



## Produção de biodiesel a partir do óleo extravirgem de chia por transesterificação

### Production of biodiesel from extra virgin chia oil by transesterification

DOI: 10.56238/isevmjv2n4-005

Recebimento dos originais: 07/06/2023

Aceitação para publicação: 27/07/2023

#### **Rogério Pereira dos Santos**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Brasil  
E-mail: rogerio.dosantos@ifpr.edu.br

#### **Reginaldo Ferreira Santos**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Brasil  
E-mail: reginaldo.santos@unioeste.br

#### **Samuel Nelson Melegari de Souza**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Brasil  
E-mail: ssouza@unioeste.br

#### **RESUMO**

O biodiesel é um combustível alternativo obtido a partir de fontes naturais e renováveis, com várias vantagens em relação ao diesel comum. O objetivo deste trabalho foi extrair biodiesel do óleo extravirgem de chia e analisar diferentes misturas de diesel obtidas. O método para realização desse processo foi por transesterificação do óleo extravirgem de chia, com metanol e um catalisador (hidróxido de sódio), a uma temperatura de 60°C, por 1 hora. Análise do biodiesel obtido. Os resultados do biodiesel obtido apresentaram uma composição química apropriada para ser usado como combustível. A mistura mais eficiente foi aquela que continha 20% de biodiesel e 80% de diesel comum. Neste sentido, conclui-se que o óleo extravirgem de chia pode ser usado como fonte de biodiesel devido à sua composição química adequada. A mistura de 20% de biodiesel e 80% de diesel comum foi a mais eficiente em termos de emissão de gases poluentes.

**Palavras-chave:** Biodiesel de chia, Misturas biodiesel, Transesterificação.

#### **1 INTRODUÇÃO**

O biodiesel à base de chia é um combustível renovável produzido a partir de óleos vegetais, como o óleo de chia. É um combustível limpo e eficiente que pode ser usado em veículos diesel com pouca ou nenhuma modificação. O biodiesel à base de chia tem sido usado como combustível alternativo para veículos diesel porque é biodegradável, não tóxico, não poluente e tem um alto poder calorífico. Além disso, o biodiesel à base de chia é mais barato do que o diesel comum, o que o torna uma opção atraente para motoristas [11].

O biodiesel à base de chia tem um desempenho satisfatório quando usado em misturas com diesel. Estudos mostram que as misturas de biodiesel à base de chia e diesel podem melhorar significativamente o desempenho do motor, aumentando a potência, a eficiência de combustível e a economia de combustível. Além disso, as misturas de biodiesel à base de chia e diesel têm um menor impacto ambiental do que o diesel comum, pois produzem menos emissões de gases de efeito estufa [9].

De acordo com os autores [2], incentivos à produção de biodiesel podem ajudar a reduzir a poluição causada pelo diesel de petróleo. O biodiesel é uma fonte de combustível renovável que pode ser produzida a partir de fontes naturais, como óleos vegetais, gorduras animais e óleos de algas. O biodiesel é biodegradável, não contém enxofre e produz menos emissões de gases de efeito estufa do que o diesel de petróleo. Além disso, o biodiesel é mais limpo e tem menos impacto sobre a saúde humana. Portanto, incentivos à produção de biodiesel podem ajudar a reduzir a poluição causada pelo diesel de petróleo.

O uso de misturas de biodiesel em geradores de energia pode oferecer grandes benefícios ambientais. O biodiesel é um combustível renovável que é produzido a partir de fontes naturais, como óleos vegetais, óleos animais e gorduras. Ele é biodegradável, não tóxico e tem uma pegada de carbono muito menor do que os combustíveis fósseis. Além disso, o biodiesel é mais limpo do que os combustíveis fósseis, pois produz menos emissões de dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e partículas [12].

Isso significa que o uso de misturas de biodiesel em geradores de energia pode ajudar a reduzir a poluição do ar e contribuir para um meio ambiente mais saudável. No entanto, uma avaliação minuciosa das especificações do motor deve ser realizada quando são utilizadas misturas mais elevadas de biodiesel, a fim de maximizar esses benefícios e minimizar os riscos de danos ao motor [5].

Os motores a diesel são amplamente usados em ônibus, caminhões, máquinas agrícolas e geradores, devido a sua alta eficiência, potência e economia de combustível. A principal vantagem dos motores a diesel é que eles são mais eficientes do que os motores a gasolina, pois o diesel é mais denso e contém mais energia por unidade de volume do que a gasolina. Isso significa que os motores a diesel podem produzir mais potência por unidade de combustível consumido [3].

Além disso, os motores a diesel são mais duráveis e têm menos necessidade de manutenção do que os motores a gasolina. Outra vantagem dos motores a diesel é que eles são mais econômicos do que os motores a gasolina. Isso significa que eles consomem menos combustível para produzir a mesma quantidade de potência. Isso torna os motores a diesel uma opção mais econômica para

veículos que precisam de potência, como caminhões e ônibus. Em suma, os motores a diesel são mais eficientes, duráveis e econômicos do que os motores a gasolina, tornando-os a escolha ideal para veículos que precisam de potência [13].

