



Caracterização e rendimento energético do biodiesel do óleo de linhaça dourada (*Linus usitatissimum* L.)

Characterization and energy yield of biodiesel from golden linseed oil (Linus usitatissimum L.)

Marcos Pompeo¹, Reinaldo Aparecido Bariccatti¹, Jair Antonio Cruz Siqueira¹, Reginaldo Ferreira Santos¹, Giovana Dombeck Vieira¹, Cristiano Fernando Lewandoski²

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel, Paraná, Brasil

² Ac Elétric Ltda, Cascavel, Paraná, Brasil

Contato: marcospompeoambiental@gmail.com

Palavras-chave

eficiência energética
linhaça dourada
biodiesel
blendas
energia

RESUMO

Com a demanda energética aumentando no Brasil e no mundo, paralelamente associada ao crescimento tecnológico e ao desenvolvimento, fomenta-se a necessidade de investir em energias alternativas mais limpas e viáveis para suprir a possível crise energética de 2040. Sendo assim esse trabalho, buscou através extração do óleo da linhaça dourada e a produção do biodiesel pelo método de transesterificação, testar a eficiência energética de cinco blendas (B10, B20, B30, B40 e B50) submetidas a duas cargas de potências 1,5kW e 4,5kW em equipamento com Motor Gerador Multifuncional que possibilitou a extração das informações durante a queima do combustível, com valores de eficiência energética que foram pouco significantes entre as diferentes concentrações das blendas de cada carga, com melhor desempenho em B10 para ambas as cargas, bem como analisar o farelo ou torta extraído da semente através de uma análise bromatológica, além de analisar o óleo e o biodiesel extraído comparando diversos ensaios, como viscosidade, ponto de fulgor, massa específica, teor de água, etc. O intuito foi constatar a viabilidade do uso da linhaça dourada para biocombustível e por sua vez como contribuição da energia renovável de biomassa, mesmo com o seu alto valor incluído no litro de óleo bruto ou na semente, e que talvez apresentasse valores muito acima de satisfatórios, o que não ocorreu.

Keywords

energy efficiency
golden linseed
biodiesel
blends
energy

ABSTRACT

With energy demand increasing in Brazil and around the world, in parallel with technological growth and development, there is a need to invest in cleaner and more viable alternative energies to meet the possible energy crisis of 2040. This work therefore sought to test the energy efficiency of five blends (B10, B20, B30, B40 and B50) subjected to two power loads of 1.5kW and 4.5kW in equipment with a Multifunctional Generator Engine that made it possible to extract information during the burning of the fuel, with energy efficiency values that were not very significant between the different concentrations of the blends in each load, with better performance in B10 for both loads, as well as analyzing the bran or cake extracted from the seed through a bromatological analysis, in addition to analyzing the oil and the extracted biodiesel by comparing various tests, such as viscosity, flash point, specific mass, water content, etc. The aim was to verify the viability of using golden linseed for biofuel and in turn as a contribution to renewable biomass energy, even with its high value included in the liter of crude oil or seed, and that it might have presented values far above satisfactory, which was not the case.

Informações do artigo

Recebido: 06 de setembro, 2023

Aceito: 09 de novembro, 2024

Publicado: 30 de dezembro, 2024

Introdução

Com a ligação quase que imperecível entre a humanidade, a tecnologia e a Internet, acordar com um despertador e depois estar atento às notícias mais comentadas nas redes sociais, realizar uma troca contínua de informações em aplicativos de conversa, pedir um transporte também por aplicativos, ou até mesmo encomendar uma refeição com horário definido, são apenas alguns dos muitos exemplos dos quais podem ser citados sobre este “já não tão novo” estilo de vida. No entanto, existe um fator insubstituível, tanto na antiga quanto nesta nova realidade que já há algum tempo vem sendo objeto de preocupação em todo o mundo, afinal é o item que torna possível ou não a interlocução entre todas as atividades descritas anteriormente e o ser humano, trata-se da eletricidade (PINHEIRO; GIRELI, 2017).

Muito mais do que possibilitar carregar um celular, ligar um televisor, manter uma geladeira ou um ar-condicionado funcionando, a energia (seja ela elétrica ou de outra fonte) é por muitas vezes o fator decisivo para a sobrevivência de muitas vidas humanas, por exemplo, quando permite que um respirador artificial em uma unidade de terapia intensiva funcione em um paciente, ou mesmo quando um aquecedor residencial em regiões temperadas mantém os moradores aquecidos (VASCONCELOS; NOVAIS; CABRAL, 2020).

Entre o fato e a ficção, pode-se dizer que a primeira realidade aceita é que a humanidade no cenário em que vive depende substancialmente de energia elétrica, e como segunda verdade, o mundo requer uma maior produção de energia alternativa imediata, afinal, num futuro muito próximo (em alguns casos já atuais), a demanda é várias vezes maior que a oferta e o não fornecimento pode significar um problema para a economia, para a sociedade e até mesmo para vida (PEDROSO *et al.*, 2018).

De acordo com dados informados pela *International Energy Agency* (IEA), no ano de 2022, 1/3 da produção energética do planeta seria proveniente do carvão, ou seja, para cada quatro lâmpadas acesas no mundo, três seriam alimentadas por essa fonte não renovável (esgotável). Este cenário, apesar de desastroso para o meio ambiente devido às emissões de carbono é o que suprirá grande parte da demanda energética, porém, a estimativa da própria IEA é de que até o ano de 2040 todas as usinas de carvão deverão e serão desativadas, desta forma estima-se que a partir de 2030 esta fonte de característica fóssil (carvão) será gradativamente substituída por fontes não fósseis ou energias renováveis, perdendo 11% das usinas ao ano até 2040 (IEA, 2023).

