico-química dos combustíveis

Combustível	Viscosidade (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Massa específica (g ml <sup>-1</sup> )	Ponto de Fulgor (°C)
Diesel A-S10	2,427	0,833	58,0
Biodiesel de Crambe	5,876	0,875	187,0

Fonte: AUTOR. (2022)

### 3.2.5. Blendas utilizadas no experimento

O experimento foi realizado em duas etapas:

- Na primeira etapa utilizou-se somente o combustível diesel A-S10 (diesel mineral puro – B100) para todas as cargas resistivas.
- Na segunda etapa utilizaram-se as blendas de biodiesel de crambe e diesel A- S10 (B05, B10, B15, B20, B50, B70 e B90).



Figura 21: Blendas de Biodiesel de crambe.  
FONTE: AUTOR (2022).

## 4 Resultados

Os valores obtidos para os dados coletados foram organizados de diferentes formas, visando permitir uma melhor interpretação, na qual foram utilizadas as médias das emissões para cada carga resistiva e também para cada blenda de combustível avaliado. Os dados das figuras e das tabelas foram apresentados de forma crescente de valores para melhor visualização.

Os dados das emissões de gases obtidos foram submetidos à análise de variância para os tratamentos com 5% de significância, sendo realizada a comparação entre as médias dos tratamentos, utilizando o teste Pearson, objetivando identificar quais médias diferem entre si. Para esta análise estatística, foi utilizado o software pago XLSTAT Microsoft.

### 4.1 Caracterização do Óleo e Diesel

Na discussão de resultados da análise físico-química, serão feitas comparações com os parâmetros característicos da qualidade do combustível e tendo como base científica trabalhos de pesquisa semelhantes a este. Conforme citado por Imtenan et al. (2014) as propriedades físico-química de viscosidade, massa específica são de extrema relevância para o desempenho do motor e a qualidade das emissões.

Os ensaios de viscosidade e massa específica foram realizados para todos os combustíveis já apresentados e para o óleo vegetal de crambe, os quais foram denominados respectivamente de B100, B5, B10, B15, B20, B50, B70 e B90, conforme Tabela 18 com os respectivos resultados.



Tabela 18. Resultados da Análise Físico-Química do Óleo, Blendas e Diesel

Aspecto	Unidade	Método	Especificação	B0 (Testemunha)	B5	B10	B15	B20	B50	B70	B90	B100 Biodiesel de Crambe
Aspecto	-	Visual	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.
Cor Visual	-	Visual	Amarelo	Amarelo	Amarelo	<b>Amarelo</b>	Amarelo	<b>Amarelo</b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Massa Específica (20°C)	Kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052	820 à 853,0	833,6	836,2	<b>838</b>	838,7	<b>841,9</b>	854,3	<b>863</b>	<b>869,4</b>	875,3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93	38°C mín.	58	57	<b>56</b>	57	<b>58</b>	63	<b>71,5</b>	<b>103</b>	<b>187</b>
Água Sedimentos - BSW	%	ASTM D 1796	0,05 máx.	Ausente	Ausente	<b>Ausente</b>	Ausente	<b>Ausente</b>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Teor de Biodiesel	%	Infravermelho	9,5 à 10,5	0,25	4,03	<b>8,08</b>	10,9	<b>16,58</b>	44,05	78,94	93,6	-
Ponto de Congelamento	°C	ASTM D 97	N.A.	< -9	< -8	< -7	-5	-4	-4	-3	0	-3
Viscosidade (40°C)	cSt	ASTM D 445	1,5 à 6,0	<b>2,427</b>	<b>2,299</b>	<b>2,427</b>	2,555	<b>2,555</b>	3,449	4,343	5,237	5,876
Ester	%	Infravermelho	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	22,170
Aromáticos Totais	%	Infravermelho	N.A.	4,14	3,6	<b>3,1</b>	2,72	<b>2,03</b>	0	0	0	1,36
Olefinas Totais	%	Infravermelho	N.A.	3,62	4,23	<b>4,99</b>	5,57	<b>6,64</b>	12,49	17,03	20,97	20,91
Benzeno	%	Infravermelho	N.A.	0,06	0,06	<b>0,05</b>	0,06	<b>0,05</b>	0,03	0,02	0,02	0,01
Tolueno	%	Infravermelho	N.A.	1,81	2,31	<b>2,82</b>	3,16	<b>3,83</b>	7,05	9,46	11,39	9,63
Corrosividade ao Cobre	-	ASTM D 130	N.A.	1A	1A	<b>1A</b>	1A	<b>1A</b>	1A	1A	1A	1A
Água por Karl Fischer	PPM	ASTM D 6304	200,0 máx.	48,97	77,1	<b>99</b>	117,68	<b>152,46</b>	<b>340,38</b>	<b>483,21</b>	<b>597,46</b>	<b>591,80</b>
N.A. - Não Aplicável												
L.I.I. - Límpido e Isento de Impurezas												

FONTE: AUTOR (2022).

De acordo com a tabela apresentada nesta pesquisa, a blenda B20 se destaca em comparação com as demais blendas por conseguir melhor os resultados em comparação com o petrodiesel.

## 4.2 Desempenho Motor Gerador

### 4.2.1. Potência Efetiva e Consumo Específico

Segundo a NBR ISO 3046/1, a potência efetiva de um motor de combustão interna alternativo é a potência ou a soma das potências desenvolvidas no eixo motor expressa em quilowatts (KW). É possível observar a potência desenvolvida pelo conjunto motor gerador sob a operação dos diversos combustíveis a base de óleo vegetal em função das cargas nominais resistivas de 500 W, 1500 W, 4500 W e 6000 W. O resultado das potências efetiva apresentam-se numericamente maiores que o valor nominal em virtude de o conjunto motor gerador operar em uma tensão alternada de 240V e o dimensionamento do circuito elétrico resistivo ser realizado para uma tensão elétrica de 220V. De modo geral, a utilização dos biocombustíveis contribui para

uma maior potência fornecida por parte do gerador, apesar das diferenças mensuradas serem consideravelmente pequenas.

O comportamento do consumo específico (CE) do motor em função da variação de carga aplicada ao gerador elétrico pode ser observado na Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25, na qual o CE é maior quando as cargas são relativamente baixas (0,5 e 1,5 kW). Utilizando o óleo diesel mineral AS-10 (B100), as médias do CE do conjunto motor gerador foram ligeiramente menores, comparadas às misturas com biodiesel B5, B10, B15, B20, B50, B70 e B90. Em outros estudos, Da Silva et al. (2012) e Gharehghani, Mirsalim e Hosseini (2017) também observaram comportamentos semelhantes ao adicionar biodiesel com diesel, cujo consumo específico aumentou para maiores proporções de mistura. As misturas biodiesel-diesel e o diesel mineral AS-10 apresentaram comportamento semelhante, com redução do consumo específico para as cargas 0,5; 1,5 e 4,5 kW e um pequeno aumento para a carga de 6 kW. Este comportamento (redução no CE e aumento nas cargas finais) também foi observado para as suas misturas testadas nos estudos realizados por (Simsek, 2020).

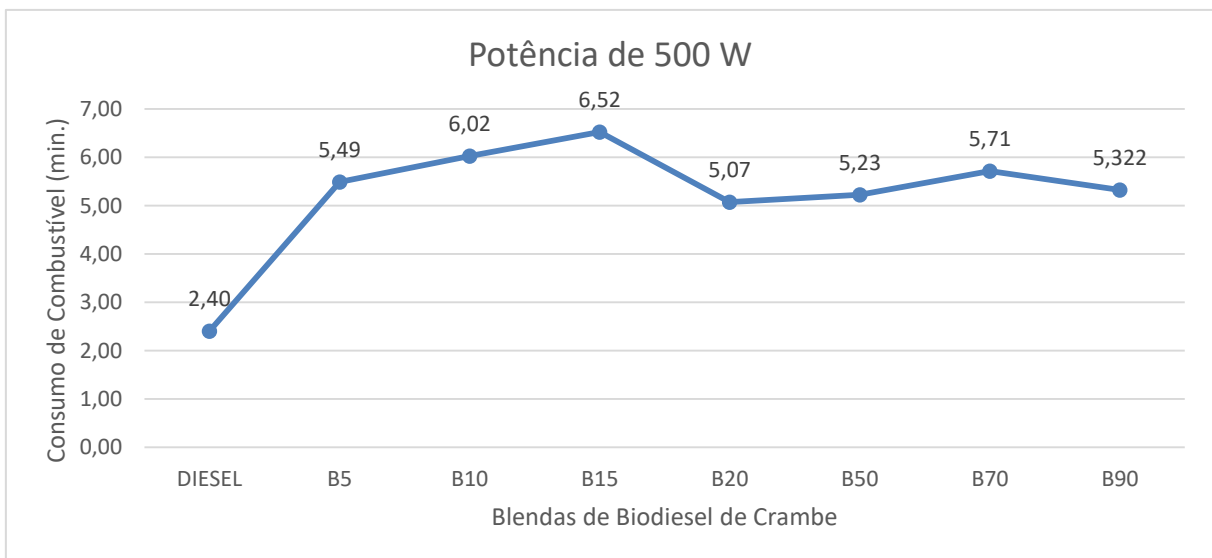


Figura 22: Consumo Energético em Potência de 0,5 kW .  
 FONTE: AUTOR (2022).

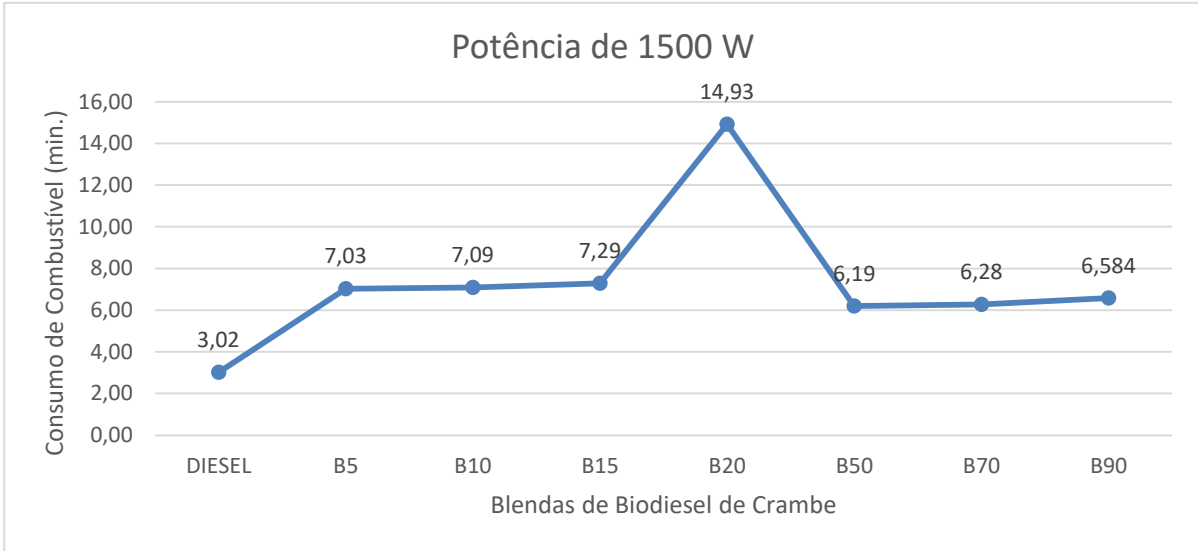


Figura 23: Consumo Energético em Potência de 1,5 kW.  
 FONTE: AUTOR (2022).