Segundo [4], o biodiesel a base de soja é um combustível renovável que é produzido a partir da soja. Ele também é produzido por meio de um processo de transesterificação, que envolve a mistura de álcool (geralmente metanol) com óleo de soja e um catalisador. O resultado é uma mistura de álcool e óleo, conhecida como biodiesel. O biodiesel a base de soja pode ser usado em motores diesel como um combustível alternativo. Os testes de motores mostram que o biodiesel a base de soja pode melhorar o desempenho do motor, reduzindo as emissões de poluentes e aumentando a eficiência do combustível.

Além disso, o biodiesel a base de soja é biodegradável e não contém metais pesados, o que o torna mais seguro para o meio ambiente. No entanto, o biodiesel a base de soja também tem algumas desvantagens. Por exemplo, ele pode ter um custo de produção mais alto do que o diesel comum, e pode ser mais difícil de armazenar e transportar devido à sua alta viscosidade. Além disso, o biodiesel a base de soja pode conter impurezas que podem danificar o motor. Por essas razões, é importante que os motores sejam adequadamente calibrados para usar o biodiesel a base de soja [14].

A transesterificação é um processo químico que permite a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais ou animais. O processo envolve a reação de um álcool (geralmente metanol ou etanol) com ácidos graxos para produzir ésteres, que são os principais componentes do biodiesel. O processo de transesterificação melhora as propriedades do biodiesel tanto em desempenho, quanto em emissões de poluentes [15].

O biodiesel produzido pela transesterificação tem melhor combustão, o que resulta em menores emissões de gases poluentes. Além disso, o biodiesel produzido por transesterificação tem maior estabilidade, o que significa que ele pode ser armazenado por mais tempo sem se deteriorar. Por fim, o biodiesel produzido pela transesterificação tem maior poder de lubrificação, o que significa que ele pode ser usado em motores mais antigos sem problemas [6].

As vantagens do uso de biodiesel em relação ao diesel convencional podem ser desde a maior eficiência energética: O biodiesel tem uma maior eficiência energética do que o diesel convencional, o que significa que menos combustível é necessário para produzir a mesma quantidade de energia. Menor emissão de gases poluentes: O biodiesel tem menos emissões de gases poluentes do que o diesel convencional, o que significa que ele é mais amigável ao meio ambiente. Maior longevidade do motor: O biodiesel tem menos impurezas do que o diesel

convencional, o que significa que ele pode ajudar a prolongar a vida útil do motor. Maior segurança: O biodiesel é menos inflamável do que o diesel convencional, o que significa que ele é mais seguro de usar. Maior disponibilidade: O biodiesel é mais fácil de encontrar do que o diesel convencional, pois é produzido a partir de fontes renováveis, como óleo de cozinha usado [1].

Os estudos sobre diferentes misturas de biodiesel de chia têm se concentrado em avaliar o desempenho do combustível em relação ao óleo diesel convencional. Os resultados mostram que o biodiesel de chia tem um desempenho similar ao do óleo diesel convencional, mas com algumas vantagens [16].

Por exemplo, o biodiesel de chia tem uma maior estabilidade à oxidação, o que significa que ele pode ser armazenado por mais tempo sem se deteriorar. Além disso, o biodiesel de chia tem um poder de limpeza maior, o que significa que ele pode ajudar a reduzir a poluição do ar. Os estudos também mostram que o biodiesel de chia tem um menor ponto de fulgor, o que significa que ele é menos propenso a explodir em caso de acidentes [10].

Diante deste contexto, este trabalho tem por objetivo deste trabalho extrair o biodiesel do óleo extravirgem de Chia, por meio da transesterificação e analisar as diferentes misturas de diesel obtidas. Por fim, fornecer evidências científicas para o uso de misturas à base de chia como combustível renovável. Este estudo oferece abordagens para determinar a eficácia da mistura de biocombustíveis com diesel e biodiesel derivado de óleo vegetal de chia, na busca de obter melhor desempenho do motor. Embora muitos tipos de pesquisas sejam direcionados a produtos alternativos, este estudo aborda sob uma perspectiva diferente, um produto (chia) que é pouco conhecido e também tem um alto nível de potencial entre outras variedades de sementes. Concentra-se em avaliar os efeitos de desempenho em um motor diesel do tipo combustível preparado pela mistura de biodiesel de chia a uma taxa constante em mistura com diesel.

Para tanto, o trabalho foi dividido em três seções, além desta introdução e das considerações finais. Neste artigo, a Seção 2 apresenta os materiais e métodos utilizados neste trabalho de pesquisa. A Seção 3 apresenta os resultados e discussões desta pesquisa. Finalmente, a Seção 4 apresenta as considerações finais e trabalhos futuros.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Multiusuário de Tecnologias sustentáveis (LABTES), vinculado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (PPGEA), Unioeste Campus de Cascavel. Associado ao laboratório está o CDTER – Centro de

Desenvolvimento e Tecnologia de Energias Renováveis, localizada na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDETEC, em Cascavel-PR e o Centro de Tecnologia Automotiva – CTA.