Essa escassez de recursos minerais que prenuncia um grande colapso energético nos próximos anos está associada a outro produto que impacta significativamente a economia mundial, os combustíveis. Estes por sua vez são responsáveis pelo aumento dos preços dos alimentos que no ano de 2021 foram alarmantes, paralelo ao cenário que ocorreu nos Estados Unidos que esse sofreu a maior inflação das últimas quatro décadas e que respectivamente reflete em outros países. No Brasil, o aumento no preço dos combustíveis foi de 52,30% de 2012 a 2021, um salto assustador (MENDONÇA *et al.*, 2023).

Esses números causaram uma redução no consumo de diversos produtos pela população, primeiro pelo fato de o transporte diário ter ficado mais caro por causa da gasolina, e depois pelo aumento do preço dos alimentos, que por sua vez são transportados por veículos movidos a diesel, os

caminhões. Perante este estrangulamento orçamental, os brasileiros tiveram de fazer cortes orçamentais.

Com essas mudanças na economia, o governo brasileiro foi obrigado a inserir uma parcela de mistura de biocombustível no diesel comum para frear o aumento do preço nas bombas. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) na resolução nº.16/2018, planejava a adesão obrigatória de 11, 12, 13, 14 e 15 % da parcela de biodiesel ao diesel comum respectivamente nos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 (CNPE, 2018), no entanto, o ano de 2023 ainda desliza sobre os 12%, e em março de 2023 a Resolução nº 17/2023 prorrogou os 15% para 2026 (CNPE, 2023). As justificativas baseiam-se em preço, uma vez que esse reflete no consumidor final, bem como o tipo de insumo que será utilizado para a produção desse biodiesel, já que não é indicado que haja por exemplo, uma concorrência com produtos alimentícios, como grãos de soja.

Com isso, o mercado de combustíveis sustentáveis iniciou uma verdadeira corrida para tentar identificar culturas das mais diversas variedades que pudessem contribuir substancialmente em termos de eficiência energética quando misturadas ao diesel convencional e puro em diferentes proporções, as chamadas Blendas, identificadas pela letra B seguidas por um número como 10, 20, 50 até 100, dos quais nada mais são do que a porcentagem de biodiesel no diesel.

O biodiesel por sua vez é um combustível que terá em sua composição material orgânico de animais ou vegetais extraídos por um processo denominado transesterificação, sendo o alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, sua identificação química (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS – ANP, 2023).

Mesmo sendo o biodiesel uma fonte de energia renovável, pode-se dizer que possui impactos negativos, principalmente quando sua matéria prima concorre com alimentos, como é o caso do biodiesel de 1ª geração que acomete alimentos como óleo de soja, óleo de milho, óleo de algodão, dentre outros. Já no biodiesel de 2ª geração, essa concorrência não acontece como o óleo de mamona, gordura de porco ou de frango. Existe ainda biodiesel de 3ª e 4ª geração que abarcam algas e material sintético (DUARTE *et al.*, 2022). Além disso outras energias limpas auxiliam na demanda energética em todo planeta.

As energias renováveis (Eólica, Solar, Geotérmica, Ondomotriz, Marémotriz, Hidráulica e Biomassa), deverão substituir o déficit de energia no mundo até o ano de 2040. Dessa forma, o meio científico, sociedade e governança devem andar juntos ao estímulo do uso de energia limpa, não apenas individualmente, mas também quando for possível, unir duas ou mais fontes renováveis de energia (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018). Sendo assim, esse trabalho inclui uma contribuição para a pesquisa com a energia de biomassa através do biocombustível de origem vegetal.

O denominado biocombustível, pode auxiliar no alcance das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS. Dentre os 17 objetivos, ele pode contribuir com o ODS de número 2 – Fome zero e agricultura sustentável, de modo a utilizar os insumos de segunda geração ou mais para a produção de biodiesel, e com o ODS de número 7 – Energia acessível e limpa, uma vez que o diesel convencional é obtido através de fontes não renováveis, como o petróleo (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2023).

A linhaça dourada cujo nome científico é *Linum usitatissimum* L. também chamada de linho, é um vegetal de origem não definida, com probabilidade de ser originária no Oriente Médio e Europa, seu uso vai desde a alimentação animal e humana, até a produção de tintas, uso em tecidos e produção de medicações (LUCIO *et al.*, 2021). Mesmo com a sua ocorrência em países com baixas temperaturas, no Brasil ela se desenvolve com facilidade na região sul já devido ao comportamento climático mais frio, além das condições edáficas. Ressalta-se que tanto a linhaça marrom quanto a linhaça dourada se desenvolvem em condições similares, assim como a produção de ambas as espécies possui uma proporção muito próxima (STANCK; BECHER; BOSCO, 2017).

Barroso *et al.* (2014) comparou parâmetros como a composição química e as propriedades antioxidantes das sementes da linhaça marrom e da linhaça dourada, dentre outros quesitos também relacionados ao óleo puro delas, e não houve diferença significativa entre as duas variedades. O que pode variar é o preço a depender da localização. Para o consumo humano, por mais que possua grande fonte de nutrientes essenciais, indica-se o consumo máximo de 10 gramas para o sexo masculino e 7 gramas para o feminino (NOVELLO; POLLONIO, 2012).