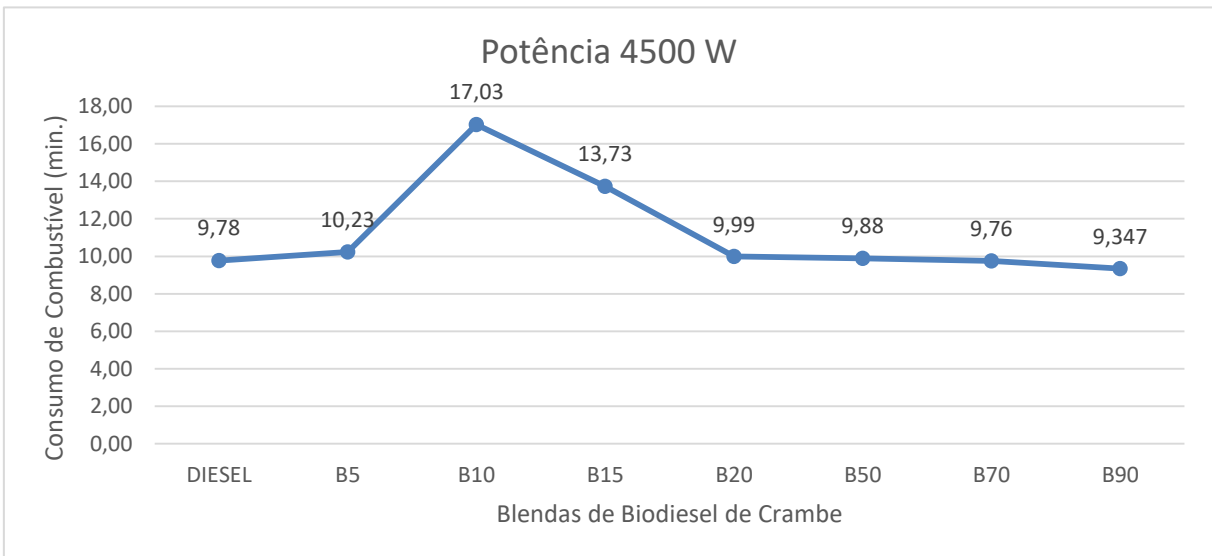


Figura 24: Consumo Energético em Potência de 4,5 kW.  
 FONTE: AUTOR (2022).

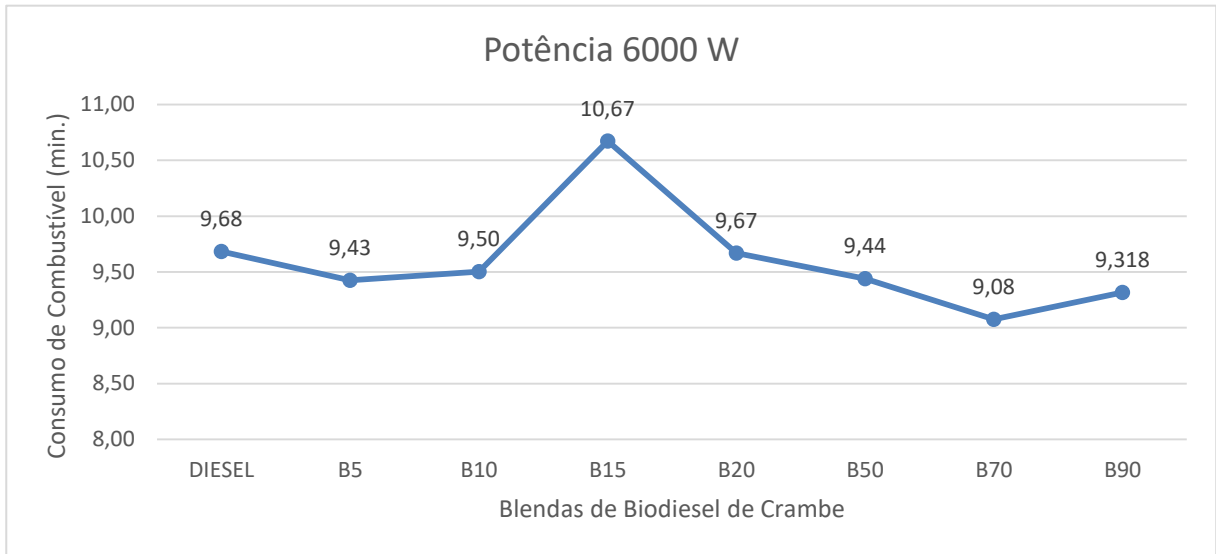


Figura 25: Consumo Energético em Potência de 6,0 kW.  
FONTE: AUTOR (2022).

Entre as blendas estudadas, a que resultou no melhor CE foi B70 (Tabela 19) quando aplicada a carga nominal de 6,0 kW, apresentando um CE de 9,08 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Enquanto o CE do diesel D100 para a mesma carga apresentou 9,68 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Já na mistura B90, foi registrado um CE de 9,31 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Segundo XUE et al. (2011) em trabalhos semelhantes, quando aplicado biocombustível em motores diesel, o CE do biodiesel foi maior, e a redução do CE foi possível quando se diminuiu a mistura de biodiesel ao diesel convencional.

Tabela 19. Resultados de Consumo Energético, Blendas e Diesel

Amostra dos Dados de Consumo Energético (C.E.)																
Potência	DIESEL		B5		B10		B15		B20		B50		B70		B90	
		MD		MD		MD		MD		MD		MD		MD		MD
P500	2,54		5,45		5,92		7,89		5,44		5,46		7,10		5,92	
P500	2,37	2,40	6,44	5,49	5,92	6,02	5,46	6,52	5,44	5,07	5,46	5,23	5,46	5,71	5,07	5,322
P500	2,45		5,45		5,91		5,92		4,71		5,07		5,46		5,07	
P500	2,37		5,06		5,91		5,46		4,71		5,07		5,08		5,46	
P500	2,29		5,06		6,45		7,87		5,04		5,07		5,46		5,07	
P500	2,29		5,06		6,45		7,87		5,04		5,07		5,46		5,07	
P1500	3,20	3,02	6,35	7,03	7,94	7,09	7,37	7,29	5,99	14,93	6,38	6,19	6,39	6,28	6,39	6,584
P1500	3,09		3,81		5,01		7,97		6,39		5,98		5,99		6,85	
P1500	2,90		5,95		7,94		7,36		6,38		7,36		5,98		6,85	
P1500	2,90		9,52		5,01		7,36		47,91		5,63		5,64		6,84	
P1500	2,99		9,53		9,53		6,38		7,98		5,63		7,37		5,99	
P4500	10,89	9,78	10,85	10,23	10,00	17,03	10,78	13,73	10,84	9,99	10,14	9,88	10,43	9,76	10,05	9,347
P4500	9,68		10,01		10,34		8,70		10,79		10,39		10,77		9,99	
P4500	10,00		10,36		8,93		13,89		9,32		9,32		9,30		9,00	
P4500	9,31		9,97		27,93		7,50		9,97		9,63		9,30		8,70	
P4500	9,01		9,97		27,95		27,78		9,00		9,95		8,99		8,99	
P6000	9,56	9,68	9,83	9,43	10,71	9,50	11,50	10,67	9,82	9,67	10,39	9,44	9,29	9,08	9,82	9,318
P6000	10,11		9,32		9,82		10,76		9,83		9,55		8,83		9,29	
P6000	9,84		9,32		9,07		9,85		9,56		9,05		8,41		8,83	
P6000	9,33		9,08		9,07		9,84		9,82		9,80		9,80		9,81	
P6000	9,58		9,58		8,84		11,42		9,31		8,41		9,05		8,83	

Fonte: AUTOR. (2022).

Os valores médios de CE para as cargas resistivas de 0,5; 1,5; 4,5 e 6,0 kW, respectivamente, podem ser observados na Tabela 17. O CE superior apresentado ocorreu na mistura do B10 para a maior carga (4,5 kW), com valores de  $27,95 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , enquanto o consumo inferior do CE ocorreu na carga de 0,5 kW com  $5,07 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$  quando abastecido com combustível B20.

Serdar, Can e Ozt (2017) relatam em seus estudos com misturas de biodiesel de canola (5, 10, 15 e 20% em volume) ao óleo diesel, que quando aplicadas em um motor monocilindrico com variações de cargas, encontrando aumento do CE com o aumento da proporção do combustível, o que corrobora com os estudos realizados no presente trabalho.

### 4.3 Emissões e temperatura dos gases de escape

As variações das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para todas as cargas e os diferentes combustíveis testados podem ser observadas na Tabela 20. Para motores a diesel, um dos parâmetros que determina o desempenho de combustão de determinado combustível será a emissão de CO<sub>2</sub>, indicando que o hidrocarboneto atingiu sua combustão completa (ERDO, 2020). A emissão de monóxido de carbono (CO) depende do conteúdo de oxigênio, do conteúdo de carbono e da eficiência de combustão do combustível aplicado ao motor. Durante a combustão, o carbono presente no combustível sofre reações de oxidação e redução. O teor de carbono contido no combustível oxida com o oxigênio presente no ar produzindo CO e, posteriormente, em CO<sub>2</sub>. Se houver menor disponibilidade de oxigênio, isso causará a combustão incompleta do combustível utilizado, liberando, conseqüentemente, maiores taxas de CO (SAKTHIVEL et al., 2014).

Tabela 20. Amostra dos Dados de CO<sub>2</sub>

Potência	DIESEL	B5	B10	B15	B20	B50	B70	B90
P500	3,95	3,68	3,75	3,55	3,45	3,56	3,52	3,6
P500	3,95	3,71	3,68	3,61	3,48	3,37	3,53	3,42
P500	3,99	3,66	3,56	3,46	3,41	3,4	3,54	3,38
P1500	5,67	7,88	3,39	5,21	5,16	5,02	3,68	5,01
P1500	5,67	8,52	7,99	5,24	5,17	5,01	3,69	4,99
P1500	5,66	8,66	8,14	5,24	5,15	4,67	3,7	7
P4500	8,86	8,61	9,11	6,75	5,16	7,97	3,73	8
P4500	8,84	9,93	9,67	6,65	5,16	8,11	3,74	8,01
P4500	8,86	10,24	9,91	6,48	7,12	8,14	3,75	7,95
P6000	10,1	10,32	10,01	6,38	7,86	8,71	3,76	8,69
P6000	10,46	10,38	10,11	7,98	8,02	9,21	3,77	9,17
P6000	10,64	10,39	10,2	9,03	8,06	9,43	3,78	9,38

Fonte: AUTOR. (2022).

O consumo específico de Biodiesel de crambe em comparação com o Diesel S10 puro foi semelhante ao das misturas e cargas do motor. O consumo específico de combustível é maior para biodiesel de crambe (Tabela 21) e Diesel S10 puro

comercial (Grafico01 e Grafico02) a diesel, especialmente em cargas baixas. Usando misturas de biodiesel aumentou a quantidade de combustível necessária para obter a mesma quantidade de potência de frenagem do motor porque um aumento no teor de biodiesel reduziu o poder calorífico.

Tabela 21. Teste de Normalidade CO<sub>2</sub>

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
DIESEL	12	0	12	3,950	10,640	7,221	2,655
B5	12	0	12	3,660	10,390	7,998	2,739
B10	12	0	12	3,390	10,200	7,460	2,942
B15	12	0	12	3,460	9,030	5,798	1,756
B20	12	0	12	3,410	8,060	5,600	1,763
B50	12	0	12	3,370	9,430	6,383	2,410
B70	12	0	12	3,520	3,780	3,683	0,097
B90	12	0	12	3,380	9,380	6,550	2,320

Fonte: AUTOR. (2022).