O desenvolvimento deste trabalho apresenta-se em três etapas principais. No primeiro momento é realizado uma análise físico-química do óleo de chia, conforme apresentada na Tabela 1, os resultados são apresentados. A análise físico-química do óleo de chia envolve a avaliação de vários parâmetros, como a cor, o odor, a acidez, o teor de ácidos graxos, a estabilidade oxidativa, a viscosidade, a densidade, a solubilidade, a refração, a fluorescência, a polaridade, a solubilidade em água, a solubilidade em solventes orgânicos, a solubilidade em solventes inorgânicos, a solubilidade em álcoois, a solubilidade em ácidos, a solubilidade em bases. A análise foi realizada pelo laboratório de combustíveis Pool-Lab em Itajaí – SC em 22 de junho de 2022 a título de pesquisa científica.

Tabela 1 – Propriedades do óleo de chia usados no processo de transesterificação

Ensaio	Unidade	Método	Especificação	Resultados
Aspect	-	Visual	LII	LII
Visual Color	-	Visual	Yellow	YELLOW
Specific mass at 20 °C	kg.m-3	ASTM D 4052	820.0 to 853.0	887.7
Flash point	°C	ASTM D 93	Min 38.0	>200
Water Sediments % (BSW)	%	ASTM D 1796	Max 0.05	ABSENT
Freezing point	°C	ASTM D 97	NA	<-4
Kinematic Viscosity at 40°C	cSt	ASTM D 445	1.5 to 6.0	3.832
Ester	%	Infra-red	NA	25.323
Total Aromatics	%	Infra-red	NA	0.80
Total Olefins	%	Infra-red	NA	19.56
Benzene	%	Infra-red	NA	0.03
Toluene	%	Infra-red	NA	11.81
Glycerol	%	Infra-red	NA	5.42
Corrosivity to copper	-	ASTM D 130	NA	1A
Water by Karl Fischer	PPM	ASTM D 6304	Max 200.00	874.2
LII - Clean and Free from Impurities e NA - Not applicable				

No Segundo momento acontece o processamento e a composição à obtenção do biodiesel de chia. O processo é dividido em três etapas principais:

**1. Pré-tratamento:** Nesta etapa, a semente de chia é triturada e submetida a um processo de extração para obter o óleo bruto. Nesta pesquisa não se aplica, usou-se a partir do óleo extravirgem de chia.

**2. Processamento:** O óleo bruto é então submetido a um processo de transesterificação, que é um processo químico que converte o óleo em biodiesel.

**3. Refino:** Por último, o biodiesel é refinado para remover impurezas e melhorar sua qualidade. Após o refino, o biodiesel está pronto para uso.

Para a preparação dos catalisadores e para as respectivas reações de transesterificação, utilizamos como precursores hidróxido de potássio (KOH), metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e óleo vegetal de chia extra virgem. Primeiramente, o KOH foi dissolvido em metanol para formar uma solução de catalisador. Esta solução foi então adicionada ao óleo de chia para iniciar a reação de transesterificação. Esta reação química converte os triglicerídeos presentes no óleo em ésteres metílicos, que são os principais componentes do biodiesel. Durante a reação, o metanol é convertido em álcool metílico, que é um dos principais componentes do biodiesel. A reação de transesterificação é realizada em condições de temperatura e pressão controladas, para garantir que a reação ocorra de forma eficiente. Após a reação, o biodiesel é separado do líquido residual, que é composto principalmente por água e metanol. O biodiesel resultante é então filtrado e armazenado para uso futuro.

A receita aplicada foi, para cada 500ml de óleo de chia, usou-se 150ml de Metanol e 10g de Hidróxido de Potássio. Para a realização da reação de transesterificação é utilizado um catalisador homogêneo conhecido (hidróxido de potássio).

Figura 1 – Fases do processamento e transformação do Biodiesel de Chia



Nesta reação, conforme apresentada na Figura 1, foi misturado o óleo de Chia, o Metanol e o Hidróxido de Potássio em um recipiente. Em seguida, foi necessário aquecer a mistura para a temperatura de reação (geralmente entre 60 e 70°C). Quando a temperatura é alcançada, o catalisador (hidróxido de potássio) é adicionado à mistura e a reação de transesterificação é iniciada. Após a reação, foi necessário separar a mistura em duas fases: uma fase líquida (que contém o biodiesel) e uma fase sólida (que contém o catalisador). A fase líquida é então destilada para remover o Metanol e qualquer outro solvente residual.

Por fim, o biodiesel resultante é filtrado para remover quaisquer impurezas e armazenado em um recipiente limpo e seco. Por último, a secagem foi realizada em estufa, deixando o biodiesel lavado em um béquer por um período de 24h a 105<sup>0</sup>C, a fim de remover qualquer água que possa ter permanecido no biodiesel durante a lavagem. Após a secagem, o biodiesel foi armazenado em um recipiente limpo e seco, para ser usados posteriormente aos testes.

Na última etapa deste estudo utilizou três misturas de chia-biodiesel com diferentes proporções de mistura de chia-biodiesel para diesel premium: combustível diesel premium (B0), B10 (10 vol% chia-biodiesel+90 vol% B0), B20 (20 vol% chia-biodiesel+80 vol% B0), B40 (40 vol% chia-biodiesel+60 vol% B0) e por fim 100 vol% chia-biodiesel (B100).