A linhaça dourada é uma da planta herbácea apresentando de 40 a 80 cm de altura, caule ereto, folhas alongadas e estreitas. Contabilizando 5 pétalas, suas flores apresentam coloração azul clara. Denominado de cachopa, o seu fruto de característica em cápsula globulosa, pode possuir entre 7 e 11 sementes. Cada uma das plantas poderá produzir dezenas de frutos. A semente, possui dimensões de aproximadamente 2,5 x 5,0 x 1,5 mm, morfologia plana, ovalada e de borda pontiaguda, com textura lisa e aspecto brilhante. O sabor assemelha-se ao da noz e sua coloração varia de mais escura para mais clara, respectivamente de mais pigmentação (marrom avermelhada) para menos (amarela dourada) (OLIVEIRA; CUNHA; GOLFETTO, 2020).

Assim, este trabalho voltou-se para a pesquisa da cultura da linhaça dourada (*Linum usitatissimum*) a partir da extração do óleo de suas sementes, com posterior transformação em biodiesel pela técnica de transesterificação. A separação em cinco misturas de diferentes quantidades (B10, B20, B30, B40 e B50) e a mistura com diesel comum, inseridas em um motor gerador com leitor digital para avaliação da eficiência energética ou rendimento energético, bem como a comparação de significância de rendimento entre as blendas e entre outras culturas vegetais.

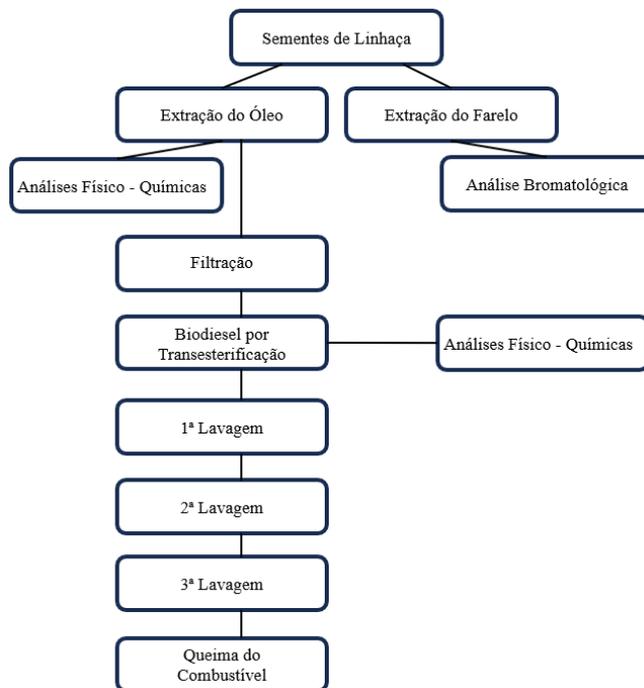
Material e Métodos

Este trabalho foi realizado na cidade de Cascavel (PR) entre o período de março de 2022 e julho de 2022 em que foi desenvolvido desde a obtenção das sementes da linhaça dourada até a queima das blendas do biocombustível. Os laboratórios de realização do biodiesel denominam-se Laboratório Multiusuários de Tecnologias Sustentáveis (LABTES) o qual integra também o Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (PPGEA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e o Laboratório de Meio Ambiente e Microbiologia do Centro Estadual de Educação Profissional Pedro Boaretto Neto (CEEP) também da cidade de Cascavel (PR).

A pesquisa foi desenvolvida em laboratório e de característica experimental e quantitativa. As etapas vão desde a extração do óleo por máquina extrusora, separação do farelo e do óleo, produção do biodiesel por transesterificação, análises físico químicas do farelo/torta, do óleo e do biodiesel, até a queima do combustível por blendas em diferentes concentrações para a aferição do consumo específico.

As etapas do trabalho estão apresentadas de forma sintetizada no fluxograma da Figura 1.

Figura 1. Fluxograma da produção de biodiesel, análises e queima do combustível



Fonte: Autor (2022)

Extração do óleo da semente de linhaça

Foram adquiridos em empresa comercial de celeiro, 9 kilogramas de sementes de linhaça dourada. Para a extração do óleo foi usada a máquina extrusora mecânica automatizada, modelo de prensa Z-1.500, fabricada pela empresa Galvão Insumos, 220V, e rotação máxima é de 1.800 rotações por minuto.

Antes de iniciar o processo de extrusão para a separação do óleo e do farelo ou torta como também se conhece, a máquina foi pré-aquecida por cerca de 50 minutos para que fosse mais eficiente durante a sua utilização.

No canto superior esquerdo da Figura 2 está o funil de aço onde foram inseridas as sementes da cultura escolhida, nesse caso a linhaça dourada. No canto inferior esquerdo está a forma que recebeu o farelo/torta que é extraída simultaneamente com o óleo, sendo este direcionado para o coletor de inox de óleo bruto localizado abaixo do funil, o qual é precedido de uma peneira que faz a primeira etapa de filtração. O coletor por sua vez possui uma capacidade de 200 ml.

Figura 2. Máquina extrusora de óleo vegetal



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 3 é possível observar as sementes sendo trituradas e imediatamente transformadas em farelo. O resíduo orgânico do farelo (torta) foi enviado para análise bromatológica ao Laboratório de análises de alimentos e água (Lanali), localizado na cidade de Cascavel (PR), onde se analisou lipídios, proteína bruta, resíduo mineral fixo, umidade, voláteis e fibra bruta.