O Teste de Shapiro-Wilk (B20 | P1500):

W	1,000
p-valor	1,000
alfa	0,05

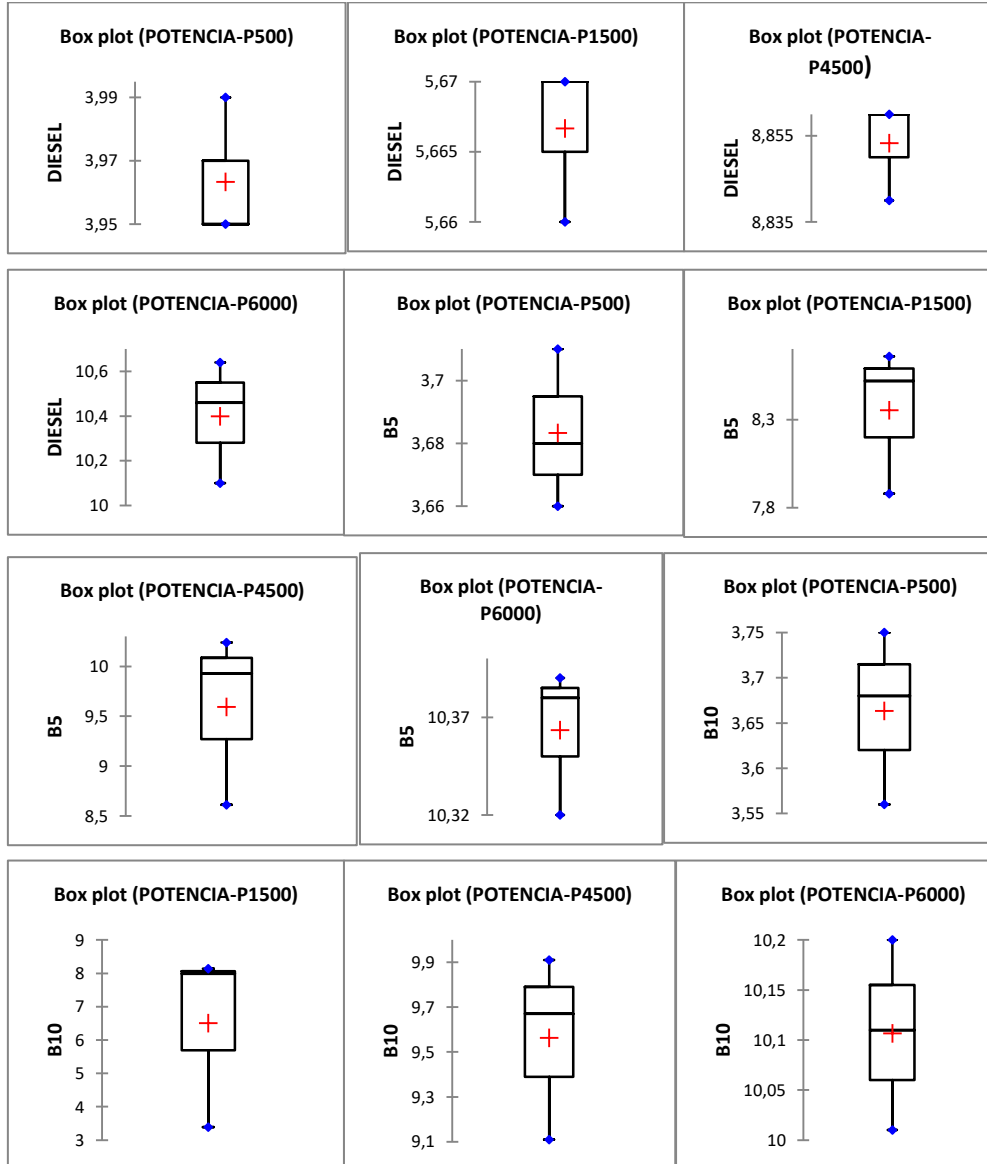
Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

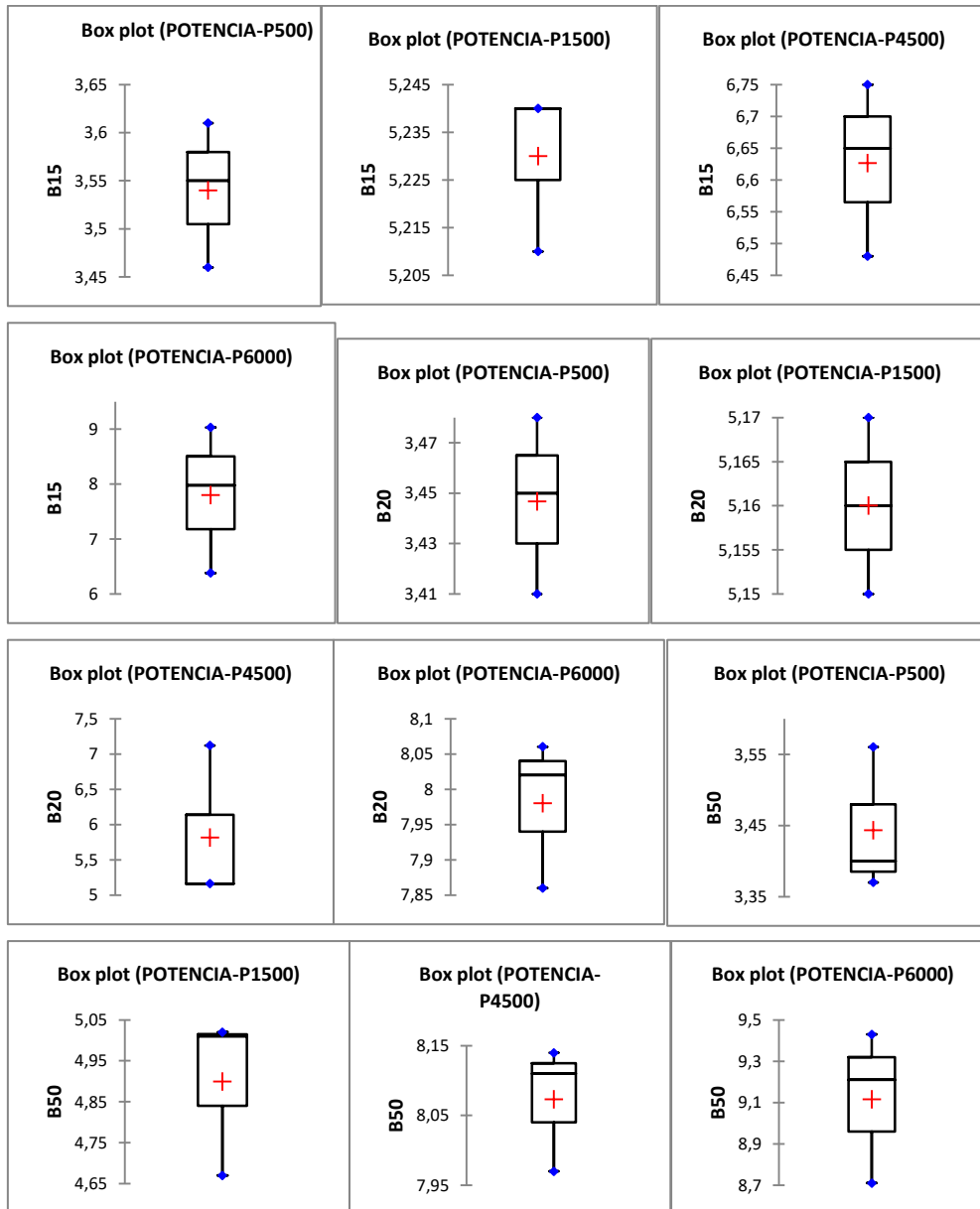
Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

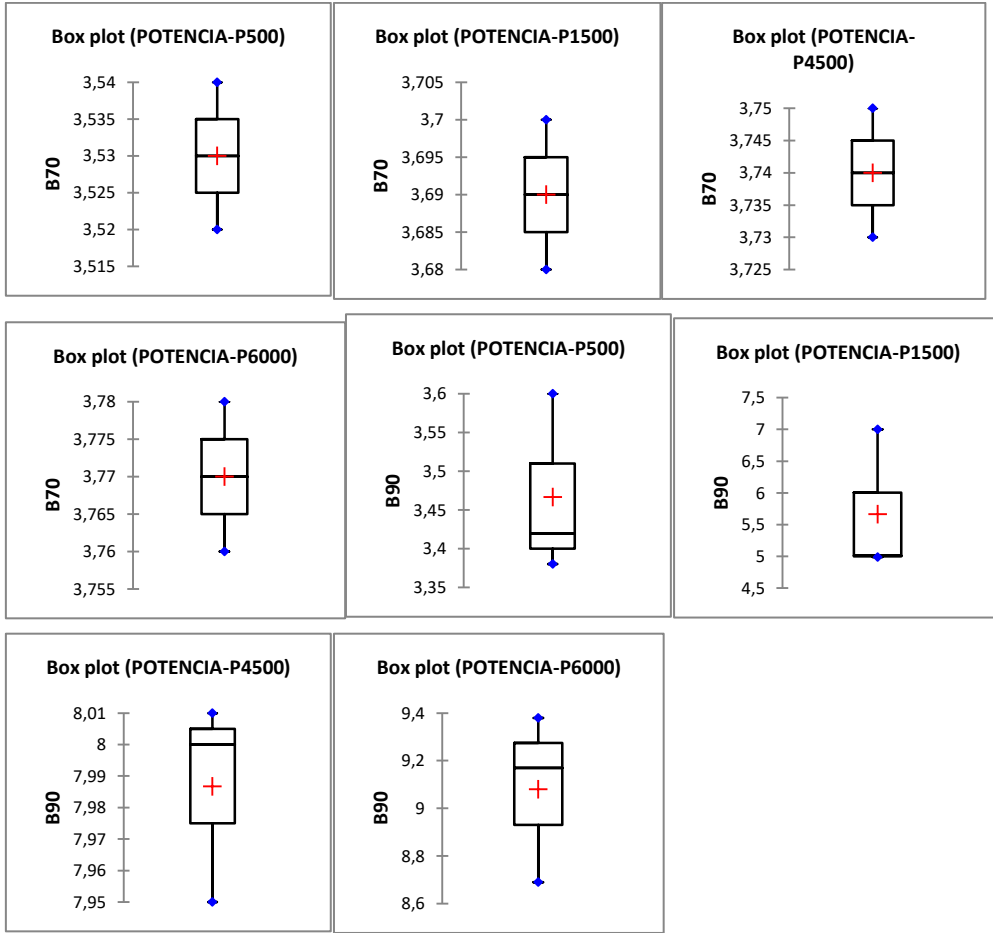
Como o p-valor calculado é maior que o nível de significância  $\alpha=0,05$ ; não se rejeita a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0, quando ela é verdadeira é de 100%.