A metodologia de [7] foi seguida, utilizando o equipamento mostrado na Figura 2. Os testes de foram realizados em duas cargas diferentes de 1,5k/w e 4,5kw, em um gerador a diesel e alimentado com quatro tipos de misturas de biocombustíveis.

Figura 2 – Motor gerador conforme especificação, célula de carga, banco de resistências, medidor multifuncional e indicador de consumo de combustível

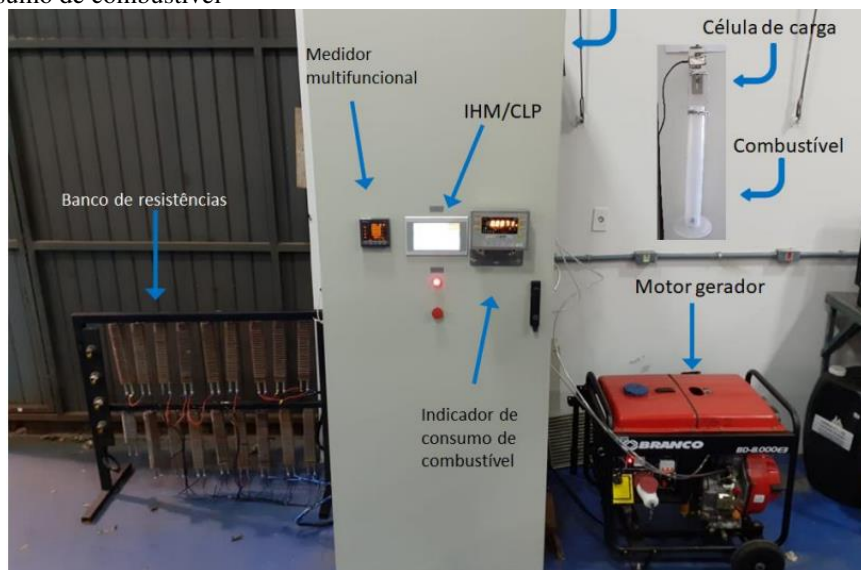


Tabela 2: Branco BD-8000 E3 Generator Engine Specifications.

Feature	Specification
Maximum power	8.0 kVA
Continuous Power	7.5 kVA
Output voltage	220 V
Phases	Three-phasic
Voltage Control	AVR / With brush
Tank capacity	10 L
Autonomy	5.0 h
Dimensions (L x W x H)	690mm x 450mm x 550mm
Weight	110 kg

Busca-se avaliar a estabilidade de blendas de diesel com biodiesel produzidos com o óleo de chia, segundo os teores de B0, B10, B20, B40 e B100. A estabilidade de blendas de diesel com biodiesel produzidos com óleo de chia dependerá dos teores de B0, B10, B20, B40 e B100 pré-definidos. Quanto maior o teor de biodiesel, maior a estabilidade da blenda. Por exemplo, uma blenda de B10 é mais estável do que uma blenda de B0, enquanto uma blenda de B20 é mais estável do que uma blenda de B10. Além disso, blendas de B40 e B100 são mais estáveis do que blendas de B20. No entanto, é importante notar que o óleo de chia pode ter propriedades diferentes de outros óleos vegetais, portanto, é importante avaliar a estabilidade das blendas de acordo com os teores de biodiesel específicos.

Os testes acontecem em duas etapas e cargas diferentes, num total de seis coletas para cada uma dessas etapas. A leitura e coleta dos dados são apresentados conforme Tabela 4, com horários intercalados de minuto a minuto, Duas cargas de 1,5 e 4,5 k/w, tensão (V), corrente (A), potencia (W), energia (KWh) e massa combustível (Kg). Neste sentido, espera-se entender da energia gerada (KWh), do consumo de combustível (L) e o rendimento (KWh/L).

Neste sentido, para a caracterização foi utilizada as diferentes blendas de B10, B20, B40 e B100 em etapas incrementais em volume com diesel. Como exemplo, o B10 com mistura de 50ml de biodiesel em complemento com 450ml do diesel, B20 com 100ml de biodiesel e complemento de 400ml do diesel, B40 com 200ml de biodiesel e complemento de 300ml do diesel e por fim, B100 com biodiesel de chia puro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa será demonstrado de forma detalhada os dados coletados durante a pesquisa serão apresentados em forma de tabelas, com as informações organizadas de forma clara e objetiva. Os resultados serão apresentados em forma de gráficos, com os dados organizados de forma a facilitar a compreensão dos resultados. Os gráficos serão acompanhados de uma explicação detalhada dos resultados, para que os leitores possam entender melhor os dados coletados.

Em relação às misturas feitas com biodiesel e diesel puro, a Tabela 3 apresenta a estimativa massa específica correspondente as blendas, por meio da relação biodiesel/diesel, para as misturas usadas nos testes de eficiência de queima de combustível (B10, B20, B40 e B100).