Figura 3. Extração de óleo em operação



Fonte: Autor (2022)

Filtragem

Após a extração do óleo de linhaça e a extrusão do farelo, teve-se um saldo de 6,335 kg de torta de linhaça e 2.540 ml de óleo bruto. O óleo tinha como característica imediata de cor: castanha turva e, após 72 horas de filtração (filtro de papel), esta coloração foi gradativamente se estabilizando para laranja translúcido conforme ilustra a Figura 4. Após a filtragem obtve-se um saldo de 2.500 ml de óleo.

Figura 4. Apresentação do óleo antes e após filtragem.



Fonte: Autor (2022)

Biodiesel por Transesterificação

Aplicando a técnica de transesterificação (VIEIRA *et al.*, 2018) os insumos como hidróxido de potássio (KOH), metanol (CH_3OH) e o óleo bruto de linhaça, foram administrados para se adequarem às regras de proporção entre os mesmos. A quantidade relativa foi de 50 ml de óleo puro para 15 ml de metanol para 1 grama de hidróxido de potássio conforme indica Knothe *et al.* (2018), multiplicadas em escalas de 500 ml de óleo de linhaça, e repetidas vezes até se utilizar todo o volume de óleo extraído.

Foi utilizado um agitador magnético com mesa de aquecimento, escolheu-se um becker com capacidade de 1000 ml, sendo preenchido com 500 ml de óleo de linhaça puro até atingir uma temperatura de 60 °C, em agitação constante de 300 rpm. Ao atingir a marca de 60°C foi adicionado a mistura de $\text{CH}_3\text{OH} + \text{KOH}$, previamente separada na proporção de 150 ml de metanol e 10 gramas de hidróxido de potássio, de acordo com a proporção já apresentada. Com a ajuda de um funil de vidro, a mistura foi lentamente vertida ao óleo, obedecendo a uma regra clara de temperatura correta (60°C), momento certo e destreza.

O óleo apresentou coloração marrom turvo no momento imediato da mistura, contudo, cerca de 20 minutos depois retoma uma coloração mais translúcida, mesmo que ainda em contínua rotação, momento que é fundamental, pois indica a obrigatoriedade de retirá-lo da mesa agitadora e deixá-lo em repouso por 24 horas. Durante esse período haverá uma decantação do glicerol para o fundo da vidraria.

O conteúdo foi colocado em provetas de 500 ml (Figura 5) para aguardar a decantação do glicerol e a separação do biodiesel por um período de 24 horas. Após esse período, anotou-se a quantidade de glicerina e biodiesel resultante do total dos 5 ensaios (provetas).

Figura 5. Repouso do óleo para decantação do glicerol



Fonte: Autor (2022)

O biodiesel foi cuidadosamente aspirado das provetas com uma pipeta volumétrica de 25 ml tendo com saldo de biodiesel de 2.140 ml dos quais foram colocados em dois Beckers de 1000 ml e mais um Becker de 250 ml para acomodar os demais 140 ml. Na sequência iniciou-se o processo de lavagem do biodiesel.

Lavagem do Biodiesel

Separou-se 2 béqueres de 2000 ml e em cada um foi adicionado a quantidade de 1000 ml de biodiesel e 1 béquer de 250 para acomodar os 140 ml restantes. Para cada uma dessas medidas foi adicionado volume igual de água destilada na proporção 1:1.

O béquer contendo 1000 ml de biodiesel foi levado à mesa agitadora que se manteve continuamente em agitação até alcançar a temperatura de 50°C, momento em que lentamente a água destilada (1000 ml) era adicionada para o mesmo recipiente.

O agitador foi deixado em funcionamento até a mistura atingir um aspecto homogêneo, o que demorou 7 minutos após a mistura. O procedimento foi repetido até que todo passasse pelo processo de lavagem. Após a lavagem, os volumes foram colocados em 8 funis de 250 ml de capacidade e em 3 minutos iniciou-se o processo de separação (Figura 6).

Figura 6. Separação do biodiesel após lavagem



Fonte: Autor (2022)

Após 36 horas de decantação resultou num volume total de biodiesel de 1.720 ml. Para realizar a segunda lavagem, se seguiu o mesmo procedimento, mas com um tempo de 24 horas de separação. Foram gastos 6 dias para as três lavagens com saldo final do biodiesel de 1.550 ml.

Secagem

Como parte final da preparação, o biodiesel foi separado em vários béqueres e levado à estufa de modelo 402 – 5DE, fabricada pela empresa Nova Ética, potência de 1000w, tensão de 220v, a 60° C durante 24 horas, como se vê na Figura 7, para remover a possível umidade relativa à água.

Após o processo de secagem foi acondicionado o volume resultante em um galão de plástico novo de 5 litros, em local fresco e arejado, longe da luz do sol e da umidade no próprio laboratório do CEEP.