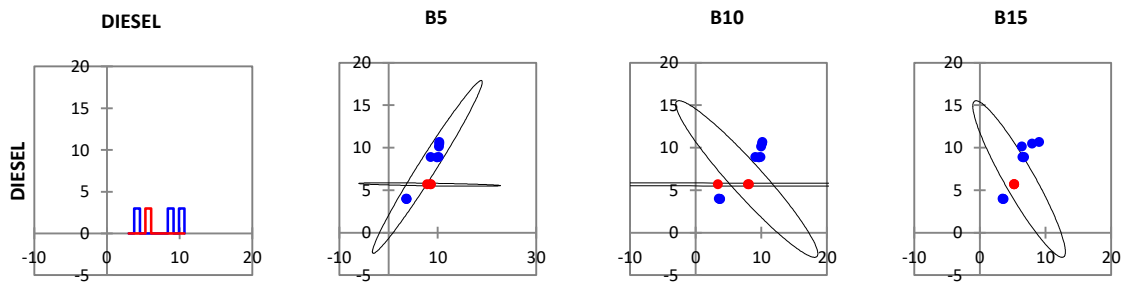
Gráficos 01. Teste de Box Plot CO<sup>2</sup>

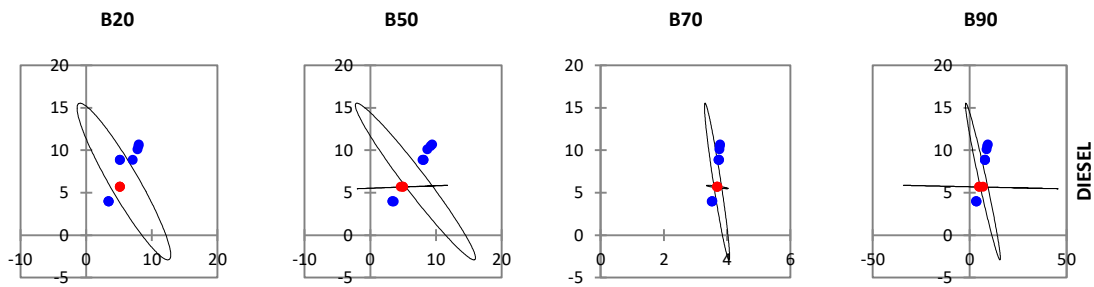






Gráficos 02. Correlação Pearson CO<sup>2</sup>





A densidade do biodiesel aumentou linearmente em função do aumento do óleo vegetal nas misturas de biodiesel independente da oleaginosa. A densidade aumentou de 0,84 para 0,89 g cm<sup>3</sup> para o biodiesel de soja, de 0,84 para 0,90 g cm<sup>3</sup> para o biodiesel de linhaça e de 0,84 para 0,88 g cm<sup>3</sup> para o biodiesel de crambe para as misturas B10 e B70, respectivamente. A densidade do diesel foi de 0,83 relatou (Leite et al., 2019). O biodiesel (Mofijur et al., 2014) relatou que a redução de potência com o uso de palma (B10) e moringa (B10) biodiesel pode ser causado pela alta viscosidade dos óleos. Além disso, a presença de oxigênio no biodiesel pode causar uma diminuição no motor poder (Dorado et al., 2003; Erdogan et al., 2019). Em uma revisão de (Yesilyurt et al., 2020), foi relatado que os pesquisadores geralmente encontraram uma redução de potência com o uso de misturas de biodiesel de cártamo, observado com outras matérias-primas e oleaginosas. (Ilkılıç et al., 2011) observaram que a potência de um motor a óleo diesel era maior do que a do motor usando misturas de biodiesel. No entanto, no motor inferior cargas, a potência do motor de misturas de biodiesel de crambe e biodiesel foi aproximadamente o mesmo (Gráfico-02), de acordo com (Ilkılıç et al., 2011). Isso pode ser atribuído à maior temperatura eficiência do motor de teste com o uso de misturas de biodiesel. Como biodiesel combustível tem tempo suficiente para serem totalmente queimados em velocidades mais baixas, a conversão de combustível em energia é suficiente (Ilkılıç et al., 2011).

O dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) na sua formação é comum em motores alimentados por combustível diesel, sendo um fenômeno complexo, e depende de três fatores importantes: temperatura de combustão, concentração de oxigênio e atraso da ignição (QI et al., 2010). Segundo os mesmos autores, as emissões de NO<sub>2</sub> do biodiesel e suas misturas são ligeiramente maiores do que as do combustível diesel

mineral. Essa diferença de emissão de  $\text{NO}_2$  entre o óleo diesel e o biodiesel e suas misturas não é superior a 100 ppm, o que mostra compatibilidade no presente trabalho realizado e pode ser observado na Figura 26, na qual se registra a variação de  $\text{NO}_2$  em relação à energia desenvolvida nas cargas. Pode-se observar, ainda, que conforme a carga foi elevada, a emissão de  $\text{NO}_2$  aumentou.

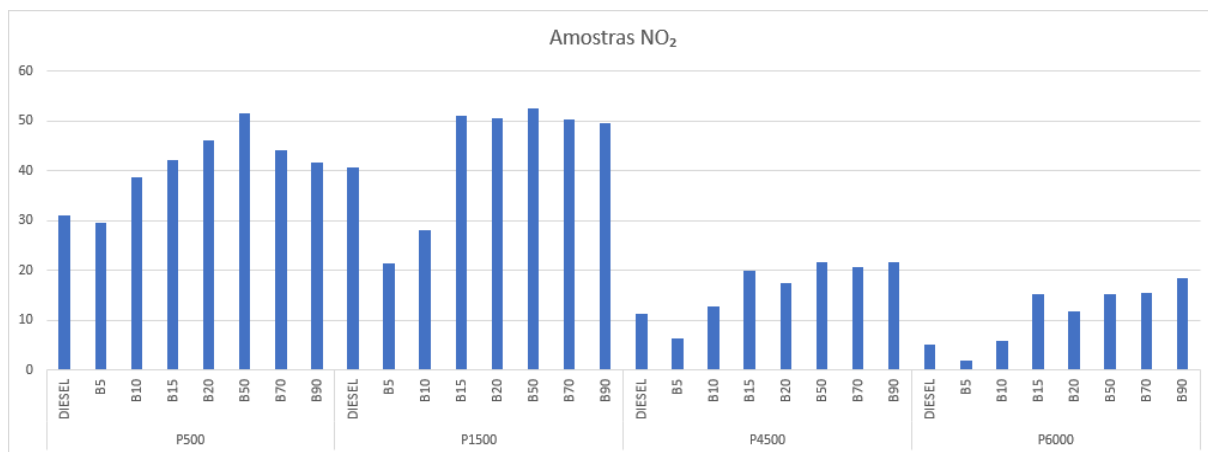


Figura 26. Amostra dos Dados de  $\text{NO}_2$ .  
Fonte: AUTOR. (2022).

Na Tabela 22, podem ser observados os resultados referentes às emissões de  $\text{NO}_2$ . A menor emissão média de  $\text{NO}_2$  foi observada quando o motor utilizou o combustível B15, apresentando 81,32 ppm, que é o mais próximo da emissão do diesel com 81,16 ppm quando aplicada a carga de 1kW. Enquanto as maiores emissões de  $\text{NO}_2$  foram registrados para as cargas superiores, chegando a 20 ppm e 18 ppm com B90 respectivamente para as cargas de 4,5 e 6,0 kW. Já o diesel D100 apresentou 10 ppm e 4 ppm para as mesmas cargas. Diversos autores relatam aumento nas emissões de  $\text{NO}_2$  com aumento da carga e misturas de biodiesel ao diesel mineral (SERDAR; CAN; OZT, 2017; DHARMA et al., 2017; MOHAMMAD et al., 2017).

Tabela 22. Amostra dos Dados de NO<sub>2</sub>

Potência	DIESEL	B5	B10	B15	B20	B50	B70	B90
P500	31	30	39	44	46	52	42	41
P500	32	31	41	47	46	53	46	43
P500	33	31	42	48	47	56	47	44
P1500	41	22	28	52	51	51	50	49
P1500	42	23	29	51	51	51	51	51
P1500	43	22	29	54	52	52	51	52
P4500	11	6	12	20	17	20	20	21
P4500	10	6	13	19	16	19	19	20
P4500	10	6	14	18	16	18	18	20
P6000	5	2	6	15	12	15	16	18
P6000	4	2	5	14	11	14	15	18
P6000	4	2	5	13	11	14	15	18

Fonte: AUTOR. (2022).

O consumo específico de Biodiesel de crambe em comparação com o Diesel S10 puro foi semelhante ao das misturas e cargas do motor. O consumo específico de combustível é maior para biodiesel de crambe (Tabela 23) e Diesel S10 puro comercial (Grafico01 e Grafico02) a diesel, especialmente em cargas baixas. Usando misturas de biodiesel aumentou a quantidade de combustível necessária para obter a mesma quantidade de potência de frenagem do motor porque um aumento no teor de biodiesel reduziu o poder calorífico.

Tabela 23. Teste de Normalidade de NO<sub>2</sub>

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
DIESEL	12	0	12	4,000	43,000	22,167	16,095
B5	12	0	12	2,000	31,000	15,250	12,241
B10	12	0	12	5,000	42,000	21,917	14,343
B15	12	0	12	13,000	54,000	32,917	17,433
B20	12	0	12	11,000	52,000	31,333	18,470
B50	12	0	12	14,000	56,000	34,583	18,841
B70	12	0	12	15,000	51,000	32,500	16,256
B90	12	0	12	18,000	52,000	32,917	14,718

Fonte: AUTOR. (2022).

O Teste de Shapiro-Wilk (B20 | P1500):

W	1,000
p-valor	1,000
alfa	0,05

Interpretação do teste:

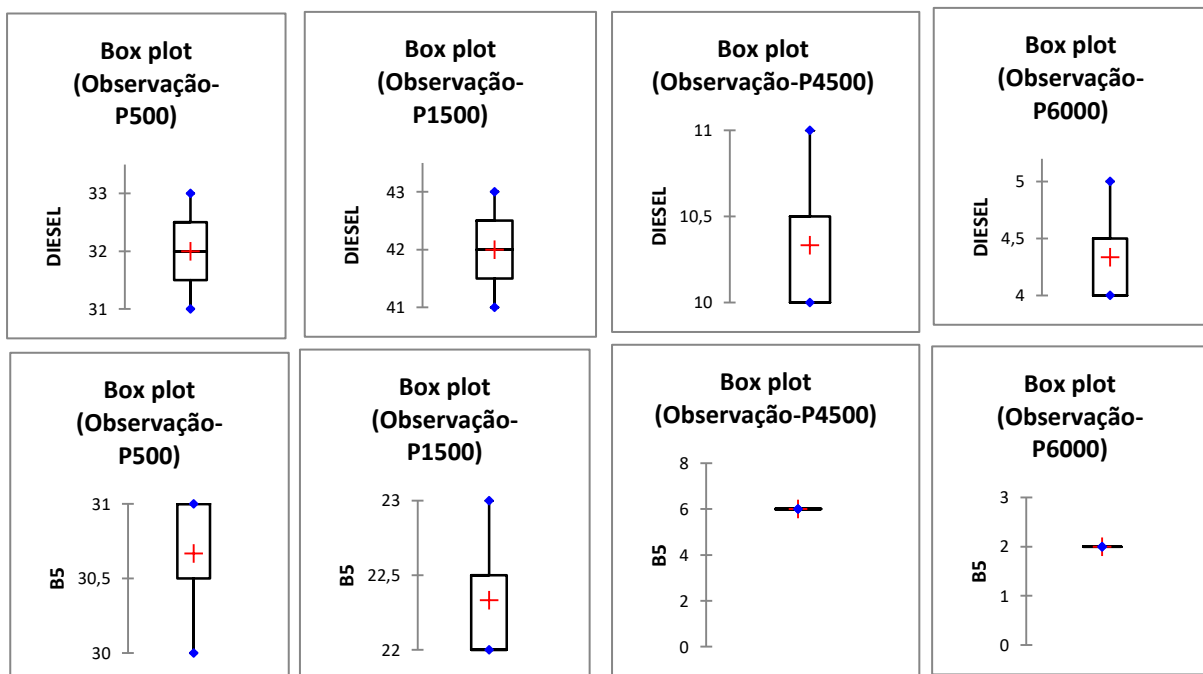
H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