Tabela 3 - Propriedades da massa especifica da relação biodiesel, diesel e as blendas

Massa específica							
Blendas	10%	Biodiesel (kg/m <sup>3</sup> )	887,70	Diesel (kg/m <sup>3</sup> )	833,60	Blenda (kg/m <sup>3</sup> )	839,01
	20%					Blenda (kg/m <sup>3</sup> )	844,42
	40%					Blenda (kg/m <sup>3</sup> )	855,24
	100%					Blenda (kg/m <sup>3</sup> )	887,70

Para o teste de eficiência de geração de energia, o consumo de combustível e energia geradas para cada uma das misturas b0, b10, b20, b40, b60 e b100 foram avaliadas. Os resultados mostraram que a mistura b0 (sem adição de biodiesel) gerou a menor quantidade de energia, enquanto a mistura b100 gerou a maior quantidade de energia. Além disso, a mistura b100 também consumiu menos combustível do que as outras misturas. Isso indica que a adição de biodiesel ao combustível diesel aumenta a eficiência de geração de energia. A Tabela 4, 5 e 6 mostram os valores médios resultantes das respectivas misturas em B10, B20 e B40.

Tabela 4 – Médias de consumo de combustível em (kg) e (L) e rendimento energia gerada para as respectivas misturas em B10

Carga	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Leitura Energia (KWh)	Energia gerada (KWh)	Massa combustível (kg)	Consumo Combustível (kg)	Consumo Combustível (L)	Rendimento (KWh/L)
4,5	232,16	11,58	4655,90	123,56	-	0,247	-	-	-
	232,16	11,55	4643,60	123,63	0,0700	0,222	0,0250	0,0298	2,3492
	232,17	11,54	4639,70	123,69	0,0600	0,198	0,0240	0,0286	2,0975
	232,21	11,53	4636,50	123,76	0,0700	0,167	0,0310	0,0369	1,8945
	232,21	11,52	4632,40	123,84	0,0800	0,137	0,0300	0,0358	2,2374
	232,23	11,51	4629,00	123,91	0,0700	0,108	0,0290	0,0346	2,0252
1,5	232,00	3,990	1597,80	123,91	-	0,106	-	-	-
	232,09	3,990	1598,70	123,94	0,0300	0,090	0,0160	0,0191	1,5731
	232,10	3,990	1597,50	123,96	0,0200	0,078	0,0120	0,0143	1,3983
	232,05	3,990	1597,80	123,99	0,0300	0,061	0,0170	0,0203	1,4806
	232,09	3,990	1597,20	124,02	0,0300	0,043	0,0180	0,0215	1,3984
	232,00	3,990	1596,70	124,05	0,0300	0,028	0,0150	0,0179	1,6780

Tabela 5 – Médias de consumo de combustível em (kg) e (L) e rendimento energia gerada para as respectivas misturas em B20

Carga	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Leitura Energia (KWh)	Energia gerada (KWh)	Massa combustível (kg)	Consumo Combustível (kg)	Consumo Combustível (L)	Rendimento (KWh/L)
4,5	232,28	11,57	4653,70	124,33	-	0,292	-	-	-
	232,23	11,54	4641,50	124,41	0,0800	0,263	0,0290	0,0343	2,3294
	232,32	11,52	4634,50	124,48	0,0700	0,237	0,0260	0,0308	2,2734
	232,31	11,52	4635,20	124,56	0,0800	0,209	0,0280	0,0332	2,4126
	232,32	11,52	4635,10	124,65	0,0900	0,181	0,0280	0,0332	2,7142
	232,32	11,52	4635,00	124,72	0,0700	0,154	0,0270	0,0320	2,1892
1,5	232,23	4,000	1600,90	124,73	-	0,150	-	-	-
	232,19	3,990	1600,10	124,75	0,0200	0,135	0,0150	0,0178	1,1259
	232,19	3,990	1599,00	124,78	0,0300	0,120	0,0150	0,0178	1,6888
	232,19	4,000	1599,90	124,81	0,0300	0,100	0,0200	0,0237	1,2666
	232,16	3,990	1598,20	124,83	0,0200	0,085	0,0150	0,0178	1,1259
	232,15	3,990	1598,00	124,85	0,0200	0,068	0,0170	0,0201	0,9934

Tabela 6 – Médias de consumo de combustível em (kg) e (L) e rendimento energia gerada para as respectivas misturas em B40

Carga	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Leitura Energia (KWh)	Energia gerada (KWh)	Massa combustível (kg)	Consumo Combustível (kg)	Consumo Combustível (L)	Rendimento (KWh/L)
4,5	232,35	11,55	4647,10	125,15	-	0,252	-	-	-
	232,35	11,54	4643,80	125,23	0,0800	0,225	0,0270	0,0316	2,5340
	232,34	11,53	4639,10	125,30	0,0700	0,201	0,0240	0,0281	2,4944
	232,36	11,52	4635,70	125,37	0,0700	0,176	0,0250	0,0292	2,3947
	232,36	11,52	4636,00	125,44	0,0700	0,149	0,0270	0,0316	2,2173
	232,38	11,52	4635,80	125,51	0,0700	0,123	0,0260	0,0304	2,3026
1,5	232,25	4,000	1601,60	125,52	-	0,119	-	-	-
	232,06	4,000	1601,10	125,56	0,0400	0,100	0,0190	0,0222	1,8005
	232,19	3,990	1599,60	125,58	0,0200	0,085	0,0150	0,0175	1,1403
	232,20	4,000	1600,40	125,61	0,0300	0,069	0,0160	0,0187	1,6036
	232,16	4,000	1599,50	125,62	0,0100	0,058	0,0110	0,0129	0,7775
	232,14	3,990	1599,10	125,65	0,0300	0,038	0,0200	0,0234	1,2829