Figura 7. Secagem do biodiesel na estufa



Fonte: Autor (2022)

Blendas

Foram realizadas 5 Blendas, cada uma com um volume de 1 litro. As porcentagens de mistura foram as seguintes: 100 ml de biodiesel de linhaça para 900 ml de diesel convencional adquirido em posto de combustível comercial, 200 ml de biodiesel de linhaça para 800 ml de diesel convencional, 300 ml de biodiesel de linhaça para 700 ml de diesel convencional, 400 ml de biodiesel de linhaça para 600 ml de diesel convencional e 500 ml de biodiesel de linhaça para 500 ml de diesel convencional, ou seja, as concentrações de 10%(B10), 20%(B20), 30%(B30), 40%(B40) e 50%(B50) respectivamente, os volumes foram inseridos em embalagem nunca utilizadas antes conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1. Blendas em diferentes porcentagens/concentrações

Blenda	Concentração
B10	100 ml de biodiesel de linhaça + 900 ml de diesel
B20	200 ml de biodiesel de linhaça + 800 ml de diesel
B30	300 ml de biodiesel de linhaça + 700 ml de diesel
B40	400 ml de biodiesel de linhaça + 600 ml de diesel
B50	500 ml de biodiesel de linhaça + 500 ml de diesel

Fonte: Autor (2022)

Motor Gerador Multifuncional

As amostras foram inseridas nas células de carga do medidor conjunto multifuncional do Laboratório Multiusuários de Tecnologias Sustentáveis da Universidade Estadual do Paraná do Campus de Cascavel, conforme apresenta a Figura 8. O motor gerador utilizado foi o modelo ciclo diesel BD–8000 E3, monocilindrico, da empresa Branco com as seguintes especificações: potência máxima 8,0 kVa, potência contínua 7,5 kVa, tensão de saída 220 V, trifásico, controle de tensão AVR/com escova, capacidade do tanque de 10 L, autonomia de 5 horas, dimensões de 690 mm de comprimento, 450 mm de largura e 550 mm de altura, com massa de 110 kg.

O armário que faz a aferição dos sistemas elétricos conta com o visor medidor multifuncional do qual apresenta dados como tensão (V), corrente (A), potência (kW), energia produzida (kWh), já o visor de consumo de combustível expressa em gramas (g) da massa inserida na célula de carga. Esse peso é dado a partir do momento em que a célula de combustível é preenchida e sua capacidade máxima é de 1.000 ml.

Figura 8. Conjunto Multifuncional para análise energética no consumo de combustível



Fonte: Silveira (2021)

Queima do Biodiesel

A queima do biodiesel de acordo com suas blendas realizou-se da seguinte forma: primeiramente a Blenda 10 (B10) foi inserida na célula de combustível, anotando-se o peso inicial em gramas, o tempo inicial (s), a energia produzida no primeiro momento (kWh) e Potência (kW), nas proporções 1,5 kW e 4,5 kW. Ligou-se o equipamento e durante um período de 5 minutos (300s), em que a cada 60 segundos foram anotados os resultados no visor, em registro imediato fotográfico.

Pelas considerações de duas potências (1,5 kW e 4,5 kW) cada uma das blendas tiveram então um total de 5 registros para cada valor de carga, totalizando 10 registros fotográficos por blenda. As demais, B20, B30, B40 e B50 seguiram sucessivamente o mesmo procedimento.

Para o Consumo de Combustível utilizou-se a Equação 1.

$$CE = (Mf - Mi)/(Ci - Cf) \tag{Eq. 1}$$

Onde CE é o Consumo Específico em g.kWh⁻¹, Mf é a Massa Final, Mi é a Massa Inicial, Cf é o Consumo Final e Ci é o Consumo Inicial.

Com os valores registrados, e os cálculos realizados foi realizado uma média do consumo específico de cada uma das blendas.

Resultados e Discussão

Biodiesel e Glicerol

O trabalho iniciou-se com 9 kg de sementes de linhaça dourada (*Linus usitatissimum*) dos quais após processo de extrusão e extração, resultaram em 6.335 kg de farelo e 2.540 ml de óleo bruto e 2.500 ml de óleo após filtrado. Com o processo de transesterificação o biodiesel teve um saldo de 2.140 ml e 360 ml de glicerol, com uma diferença de 85,6 % de biodiesel para 14, 4 % de glicerol (ainda com metanol em sua composição). Schaffner *et al* (2019) realizou um trabalho utilizando diversas culturas, dentre elas a linhaça onde para 50 ml da amostra, 36 ml restaram de biodiesel e 14 ml de glicerol, ou seja, 72 % de biodiesel para 28 % de glicerol.

Na continuidade das etapas, após a primeira lavagem houve uma perda de 420 ml de biodiesel, resultando em 1.720 ml, 1600 ml após a segunda lavagem e 1550 ml após a terceira lavagem. Na última etapa de secagem houve a perda de mais 35ml, sendo o saldo final de todo o processo de 1.515 ml de biodiesel.

Análise bromatológica da torta

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise bromatológica da torta ou farelo da linhaça realizado no Laboratório de análises de água e alimentos – Lanali.

Tabela 2. Resultado da análise bromatológica da torta

Ensaio	Análise	Método	Unidade	Resultado
FQ058	Lípido	Port. 108 – Met.10	g/100g	13,2
FQ075	Proteína Bruta	CBAA 2017	g/100g	30,77
FQ082	Mineral Fixo	IAL 2018	g/100g	5,76
FQ090	Umidade e Voláteis	CBAA 2017	g/100g	8,42
FQ093.60	Fibra Bruta	CBAA 2017	g/kg	77,47

Legenda: Análises realizadas pelo laboratório Lanali

Fonte: Autor (2022)

Mesmo com o processo de extração do óleo, ainda houve sobra de 13,2% de lipídios no farelo da linhaça, ou seja, há uma expressividade no valor que poderia ser ainda extraído para uso na produção de biodiesel.

Observando a análise de proteína em forma de decréscimo utilizando-se o mesmo método de prensa e extrusão pode se dizer que Lewandoski *et al.* (2021) obteve resultados das culturas de amendoim com 52,26%, canola 32,25 %. Na sequência vem a linhaça com 30,77% e a cultura do cártamo com 20,81 % (Nobre *et al.*, 2023). Dessa forma escalonamos a cultura de amendoim e canola mais vantajosas para a alimentação humana em suas concentrações diárias bem como para a alimentação animal.