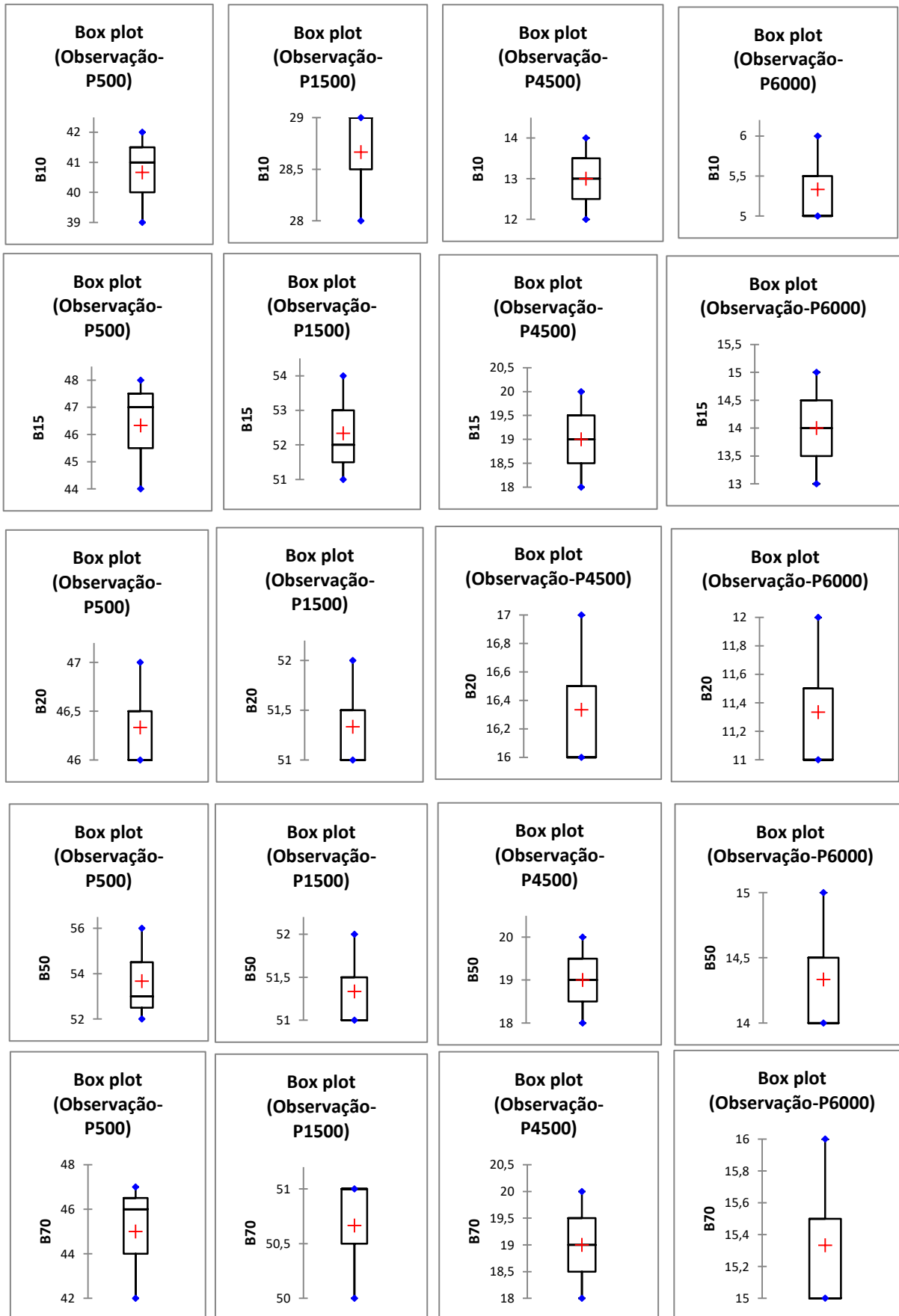
Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

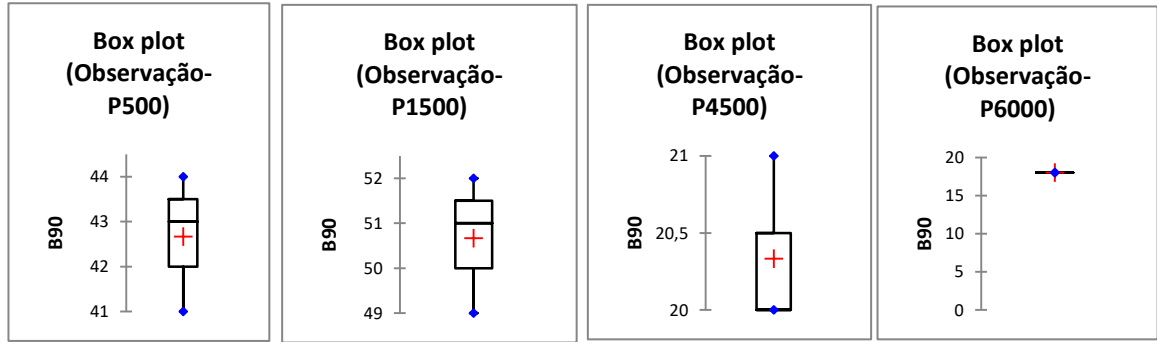
Como o p-valor calculado é maior que o nível de significância  $\alpha=0,05$ ; não se rejeita a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0, quando ela é verdadeira é de 100%.

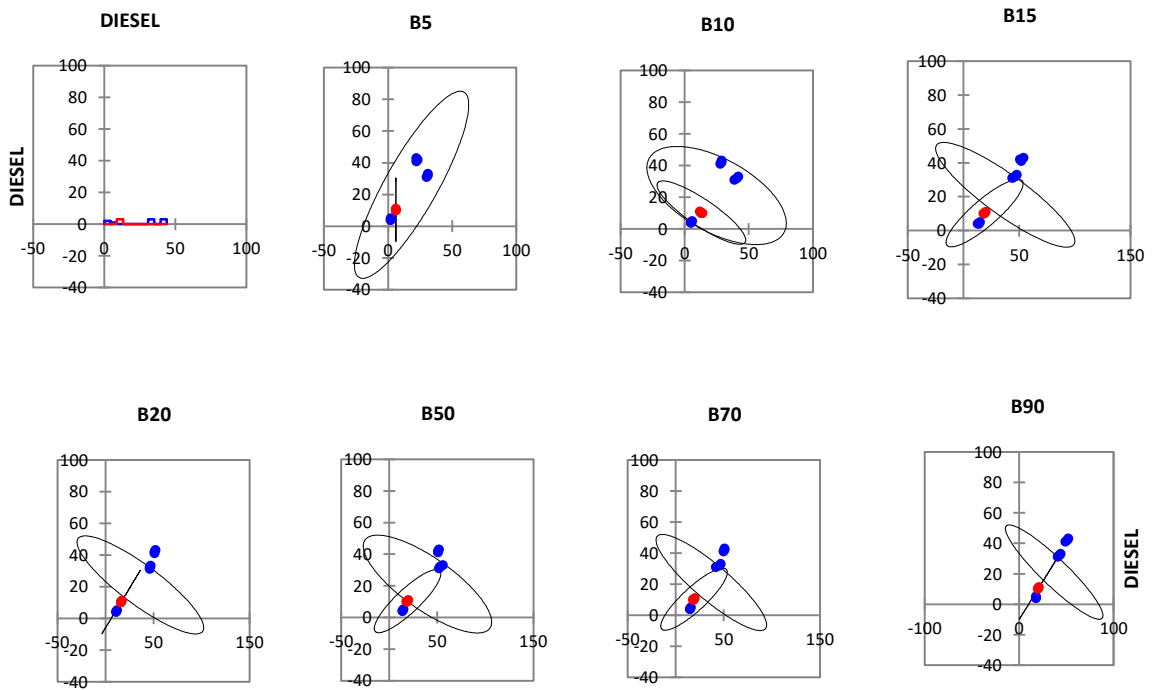
Gráficos 01. Teste de Box Plot NO<sub>2</sub>







Gráficos 02. Correlação Pearson NO<sub>2</sub>





As emissões de CO em motores de combustão interna por compressão, essas emissões são determinadas principalmente pela razão de equivalência entre combustível/ar. Sendo assim, a disponibilidade de oxigênio no biodiesel pode permitir que mais moléculas de carbono oxidem em comparação com o combustível diesel convencional nas condições normais de operação do motor (ÖZENER et al., 2014).

Como pode ser observado na Figura 27, o biodiesel produziu menores emissões de CO em comparação com diesel mineral AS-10 (D100) em quase todas as cargas aplicadas ao motor. Particularmente, as taxas de redução de emissão de CO foram mais evidentes quando o biodiesel foi usado em cargas mais elevadas, chegando à redução acima de 50% para o combustível B100 quando aplicada a carga de 4,5 kW, apresentados na Tabela 24.

Neste estudo, em média, as emissões de CO diminuíram 45,15; 48,66 e 58,03% com o uso do biodiesel de canola B100 para as cargas 0,5; 1,5 e 4,5 kW, respectivamente, apresentando resultados semelhantes conforme Öztürk (2015).

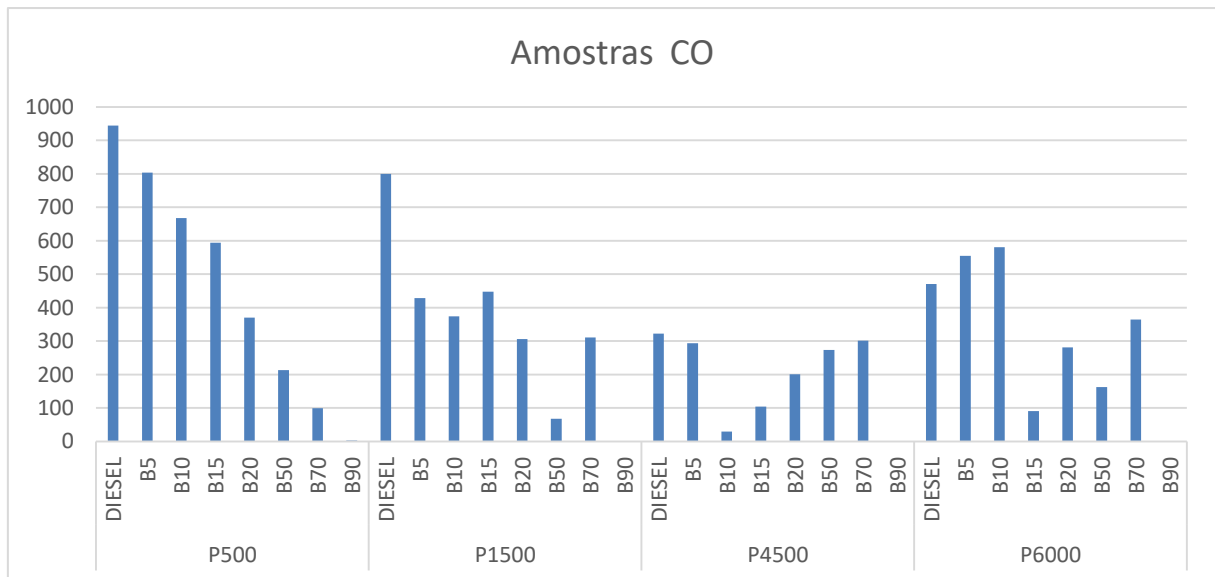


Figura 27. Amostra dos Dados de CO  
Fonte: AUTOR. (2022).