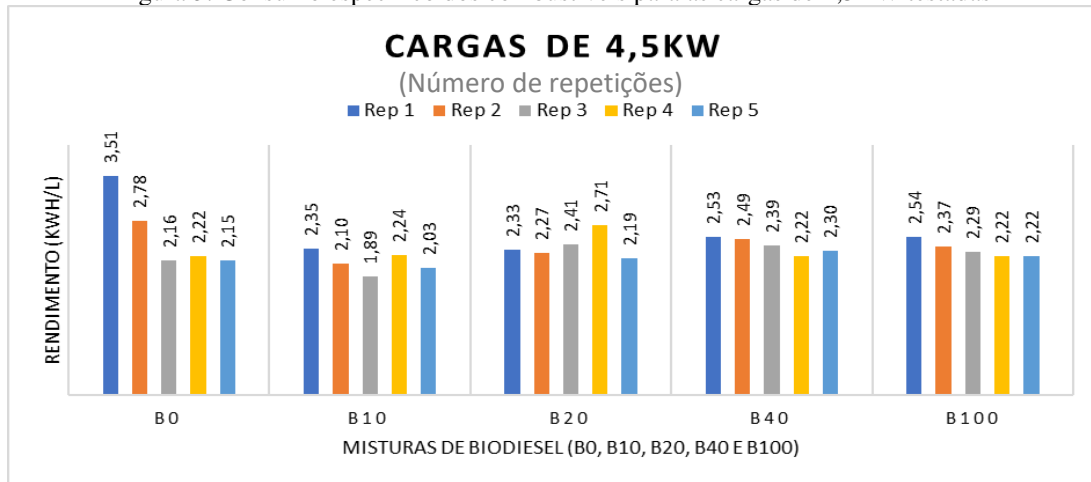
Pode-se observar nas Tabelas 4, 5 e 6 que a carga resistiva de 4,5kW, apresenta diferença tanto para a energia gerada quanto para o combustível consumido pelo teste realizado de Tukey a 5% de variância, o que não ocorre com a carga de 1,5kW em ambas misturas ocorridas.

A diferença na energia gerada e no combustível consumido é devido à maior carga resistiva de 4,5kW. Como a carga é maior, o motor precisa de mais combustível para gerar a mesma quantidade de energia. Isso significa que, para a mesma quantidade de combustível, o motor de 4,5kW gerará menos energia do que o motor de 1,5kW. Além disso, a carga de 4,5kW também consome mais combustível do que a carga de 1,5kW. Portanto, a diferença na energia gerada e no combustível consumido entre as duas cargas é significativa.

O comportamento do consumo específico do motor em função da variação de carga de 4,5kw aplicada ao motor gerador pode ser observado na Figura 3.

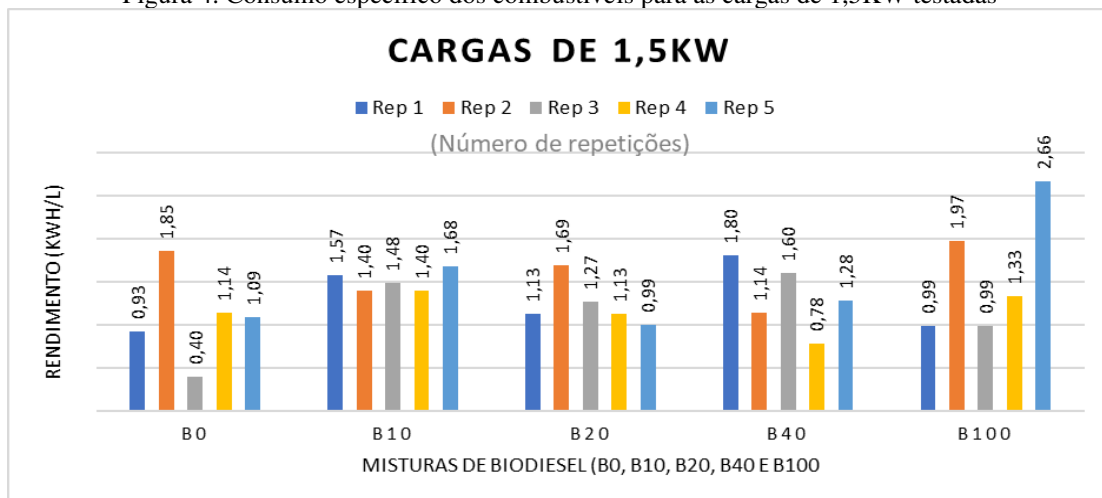
E no que diz respeito ao consumo de combustível, houve uma diferença significativa entre o diesel puro (B0) e as misturas testadas. Por outro lado, a queima de biodiesel puro (B100) não diferiu estatisticamente de nenhuma das outras observou-se um aumento da média em questão. Além disso, a mistura B20 apresentou na primeira e segunda repetição um consumo de combustível mais baixo do que o diesel puro (B0). Estes resultados sugerem que a mistura B20 pode ser uma alternativa viável para reduzir o consumo de combustível.