O resultado do óleo puro da linhaça dourada (Tabela 3) e o seu respectivo biodiesel (Tabela 4) dos quais foram submetidos à análises no Laboratório de Combustíveis Pool Lab na cidade de Itajaí (SC), podem ser analisados a seguir.

Tabela 3. Ensaios Laboratoriais em Óleo de linhaça dourada puro

Ensaio	Metodo	Especificação	Resultado
Aspecto	Visual	L.I.I.	L.I.I.
Cor visual	Visual	Amarelo	Amarelo
Massa específica a 20° (Kg/m³)	ASTM D 4052	820 à 853,0	927,6
Água sedimentos (BSW) (%)	ASTM D 1796	0,05 máx.	Ausente
Ponto de congelamento(°C)	ASTM D 97	N.A.	<-12
Viscosidade a 40°C (cSt)	ASTM D 445	1,6 à 6,0	28,690
Ester (%)	Infravermelho	N.A.	23,485
Aromáticos totais (%)	Infravermelho	N.A.	0,50
Olefinas totais (%)	Infravermelho	N.A.	46,45
Benzeno (%)	Infravermelho	N.A.	0,04
Tolueno (%)	Infravermelho	N.A.	25,05
Glyserol (%)	Infravermelho	N.A.	0,72
Corrosividade ao cobre	ASTM D 130	N.A.	1A
Água por Karl Fischer (ppm)	ASTM D 6304	200, 0 máx.	992,80

Legenda: Análises realizadas pelo Laboratório Prolab

Fonte: Autor (2022)

Tabela 4. Ensaios Laboratoriais em biodiesel de linhaça dourada

EEnsaios	Metodo	Especificação	Resultado
Aspecto	Visual	L.I.I.	L.I.I.
Cor visual	Visual	Amarelo	Amarelo
Massa específica a 20° (Kg/m³)	ASTM D 4052	820 à 853,0	887,8
Água sedimentos (BSW) (%)	ASTM D 1796	0,05 máx.	Ausente
Ponto de congelamento (°C)	ASTM D 97	N.A.	- 6
Viscosidade a 40°C (cSt)	ASTM D 445	1,6 à 6,0	3,704
Ester (%)	Infravermelho	N.A.	25,808
Aromáticos totais (%)	Infravermelho	N.A.	0,78
Olefinas totais (%)	Infravermelho	N.A.	37,88
Benzeno (%)	Infravermelho	N.A.	0,03
Tolueno (%)	Infravermelho	N.A.	19,59
Glyserol (%)	Infravermelho	N.A.	5,45
Corrosividade ao cobre	ASTM D 130	N.A.	1A
Água por Karl Fischer (ppm)	ASTM D 6304	200, 0 máx.	964,50

Legenda: Análises realizadas pelo Laboratório Prolab

Fonte: Autor (2022)

Para a massa específica, reduziu-se de 927,6 kg/m³ do óleo puro para 887,8 kg/m³ no biodiesel, isso deve-se a retirada do glicerol através do processo de transesterificação, que está dentro do limite de 850 – 900 kg/m³ estabelecido pela Resolução da Agência Nacional do Petróleo – ANP N° 45 de 14 de agosto de 2014 (ANP, 2014). O mesmo acontece com a Viscosidade a 40°C que há um decréscimo de 28, 690 cSt para 3,704 cSt, do óleo puro para o biodiesel. Esse valor é muito próximo ao obtido por Ullah, Bano e Ali (2013) 3,752 cSt, Sahin e Ogut (2018) 4,274 cSt, Rashedul *et al.* (2014) 3.36 cSt e Ali e Watson (2014) 4,42 cSt, todos utilizando a mesma cultura, à 40°C, para o biodiesel. Se estabelece dentro também dos limites 3 – 6 cSt da Resolução ANP N° 45/14 (ANP, 2014).

O teor de água se apresentou muito acima do indicado (<200 ppm) pela ANP N° 45/14 (ANP, 2014), e pelo método de Karl Fisher ASTM D 6304 (200 ppm máx.), sendo 992,8 ppm para o óleo e 964,50 ppm para o biodiesel. Alguns trabalhos também apresentaram valores para o biodiesel da linhaça com valores pouco acima do ideal, como o de Sahin e Ogut (2018) 489,42 ppm e Silva (2015) 440 ppm.

O ponto de fulgor pelo método ASTM D 93 apresentou 166°C, valor muito próximo de outros trabalhos dos quais utilizam da mesma cultura como Sudalaiyandy *et al.* (2021) 130°C, Sahin e Ogut (2018) 148°C, Bahadorian *et al.* (2023) 160°C. A diferença pode variar a depender da região, e de seu processo de extração, ou seja, se ele já vem do refino, ou se foi extraído da semente, mesmo assim, o valor obtido no trabalho possui diferença irrisória.

Na Tabela 5, é possível observar outro comparativo das análises que estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução N° 14/2014 da ANP como aspecto, ponto de fulgor e corrosividade ao cobre, já o glicerol e o se apresentam em desacordo com a mesma resolução, com o primeiro (glicerol)

acima do limite estipulado e o segundo (ester) abaixo do limite estipulado.

Tabela 5. Comparação de análises do biodiesel da linhaça com a Resolução N° 45/14 da ANP.