Tabela 24. Amostra dos Dados de CO

Potência	DIESEL	B5	B10	B15	B20	B50	B70	B90
P500	998	792	648	607	370	254	154	7
P500	961	817	643	600	366	233	68	5
P500	948	783	612	601	371	180	47	0
P1500	822	465	393	480	290	126	299	0
P1500	804	411	356	443	330	52	340	0
P1500	803	413	356	453	322	72	325	0
P4500	373	492	22	91	192	340	350	0
P4500	321	520	24	79	198	237	456	0
P4500	423	165	34	110	208	288	298	0
P6000	521	584	657	89	440	186	316	0
P6000	547	588	672	92	290	176	360	0
P6000	484	592	737	95	302	181	339	0

Fonte: AUTOR. (2022).

Simsek (2020) também encontrou valores de reduções de monóxido de carbono (CO) semelhantes, após testar o biodiesel a partir do óleo de canola, e obteve redução aproximada de 50% em relação aos combustíveis diesel com baixo e ultrabaixo teor de enxofre, corroborando com os dados encontrados no presente trabalho.

A Tabela 25 apresenta os dados da análise estatística do CO para as blends dos combustíveis testados, onde as médias seguidas pelo teste de pearson.

Tabela 25. Teste de Normalidade de CO

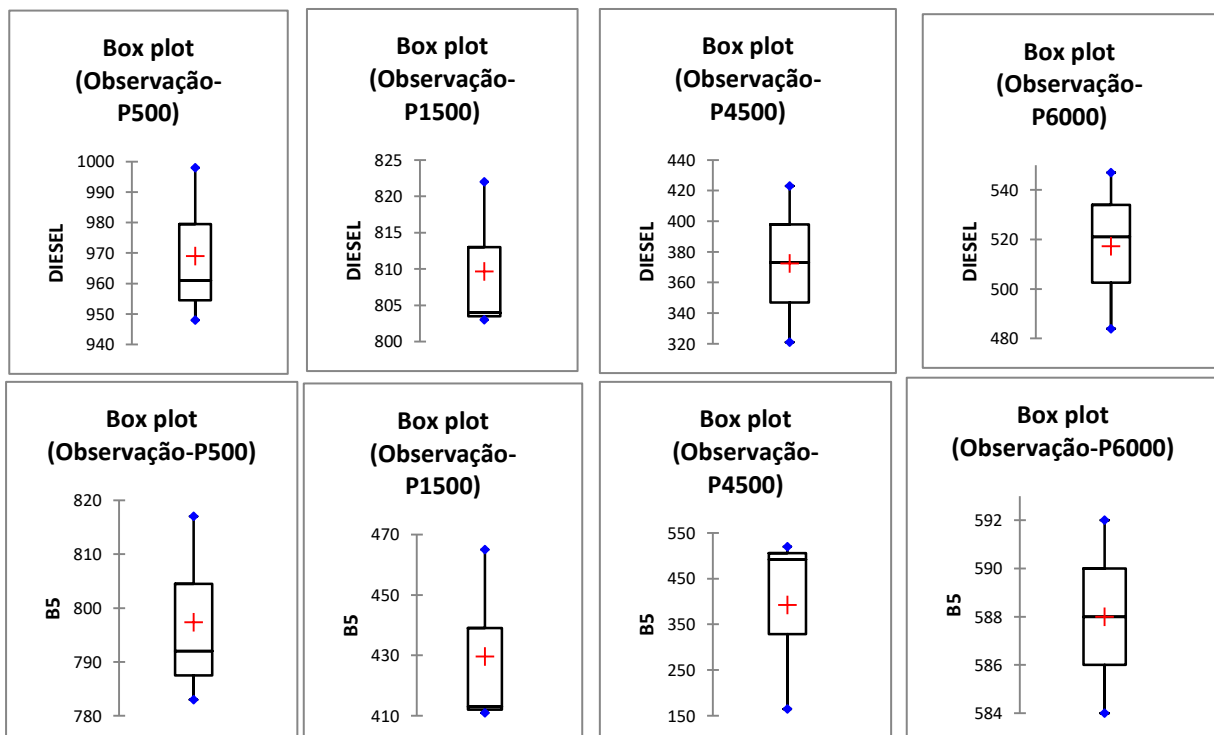
Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
DIESEL	12	0	12	321,000	998,000	667,083	247,008
B5	12	0	12	165,000	817,000	551,833	187,391
B10	12	0	12	22,000	737,000	429,500	274,821
B15	12	0	12	79,000	607,000	311,667	235,083
B20	12	0	12	192,000	440,000	306,583	77,164
B50	12	0	12	52,000	340,000	193,750	83,962
B70	12	0	12	47,000	456,000	279,333	123,754
B90	12	0	12	0,000	7,000	1,000	2,374

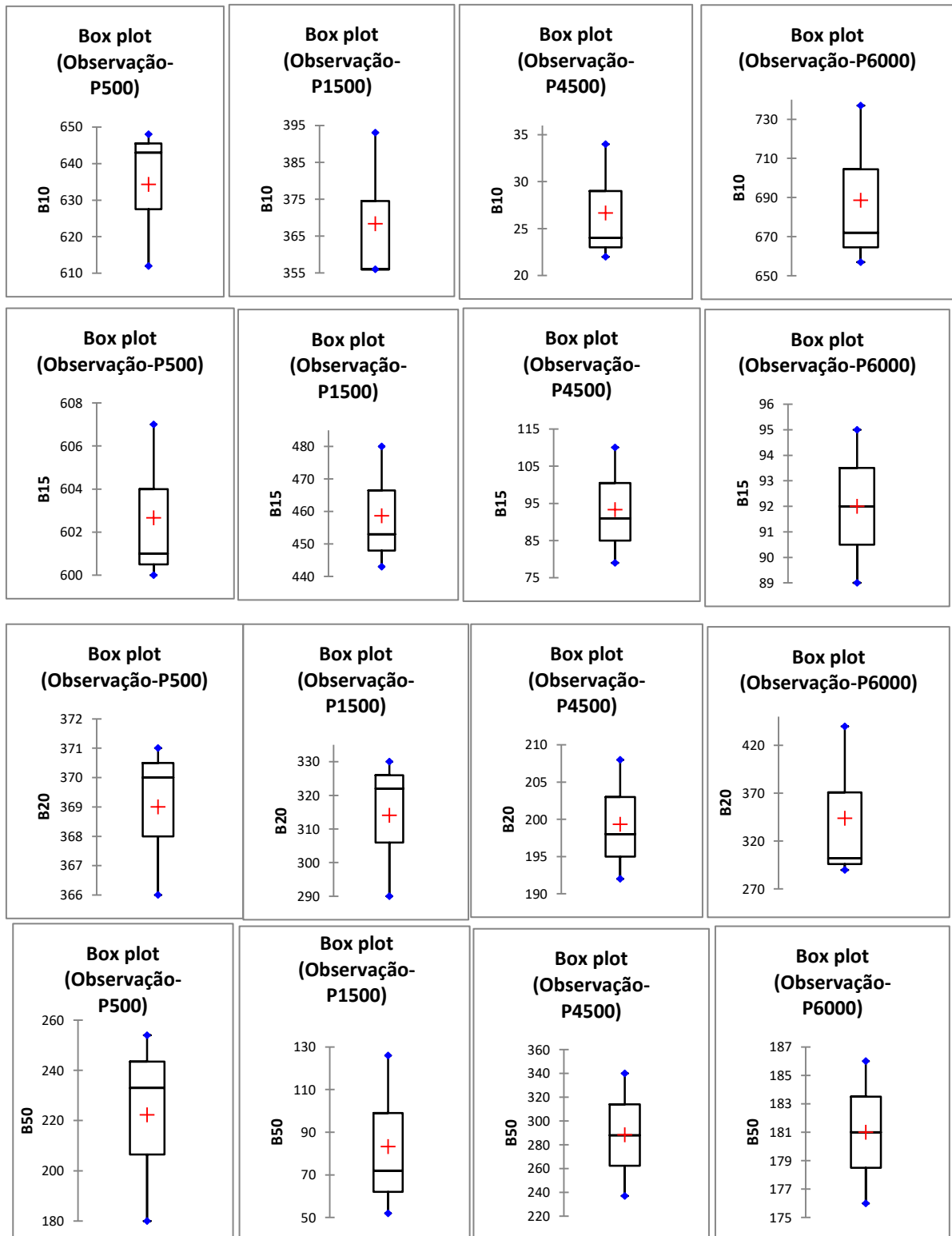
Fonte: AUTOR. (2022).

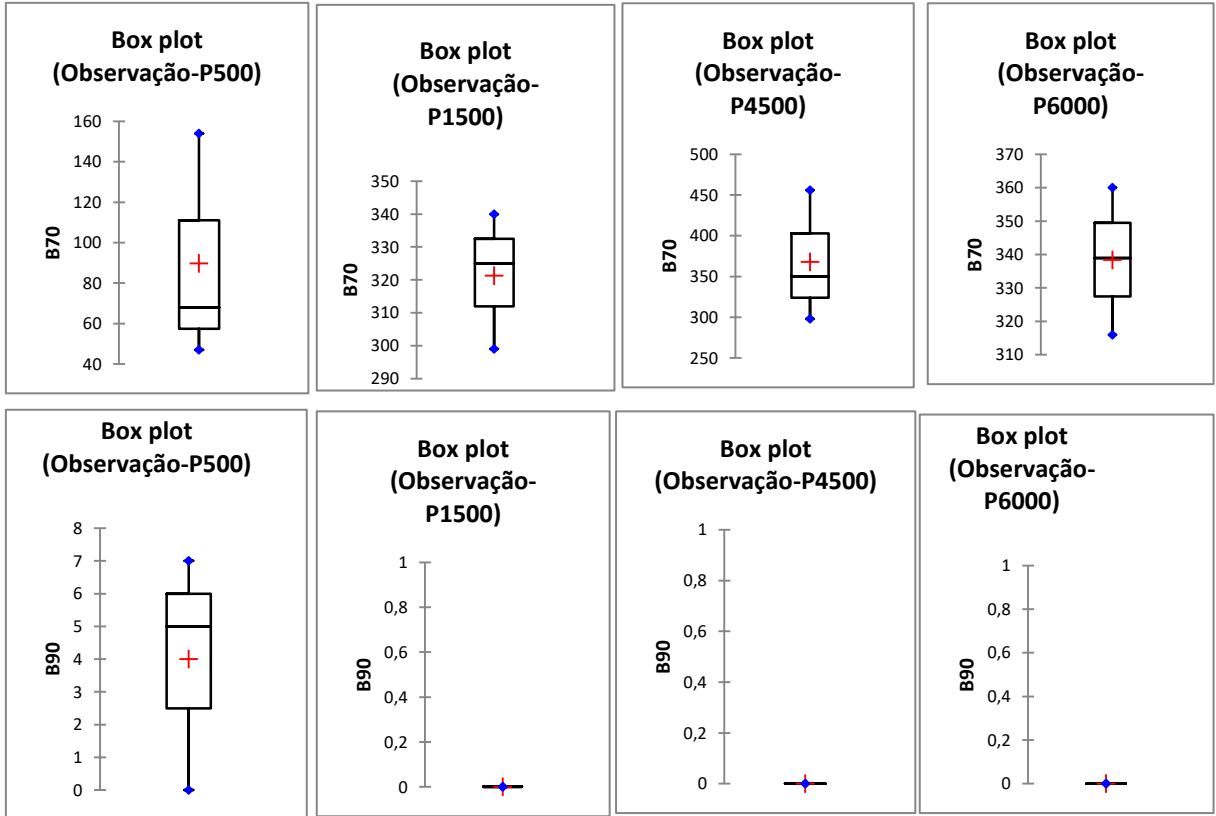
A emissão de monóxido de carbono (CO) depende do conteúdo de oxigênio, do conteúdo de carbono e da eficiência de combustão do combustível aplicado ao motor. Durante a combustão, o carbono presente no combustível sofre reações de oxidação e redução. O teor de carbono contido no combustível oxida com o oxigênio presente no ar produzindo CO e, posteriormente, em CO<sub>2</sub>. Se houver menor disponibilidade de oxigênio, isso causará a combustão incompleta do combustível utilizado, liberando, conseqüentemente, maiores taxas de CO (SAKTHIVEL et al., 2014).