Figura 3. Consumo específico dos combustíveis para as cargas de 4,5KW testadas



Em seguida o comportamento do consumo específico do motor em função da variação de carga de 1,5kw aplicada ao motor gerador pode ser observado por meio da curva de potência do motor. Esta curva mostra como a potência do motor varia com a carga aplicada, e pode ser usada para determinar o consumo específico do motor. A curva de potência do motor é geralmente obtida por meio de testes de desempenho realizados em um banco de provas conforme apresentada na Figura 4.

Figura 4. Consumo específico dos combustíveis para as cargas de 1,5KW testadas

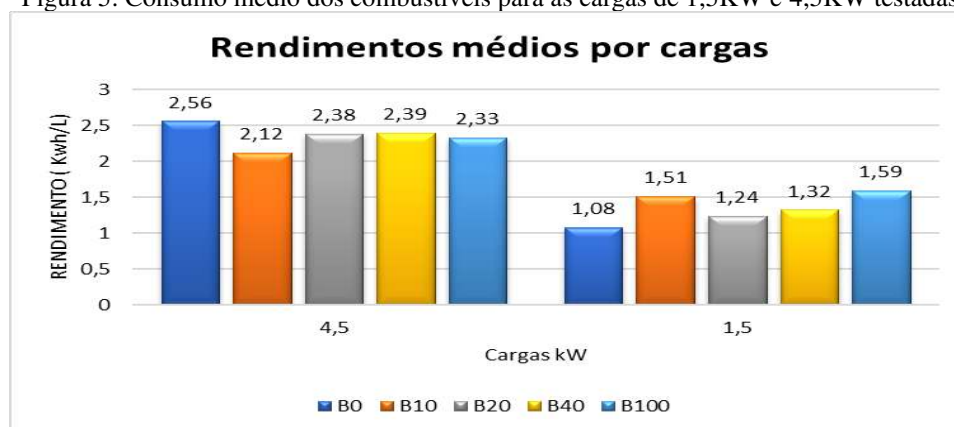


Por meio de repetições em cargas diferentes, o consumo específico de cada uma das misturas pode ser determinado, conforme mostrado nos gráficos das Figuras 3 e 4. O consumo específico é a quantidade de combustível necessária para produzir uma unidade de energia. Por exemplo, se uma mistura de combustível é usada para gerar 100 unidades de energia, e se o combustível consumido é de 10 litros, então o consumo específico é de 0,1 litro por unidade de

energia. Esta informação pode ser usada para comparar a eficiência de diferentes misturas de combustível.

O Teste de Tukey é um teste estatístico usado para comparar múltiplos grupos ao mesmo tempo. É usado para determinar se existem diferenças significativas entre os grupos. O teste foi desenvolvido pelo estatístico americano John Tukey em 1953. O teste é baseado na comparação de todos os pares de grupos e usa um nível de significância para determinar se há diferenças significativas entre os grupos. O teste foi usado para avaliar se há diferenças significativas entre os grupos em uma variável de resposta. O teste é usado para testar hipóteses sobre a igualdade de médias entre grupos. O teste de Tukey para a carga resistiva de 1,5 kW constatou que há uma diferença significativa no consumo específico de diesel (B0) em relação às demais misturas, exceto biodiesel puro (B100) que por sua vez, não apresentou diferença estatística em relação às demais misturas.

Figura 5. Consumo médio dos combustíveis para as cargas de 1,5KW e 4,5KW testadas



Pode-se observar, pelo gráfico apresentado na Figura 5, e pelo teste de Tukey a 5% indica que o diesel apresentou maior consumo específico na carga de 4,5 kW do que as misturas de biodiesel testadas. Isso significa que o diesel foi mais eficiente do que as misturas de biodiesel, o que significa que o diesel é uma opção mais eficiente para uso em motores a diesel.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possibilitou a produção do biodiesel de óleo extravirgem de chia pelo método de transesterificação. O processo de transesterificação é um método químico usado para converter óleos vegetais em biodiesel. O processo envolve a reação de álcoois, como metanol ou etanol, com óleos vegetais para produzir ésteres metílicos, que são os principais componentes do biodiesel.



Para produzir biodiesel de óleo de chia, o óleo deve ser aquecido e misturado com um álcool, como metanol ou etanol. Uma base, como hidróxido de sódio, é adicionada à mistura para acelerar a reação. O álcool reage com os ácidos graxos do óleo, formando ésteres metílicos e glicerina. A glicerina é separada do biodiesel, que é então filtrado para remover impurezas.

O biodiesel produzido a partir de óleo de chia tem várias vantagens. É biodegradável e não polui o meio ambiente. Além disso, é mais eficiente do que os combustíveis fósseis, pois tem um alto rendimento energético. O biodiesel também é mais seguro do que os combustíveis fósseis, pois não contém compostos cancerígenos. Portanto, a produção de biodiesel a partir de óleo de chia pelo método de transesterificação é uma alternativa viável para a produção de combustíveis limpos e eficientes.

Além disso, após as reações de transesterificação, conseguiu-se recuperar o catalisador, o qual continuou a apresentar atividade catalítica, ou seja, pôde ser utilizado novamente. A recuperação do catalisador é possível devido às características químicas do ácido fosfórico, que é um ácido forte, o que significa que ele não se liga aos átomos do catalisador, mas sim às moléculas de óleo. Assim, quando o ácido fosfórico é removido, o catalisador é liberado e pode ser reutilizado.