Ensaio	Biodiesel de Linhaça	Resolução N°45/14 ANP
Aspecto	L.I.I.	L.I.I
Ponto de Fulgor (°C)	166	Mín. 100
Glycerol (%)	5,45	Máx. 0,25
Corrosividade ao Cobre	1A	1A
Ester (%)	25,808	Mín. 96,5

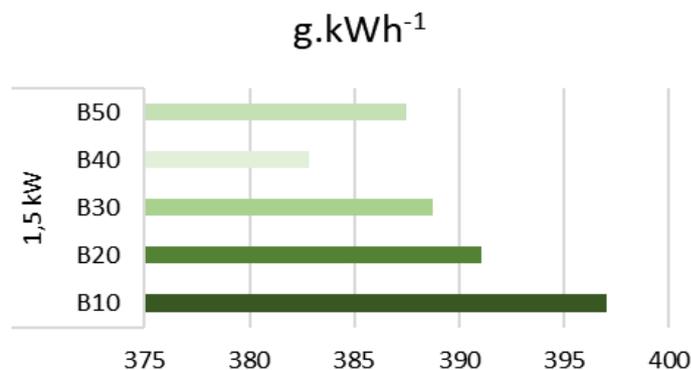
Fonte: Autor (2023)

Consumo específico

Após o procedimento de queima das blendas das duas cargas diferentes, observou-se que para a carga resistiva de 1,5 kW o melhor desempenho foi para as médias de resultados da blenda B10 com 397,02 g.kWh⁻¹, e para a carga de 4,5 kW também destacou-se B10 com a média de 597,87 g.kWh⁻¹.

A Figura 9 apresenta em g.kWh⁻¹, a energia gerada na carga de 1,5 kW e destaca como de maior para menor desempenho as blendas B10, B20, B30, B50 e B40, e nessa mesma ordem de classificação. A Figura 10 apresenta os resultados para a carga 4,5 kW as blendas B10, B30, B20, B40 e B50 igualmente em ordem decrescente de desempenho. O resultado melhor entre as cargas é para 4,5 kW B10.

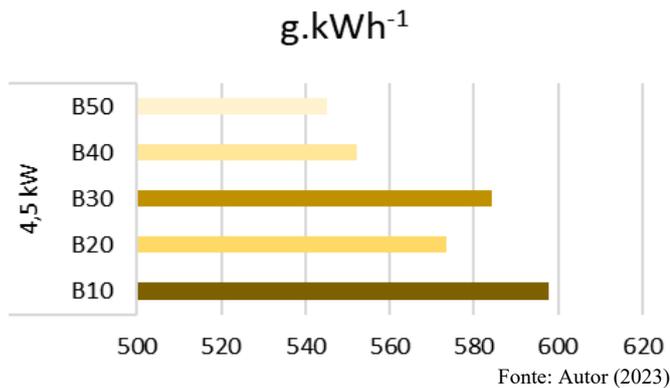
Figura 9. Rendimento das Blendas (g.kWh⁻¹) 10, 20, 30, 40 e 50 em Cargas de 1,5 kW



Fonte: Autor (2023)

Entre as blendas de cada uma das duas cargas não houve diferença significativa, uma vez que mantiveram-se entre 382,84 g.kWh⁻¹ (B40) e 397,02 g.kWh⁻¹ (B10) para a carga 1,5 kW, e para a carga de 4,5 kW, 545,12 g.kWh⁻¹ (B50) e 597,87 g.kWh⁻¹ (B10).

Figura 10. Rendimento das Blendas (g.kWh⁻¹) 10, 20, 30, 40 e 50 em Cargas de 4,5 kW



Conclusão

Assim, foi possível concluir que o rendimento do óleo de linhaça até o seu biodiesel lavado, teve perda de 59,64 % do rendimento líquido, resultando de 2.540 ml de óleo extraído para 1515 ml de biodiesel lavado.

A análise bromatológica demonstrou que mesmo com o processo de extração do óleo, 13,2% de lipídio ainda se fazia presente no farelo/torta o que em grande escala representa prejuízo ao produtor. É ao analisar o valor nutricional das proteínas, por não apresentar melhor desempenho do que as demais culturas como canola e amendoim das quais também se obtém biodiesel de primeira geração, e por apresentar desempenho menor para o cramele (biodiesel de segunda geração) que é matéria prima que não compete com a alimentação, desse ponto de vista, a linhaça se torna inviável para a produção de biodiesel quando comparado a essas culturas.

A viscosidade do biodiesel, o ponto de fulgor, a corrosividade ao cobre e a massa específica, apresentaram-se muito satisfatórias quando comparadas à literatura, principalmente com a Resolução nº 45/14 da ANP, porém ensaios como teor de água, éster e glicerol, apresentaram valores distantes dos limites estipulados.

Por fim, por se tratar de uma cultura que compete com os alimentos, pode se dizer por esse trabalho que o combustível de linhaça dourada de primeira geração não apresentou dados vantajosos frente ao seu desempenho de consumo específico de energia gerada.

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) e ao Centro Estadual de Educação Profissional Pedro Boaretto Neto – CEEP da cidade de Cascavel-PR.

Referências

ALI, M.; WATSON, I. A. Comparison of oil extraction methods, energy analysis and biodiesel production from flax seeds. *International Journal of Energy Research*. [S. l.], v.38, p.614 -p.625, 2014. DOI: 10.1002/er.3066

ANP [Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis] Resolução ANP nº 45, de 14 de agosto de 2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de agosto de 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acesso em: 17 set. 2023.