No entanto, as formações de CO e CO<sub>2</sub> para os combustíveis testados indicaram níveis diferentes em relação à carga aplicada ao motor, sendo a redução das emissões de CO mais evidente, enquanto o CO<sub>2</sub> permaneceu pouco expressivo quando comparado ao diesel mineral AS-10 (D100).

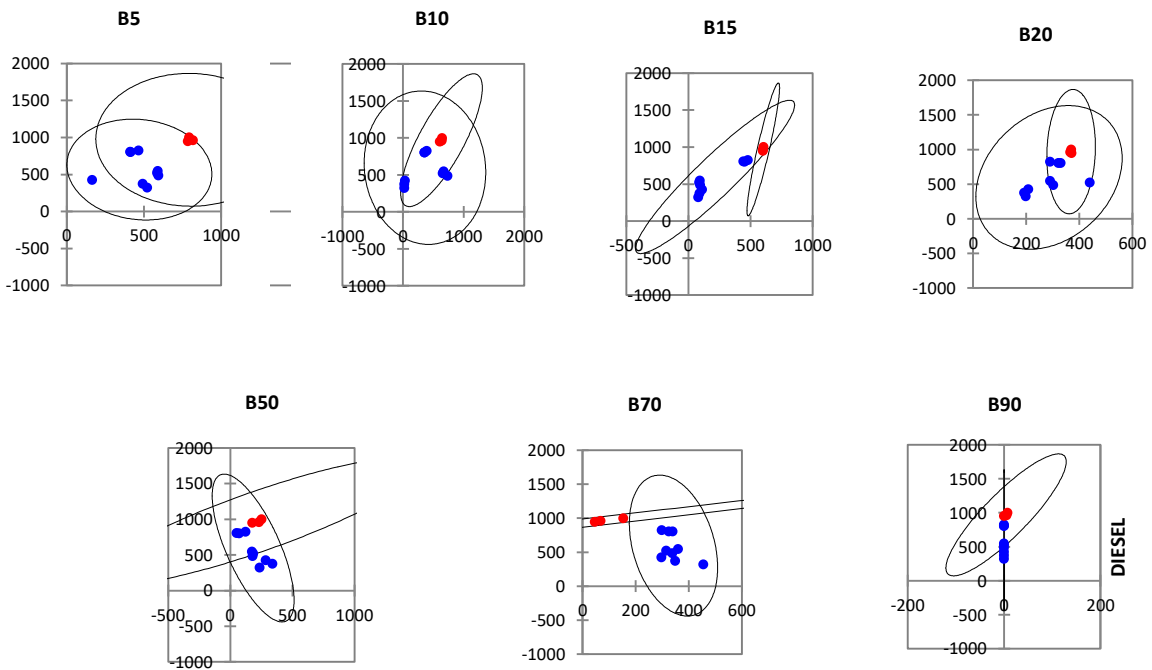
Gráficos 01. Teste de Box Plot CO







Gráficos 02. Correlação Pearson CO



#### 4.4 Efeito nas emissões

As emissões de CO<sub>2</sub> foram diferentes ao biodiesel de crambe em comparação com diesel comercial, em baixas cargas. Após a carga do motor atingiu 3000 W, os valores de CO<sub>2</sub> começaram a diferir, de acordo com Simsek e Uslu (2020). A emissão de CO<sub>2</sub> diminuiu para diesel puro S10 puro em comparação com biodiesel de crambe B20. Simsek e Uslu (2020) observaram que em cargas de 3000 W, a maior emissão de CO<sub>2</sub> foi alcançada com o B5, enquanto o menor valor de emissão de CO<sub>2</sub> foi alcançado com B20. O oxigênio presente no biodiesel melhora a queima de moléculas de carbono levando a mais combustão completa (Aydın, 2020). Com cargas mais altas do motor e a resultando em temperaturas de combustão mais altas, o uso de biodiesel resulta em desempenho mais eficiente gerando menos emissões de CO (Kivevele et al., 2011). A emissão de CO<sub>2</sub> diminuiu com o aumento da concentração de biodiesel, especialmente sob altas cargas para biodiesel crambe e diesel S10 comercial (Tabela 19 e Gráfico 2). A emissão de CO<sub>2</sub> do escapamento representa uma perda de energia química durante a combustão devido à queima incompleta do óleo diesel (Kalam et al., 2003; Deheri et al., 2020). Em motores a diesel, um alto índice de cetano é um parâmetro que melhora a combustão. Com o uso de alto cetano combustíveis, a taxa de combustão incompleta diminui e a quantidade total de a combustão aumenta (Simsek e Uslu, 2020b; Selvan et al., 2021).

## 5 Conclusão

Levando – se em conta o que foi observado através das emissões e o desempenho de um motor gerador usando blendas de biodiesel de crambe e, comparados com os de um motor usando biodiesel comercial S10 e embora o crambe não atenda à demanda comercial de biodiesel no Brasil, estudos detalhados como este, são necessários para diversificar com espécies desconhecidas, dado o aumento misturas e aumento da demanda por biodiesel. Geralmente, as características do biodiesel de óleo de crambe e suas misturas são semelhantes às do diesel comercial. Em relação ao desempenho do motor, o consumo específico de biodiesel crambe e diesel comercial foi semelhante. Apesar do crambe B15 reduzir o consumo específico em 2% em relação ao diesel (S10) a uma carga de 6000 W, o biodiesel de crambe B20 mostrou - se menores emissões de CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>2</sub>, em comparação com o diesel comercial em altas cargas do motor. Sendo assim, a mistura de biodiesel de Crambe B20 é uma alternativa viável para a substituição parcial do diesel convencional.

## 6 Referências Bibliográficas

ABDALLA, A. L. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. spe, p. 260-268, July 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL); AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Perspectivas da termelétricidade no Brasil: relatório técnico**. Brasília, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Provisional Brazilian Biodiesel Standard**. ANP, Brasília, DF, Brazil, 2003.

AGOPYAN, V.; **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2012.

ANTONIASSI, M.; CONCEIÇÃO, A. L. C.; POLETTI, M. E. "Characterization of breast tissues using Compton scattering". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, **Detectors and Associated Equipment**, v. 19, n. 1-3, p. 375-378, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999, Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, sv, p. 82 - 87, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC n. 270, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. Brasília: Diário Oficial da União 2005.

ATADASHI, I. M. et al. The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 16, n. spe. p. 3456-3470, 2008.

AMERICAN OIL CHEMIST' SOCIETY (AOCS). **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society**. Method Cc 17- 95. 2008

BAUDET, L.M.L. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENAL, M.D.; ROTA, G.R. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**, Pelotas: Ed. Universitária – UFPEL, v. 2, n. 6, p. 366-418, 2003.

Bassegio, D., Zanotto, M. D., Santos, R. F., Werncke, I., Dias, P. P., Olivo, M., 2016. **Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil**. *Renew Sust Energ Rev*. 66, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.010>



Bassegio, D., Zanotto, M.D., 2020. **Growth, yield, and oil content of Brassica species under Brazilian tropical conditions.** *Bragantia* 79, 203–212.  
[https://doi.org/ 10.1590/1678 4499.20190411](https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190411)

BENELLI, P. **Agregação de valor ao bagaço de laranja (*Citrus sinensis* L. osbeck) mediante obtenção de extratos bioativos através de diferentes técnicas de extração.** Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2010.

BEZERRA, P. H. S. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe, para a produção de biodiesel. **Revista Botucatu.** v. 70, n.spe, 2014.

BISPO, A. S. et al. Caracterização de óleos vegetais extraídos mecanicamente sob condições variadas, visando a produção de biodiesel. In: 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel; 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2010, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, MG: TECPAR, 2010.

BONDIOLI, P. et al. Native *Crambe abyssinica* oil and its derivatives as renewable lubricants: na prproach to improve its quality by chemicals and biotechnological processes. **Industrial Crops and Products**, v. 1, n. spe, p. 231-238, 1998.

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Production of biodiesel from bioethanol and *Brassica carinata* oil: Oxidation stability study. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 2234-2239, 2009.

BUENO, P. L. ; LEWANDOSKI, C. F. ; SANTOS, R. F. ; REIS, L. S. ; RODRIGUES, H. V. ; BATISTA, J. A. . Automação 4.0 de prensa extrusora e aplicação energética de óleo de linhaça. **REVISTA TÉCNICO CIENTÍFICA DO CREA-PR**, v. 17, p. 1-11, 2019.

BRAGANTE, A. G. **Tecnologia de Extração de Óleo.** [s.l.:s.n]. 2009.

BRÁS, P. **Caracterização nutricional de coprodutos da extração de óleo em grãos vegetais em dietas de ovinos.** Dissertação - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa. 2011.

BRENNAN, J. G. **Food processing handbook.** Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA. Germany. 2006.

BRITO, D. M. C. **Aspectos do metabolismo de plantas de crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a diferentes doses de nitrogênio visando a produção de óleo para biodiesel.** Dissertação - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Química. 2009.

CAMPOS, M. L. **Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens.** 1998.

CARVALHO, W. P. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 157-166, fev. 2013.

CERT, A.; W. MOREDA; M. C. PEREZ CAMINOS. "Chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils". **Journal of Chromatography A**, v. 881, p. 131-148, 2000.

Cristiano, Fernando Lewandoski; Reginaldo, Ferreira Santos ; Douglas, Bassegio ; Siqueira, J. A. C. ; Souza, D. M. ; Leonardo da S. R ; Paulo, De Lima Bueno . **Oil extraction and cake bromatological properties of crambe (*Crambe abyssinica*) are affected by extraction at different temperatures and rotation speeds**. AUST J CROP SCI, 2021. doi: 10.21475/ajcs.21.15.04.p3054.

CHISTE, R. C. et al. **Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca**. **Ciênc. Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 861-864, dec. 2006.

CHRISTIE, W. W. Lipid Analysis - Isolation, Separation, Identification and Structural Analysis of Lipids. 3rd edition. **The Oily Press**, 2003.

CHU, Y.; KUNG, Y. **A study on vegetable oil blends**. **Food Chemistry**, v. 62, n. 2, p. 191-195, 1998.

COLODETTI, T. V. et al. Crambe: Aspectos Gerais Da Produção Agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v. 8, n. 14; p. 258. 2012.

COSTA, T. C. **Propriedades físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona**. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Campina Grande. 2006.

CUNHA, M. D. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas de matérias primas: sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Deheri, C., Acharya, S.K., Thatoi, D.N., Mohanty, A.P., 2020. A review on performance of biogas and hydrogen on diesel engine in dual fuel mode. **Fuel** 260, 116337. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116337>

DESAI, B. B.; KOTECHA, P. M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds Handbook: Biology, Production Processing and Storage**. 10 ed. 1997.

ECHEVENGUÁ, A. **Crambe surge como nova opção para produzir biodiesel**. 2007. Disponível em: <[www.ecoeacao.com.br](http://www.ecoeacao.com.br)>. Acesso em: 22 de março de 2017.