Como resultado dos testes, a adição de biodiesel de chia ao diesel aumentou a eficiência energética do gerador, sendo o maior aumento registrado quando se utilizou B20 (aumento médio de 0,87%). Além disso, foi observado que o uso de biodiesel de chia reduziu significativamente as emissões de gases de efeito estufa, com reduções médias de até 20,4% para B20. Os resultados também mostraram que o uso de biodiesel de chia não afetou a qualidade do combustível, pois não houve diferenças significativas nos parâmetros de qualidade do combustível.

Como trabalho futuro, sugere-se avaliar os níveis de gases expelidos durante a combustão pelo motor, uma vez que as misturas não apresentaram diferença no consumo entre eles. Por fim realizar teste com outros métodos de extração do biodiesel. Além disso, seria interessante realizar testes de desempenho em motores a diesel com misturas de biodiesel e diesel, avaliando a potência, torque, consumo de combustível e emissões de gases poluentes. Estes testes poderiam ser realizados em diferentes condições de operação, como aceleração, velocidade constante, subida de ladeira, etc. Outra possibilidade seria avaliar os efeitos da mistura de biodiesel e diesel em comparações a motores a gasolina. Por fim, seria interessante realizar estudos de custo-benefício para avaliar a viabilidade econômica da produção e uso de biodiesel.



## AGRADECIMENTOS

O Autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Energética na Agricultura, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), LABTES - Laboratório de Tecnologias Sustentáveis, CAPES, Fundação Araucária, FUNDETEC, NIT - Centro de Inovação Tecnológica, POOL LAB e ZAAMP (Empresas parceiras do projeto)



## REFERÊNCIAS

FERNANDES, Sibeles Santos et al. Yield and quality of chia oil extracted via different methods. **Journal of Food Engineering**, v. 262, p. 200-208, 2019.

DE OLIVEIRA, Fernando C.; COELHO, Suani T. História, evolução e impacto ambiental do biodiesel no Brasil: Uma revisão. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 168-179, 2017.

Tsai, Jen-Hsiung, et al. "PM, carbon, and PAH emissions from a diesel generator fuelled with soy-biodiesel blends." *Journal of Hazardous Materials* 179.1-3 (2010): 237-243.

SERAÇ, Mehmet Reşit et al. Evaluation of comparative combustion, performance, and emission of soybean-based alternative biodiesel fuel blends in a CI engine. **Renewable Energy**, v. 148, p. 1065-1073, 2020.

VIORNERY-PORTILLO, Emilio A.; BRAVO-DÍAZ, Brenda; MENA-CERVANTES, Violeta Y. Life cycle assessment and emission analysis of waste cooking oil biodiesel blend and fossil diesel used in a power generator. **Fuel**, v. 281, p. 118739, 2020.

ELLAPPAN, Sivakumar; RAJENDRAN, Silambarasan. A comparative review of performance and emission characteristics of diesel engine using eucalyptus-biodiesel blend. **Fuel**, v. 284, p. 118925, 2021.

SILVEIRA, V. F. Comparação de desempenho e emissões de um motor gerador operando com diesel e blendas de biodiesel monitorado por sistemas de automação. 2021. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021

BRASIL. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Lei Nº 13.263, de 23 de março de 2016. Brasília.

de Almeida Gama, Lucas, et al. "Avaliação da Mucilagem de Chia em Pó como Supressora de Poeira de Minério de Ferro e Aproveitamento do Óleo de Chia, Impróprio para o Consumo, na Produção de Biodiesel." (2021).

Manjunath, S., and Ramakrishna N. Hegde. "Performance, Emission, and Exergy analysis of an IDI Dual Swirl combustor Diesel engine with Blended Waste Chia seed oil as a Biofuel." *International Journal of Ambient Energy* just-accepted (2022): 1-35.

Timilsena, Yakindra Prasad, et al. "Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil." *Food chemistry* 228 (2017): 394-402.

Aydın, Selman. "Comprehensive analysis of combustion, performance and emissions of power generator diesel engine fueled with different source of biodiesel blends." *Energy* 205 (2020): 118074.

Kandasamy, Senthil Kumar, Arun Saco Selvaraj, and Thundil Karuppa Raj Rajagopal. "Experimental investigations of ethanol blended biodiesel fuel on automotive diesel engine performance, emission and durability characteristics." *Renewable Energy* 141 (2019): 411-419.

Alvim, Augusto Mussi, and Adelar Fochezatto. "The impacts of soy-based biodiesel on the main



soy producers in the international market." *Journal of Agricultural Studies* (2020).

Likozar, B., and J. Levec. "Effect of process conditions on equilibrium, reaction kinetics and mass transfer for triglyceride transesterification to biodiesel: experimental and modeling based on fatty acid composition." *Fuel Processing Technology* 122 (2014): 30-41.

Geng, Limin, et al. "Study on combustion characteristics and particulate emissions of a common-rail diesel engine fueled with n-butanol and waste cooking oil blends." *Journal of the Energy Institute* 92.3 (2019): 438-449.