EM DISCUSSÃO. **Escassez de água - Cada gota é preciosa Ano 5 - Nº 23** - Dezembro de 2014.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. FAO. **Biofuels and the sustainability challenge: a global assessment of sustainability issues, trends and policies for biofuels and related feedstocks**. Trade and Market Division. Roma. v. 1, n. 2, p. 188, 2013.

FARIA JÚNIOR, C. A. **Adaptabilidade da cultura do crambe do Estado de Mato Grosso**. 67 f. Dissertação - Universidade do Estado do Mato Grosso. Tangará da Serra-MT. 2013.

FONTANA, F. et al. Agronomic characterization of some *Crambe abyssinica* genotypes in a locality of the Po Valley. **European Journal of Agronomy**, sv, n.spe, p.117–126, 1998.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 269-279, 2010.

GOMES JUNIOR, S. B. **Avaliação técnica e econômica da aplicação de óleo vegetal de Crambe como isolante elétrico em comparação com óleo de soja**. Mestrado - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP). CURITIBA. 2010.

GONGORA, B. ; SOUZA, S. N. M. ; BASSEGIO, D. ; SANTOS, R. F. ; SIQUEIRA, J. A. C. ; BARICCATTI, R. A. ; GURGACZ, F. ; SECCO, D. ; TOKURA, L. K. ; SEQUINEL, R. Comparison of emissions and engine performance of safflower and commercial biodiesels. **INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS** JCR, v. 179, p. 1-10, 2022.

HAMMOND, E.G. et al. Soybean Oil. In: SHAHIDI, F. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Edible Oils**. v. 2, n.spe, 2005.

HUANG, J. et al. **Biodiesel production from microalgae oil catalyzed by a recombinant lipase**. **Bioresource Technology**, v. 180, p. 47-53, 2015.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA IICA. **Tipologia Regionalizada dos Espaços Rurais Brasileiros: implicações no marco jurídico e nas políticas públicas/Carlos Miranda (Organizador da Série)**. Brasília. Série Desenvolvimento Rural Sustentável. v. 22, 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. sl.:sn, 2008.

JASPER, S. P. et al. Comparação do custo de produção do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleaginosas em sistema de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010a.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto.** 120 f. Tese - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu – UNESP. Botucatu-SP. 2009.

JASPER, S. P. et al. **Caracterização físico-química do óleo e do biodiesel de crambe *Crambe abyssinica* Hochst.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA E CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 9, 2010, Vitória. Anais SBEA, 2010b.

KAZMI, A. Advanced oil crop biorefineries. **Royal Society of Chemistry.** v.sv, n.spe. 2012.

KNOTHE, G. et al. **The Biodiesel Handbook.** v.sv, n.spe, 2006.

LEITE, Danilo; SANTOS, Reginaldo Ferreira; BASSEGIO, Douglas; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; SECCO, Deonir; GURGACZ, Flávio; SILVA, Tiago Roque Benetoli da. Emissions and performance of a diesel engine affected by soybean, linseed, and crambe biodiesel. *Industrial Crops and Products*, [S.L.], v. 130, p. 267-272, abr. 2019. **Elsevier BV.** <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.092>.

LEWANDOSKI, Cristiano Fernando; SANTOS, Reginaldo Ferreira; BASSEGIO, Douglas; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; SIQUEIRA, Jair Antonio Cruz; SOUZA, Diane Maschio de; REIS, Leonardo Silva; BUENO, Paulo Lima. Oil extraction and cake bromatological properties of crambe (*Crambe abyssinica*) are affected by extraction at different temperatures and rotation speeds. **AUST J CROP SCI**, [S.L.], n. 15042021, p. 594-601, 10 abr. 2021. Southern Cross Publishing. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.21.15.04.p3054>.

MACHADO, M. F. et al. **Estudo do crambe (*Crambe abyssinica*) como fonte de óleo para produção de biodiesel.** Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Itáúna, 2007.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** Piracicaba: FEALQ, v.sv, n.spe, p. 495. 2005

MARIANO, R. G. B.; COURI, S.; FREITAS, S. P. Enzymatic technology to improve oil extraction from *Caryocar brasiliense* camb. (Pequi) Pulp. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 637-643, sept, 2009.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel.** 2010. 118p. Dissertação - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

MELLO, D. F. et al. Avaliação do resíduo de nabo forrageiro extraído da produção de biodiesel como suplemento para bovinos de corte em pastagens. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, p. 45-56, 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4a ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

MIRANDA, I. C.; ARAÚJO, C. R.; MOTHÉ, C. G.; Utilização da biomassa para fins energéticos e inserção da matriz energética mundial: panorama atual e perspectiva futura; **Revista Analítica**, v. 26, n. 4, p. 98-111, 2010.

MORETTO, E.; FEET A. **Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises**. Florianópolis: Ed. da UFSC. Cidade, sl.:sn, 1998.

MPAGALILE, J. J., HANNA, M.A., WEBER, R. Design and testing of a solar photovoltaic operated multi-seeds oil press. **Renewable Energy**, v. 31, p.1855-1866, 2006.

NEVES, C. et al. Cassava processing wastewater as a platform for third generation biodiesel production. **Revista Piracicaba**. Piracicaba, v. 73, n. 5, p. 412-416, oct. 2016.

OHLSON, I. S. R. Modern processing of rapeseed. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 69, p. 195-198, 1992.

ONOREVOLI, B. **Estudo do *Crambe abyssinica* como Fonte de Matérias Primas oleaginosas: óleo vegetal, ésteres metílicos e bio-óleo**. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre Rio Grande do Sul, 2012.

ONOREVOLI, B.; JACQUES, R. A.; CARAMÃO, E. B. **Caracterização preliminar do bio-óleo produzido pela pirólise de biomassa de *Crambe abyssinica***. Trabalho apresentado durante o 16º Encontro Anual de Química Analítica (ENQA), Campos do Jordão - São Paulo, out. 2011.

OPLINGER, E. S. et al. *Crambe*, alternative field crops manual. University of Wisconsin and University of Minnesota. **St. Paul**, MN 55108. jul, 1991.

OSAWA C. C.; GONÇALVES L. A. G. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 593-599, 2006.

PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo *expeller*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, SBCTA**, v. 28, p. 66-71, 2008.

PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem de grãos de girassol e sua caracterização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p. 63-67, 2009.

PIGHINELLI, A. L. M. T. Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais. Campinas, SP: [s.n.], 2010.

PITOL, C. et al. **Pragas, doenças e invasoras. In: FUNDAÇÃO MS. Tecnologia e produção: crambe 2010.** Maracajú: FUNDAÇÃO MS, p. 37-41, 2010a.

PITOL, C. et al. **Tecnologia e produção: crambe.** [s.l.:s.n] . 2010b.

POMINSKI, J.; PEARCE, H. M.; SPADARO, J. J Partially defatted peanuts – factors affecting oil removal during pressing. **Food Technology**, v. 24, p. 92-94, 1970.

PRADO R. T. A; JOHN M. V. **Boas práticas para habitação mais sustentável.** São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

PREDOJEVIC, Z. J. The production of biodiesel from waste frying oils: a comparison of different purification steps. **Fuel Journal**, v. 87, p. 3522-3528, 2008.

RAMALHO, H. F.; SUARES, P. A. Z. A química dos Óleos e Gorduras Processos de Extração e Refino. **Revista Virtual de Química**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 5-15, 2013.

RAMOS, L. P.; WILHELM, H. M. Current status of biodiesel development in Brazil. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 121, n. 124, p. 807-820. 2005.

REDA, S. Y. **Estudo Comparativo de Óleos Vegetais Submetidos a Estresse Térmico.** Dissertação - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2004. p.153, 2004.

RIBEIRO, D. D.; DIAS, M. S. **Efeitos do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no território camponês em assentamento rural.** Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 17, n. 1, p. 15-21, mar, 2016.

RODRIGUES FILHO, M. G. **Cardanol e Eugenol Modificados – Uso Como Antioxidantes no Controle do Processo Oxidativo do Biodiesel Etílico de Algodão.** Tese - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SANTOS, G. G. et al. Aceitabilidade e qualidade físico-química de paçocas elaboradas com amêndoa de baru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 159-165, 2012.

SANTOS, M. F. G. et al. Minor components in oils obtained from Amazonian palms fruits. **Grasas y Aceites**, Madrid, v. 64, n. 5, p. 531-536, 2013.

SANTOS. S. S. **Processo De Descasque De Crambe (Crambe Abyssinica Hochst) Visando A Extração De Óleo E Armazenamento.** Dissertação – Universidade de São Paulo, Botucatu, São Paulo, 2016.

SCRIMGEOUR, C. Chemistry of Fatty Acids In: SHAHIDI, F. (Org.) **Bailey's Industrial Oil & Fat Products** 6ª ed. v.1, John Wiley & Son, New York p. 565-576, 2005.

SECCO, Deonir; Bassegio, Douglas; VILLA, Bruna de; MARINS, Araceli Ciotti de; ZANÃO Junior, Luiz Antonio; SILVA, Tiago Roque Benetoli sa; SOUZA, Samuel

Nelson Melegari de. Crambe oil yield and soil physical properties responses to no-tillage, cover crops and chiseling. **INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS JCR**, v. 161, p. 113174, 2021.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid Oxidation: Measurement Methods. In: SHAHIDI, Fereidoon. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 6. ed., v. 1, cap. 8, p. 357-386. 2005.

SILVA, C. et al. **Determinação Do Índice De Acidez Em Óleo De Milho Para Produção De Biodiesel**. o Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão. CONNEPI. 2010.

SILVA A. et al. **Effect Of Storage Of Grain In The Quality Oil And Biodiesel Crambe**. Botucatu, 2014. 74 p. Dissertação – Universidade Estadual Paulista. 2014.

SILVA, L. M. M. et al. Avaliação das características físicas e físico-químicas da pupunha. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 3, p. 5-8, 2013a.

SILVA, M. A. P. et al. **Efeito do sistema de secagem de crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) na qualidade dos grãos e do óleo para produção de biodiesel**. Dissertação - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2013b.

SILVA. M. A. P. et al. Qualidade do óleo bruto de grãos de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) sob diferentes métodos de secagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 193-199, 2013c.

SILVA, F. S. et al. Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. Revista de Ciências Agroambientais, **Alta Floresta**, v. 8, n. 1, p. 45-56, 2009.

SIMEPAR. **Temperatura e Índice Pluviométrico de Cascavel**. Disponível em: <<http://www.simepar.br> > Acesso em: 06 mai. 2017.

SINGH A. et al. Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 79, p. 165-170, 2002.

SINGH, J., BARGALE, P.C. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 75-82, 2000.

SOUZA, A.D.V. et al. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-mansão, nabo forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009.

SPINELLI, V. M. et al. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansão. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1752-1758, 2010.

SRIKANTHA, P. V. R. A search for an appropriate technology for village oil industry. India; **Lucknow (India) Publications**, 1980.

STACHIW, R. et al. Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. **Acta Amazônia**, Manaus, v. 46, n. 1, p. 81-90, mar. 2016.

TRENTINI, C. P. et al. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 4, p. 725-731, apr. 2016.

VIANA, O. H. **Cultivo de crambe na região oeste do Paraná**. Dissertação - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. 2013.

VIEIRA, S. **Análise de variância: ANOVA**. 1ª ed.; Reimpressão. São Paulo: Atlas, 2006.

VIRGENS, I. O. et al. Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. Braz. J. **Food Technology**. Campinas, v. 20, 2017.

VITAL M. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. Rio de Janeiro. **Revista do BNDES**. v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007.

WEISS, E. A. Oilseed crops. London: **Blackwell Science**, p. 364, 2000.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 65-78, 2002.