ANP [Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis] Resolução ANP nº 920, de 04 de abril de 2023. Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle de qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializem o produto em território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 04 de abril de 2023. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-920-2023-estabelece-a-especificacao-do-biodiesel-e-as-obrigacoes-quanto-ao-controle-da-qualidade-a-serem-atendidas-pelos-agentes-economicos-que-comercializam-o-produto-em-territorio-nacional?origin=instituicao&q=920/2023>. Acesso em: 26 jul. 2023.

BAHADRIAN A; SADRAMELI, S. M.; PAHLAVANZADEH, H.; KASHKOULI, M. N. I. Optimization study of linseed biodiesel production via in-situ transesterification and slow pyrolysis of obtained linseed residue. *Renewable Energy*. [S. l.], v..203, p.10 – p.19, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.043>

BARROSO, A. K.; TORRES, A. G.; CASTELO-BRANCO, V. N.; FERREIRA, A.; FINOTELLI, P. V.; FREITAS, S. P.; ROCHA-LEÃO, M. H. M. Linhaça marrom e dourada: propriedades químicas e funcionais das sementes e dos óleos prensados a frio. *Ciência Rural*. Santa Maria, v.44, n1, p.181 -187, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000100029>

BONDARIK, R.; PILATTI, L. A.; HORST, D. J. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. *Interciência*. v.43, n.10, p.680 – 688. Outubro, 2018.

CNPE [Conselho Nacional de Política Energética] Resolução CNPE nº 16, de 28 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 de outubro de 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-adota-periodo-de-transicao-para-alterar-o-percentual-da-mistura-de-biodiesel-no-oleo-diesel/resolucao_16_cnpe_291018.pdf. Acesso em: 26 jul. 2023.

CNPE [Conselho Nacional de Política Energética] Resolução CNPE nº 03, de 29 de março de 2023. Altera a Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 20 de março de 2023. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-473383252>. Acesso em: 26 jul. 2023.

DUARTE, V. C.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; NADALETTI, W. C.; VIEIRA, B. Biocombustíveis: uma visão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. *Meio Ambiente (Brasil)*. [S. l.], v.4, n.2, p.50-268, 2022.

IEA [Internacional Energy Agency]. **Tracking Coal-fired electricity Generation**. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/coal>. Acesso em 26 jul. 2023.

IPEA [Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada]. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>. Acesso em: 16 set. 2023.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**, 2ª Ed. São Paulo: Blucher, 2018.

LEWANDOSKI, C. F.; SANTOS, R. F.; SIO, J. P. M. K.; REIS, L. S.; VILLA. BRUNA. Avaliação de proteína de torta de canola e amendoim em prensa extrusora automatizada variando a temperatura e a velocidade de

- rotação. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJRRS)**. [S. l.], v.3, n.2, p.1 – p.17, 2021.
- LUCIO, A. D.; FOLLMANN, D. N.; EMANUELLI, T.; MARCHIORO, V. S.; VELHO, J. P. Histórico, usos e importância econômica da linhaça. In: VELHO, J. P.; LUCIO A. D. Linhaça: Perspectivas na produção e usos na alimentação humana e animal. **Atena**, 2021. Ch.1, p.1 – 9.
- MENDONÇA, M.; FINOCCHIO, M. A. F.; NICOLAU, C. F.; SOUZA, R. A. M.; OLIVERIA, T. A.; PALACACIOS, R. H. C.; SANTOS, M. R. P. Veículos elétricos no Brasil: o potencial brasileiro para a transição de modelos de locomoção. **Técnico-científica do CREA-PR**. 32. ed. Paraná, 2023. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/880/657>. Acesso em: 22 jul. 2023.
- NOBRE, F. L.; SANTOS, R. F.; RUPPENTHAL, J. G.; ZANINI, B.; SIQUEIRA, J. A. C.; PAZUCH, F.A.; SOUZA, S.N.M. Desempenho e caracterização do biodiesel de cártamo em mistura com diesel puro em um conjunto motor-gerador. **Research, Society and Development**. [S. l.], v. 12, n. 5, pág. e19012541471, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i5.41471>
- NOVELLO, D.; POLLONIO, M. A. R. Caracterização físico-química e microbiológica da linhaça dourada e marrom (*Linum usitatissimum*). **Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, v.72, n.2, p. 291- 300, 2012.
- OLIVEIRA, J. M.; CUNHA, C. O. M.; GOLFETTO, A. J. Cultivo da Linhaça – Informações técnicas sobre o cultivo da linhaça. **BRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**. Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/SBRT/pdfs/15295_3906_1.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.
- PEDROSO, L. L. A.; SILVA, F. F.; SILVA, F. F.; MELO, A. M.; JUNIOR, M. E.; SHIMOYA, L. A.; MATIAS, I. O.; SOUZA, C. L. M. Demandas atuais e futuras de biomassa e de energia renovável no Brasil e no mundo / Demandas atuais e futuras por biomassa e energia renovável no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal Development**. [S. l.], v.4, n.5, p. 1980 – p 1996, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv4n5-231>
- PINHEIRO, G. F.; GIRELI, T. Z. Cidades, políticas públicas e perspectivas para 2050 com uma nova abordagem sobre a matriz elétrica. **Lium concilium**. [S. l.], v.22, n.5, p.1060 – p. 1076, 2017. DOI: <https://doi.org/10.53660/CLM-447-544>.
- RASHEDUL, H. K.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ASHRAFUL, A. M.; RASHED, M. M.; SANHCITA, I.; SHAON, T. Performance and emission characteristic of compression ignition engine running with linseed biodiesel. **The Royal Society of Chemistry (RSC)**. Bangladesh, v.4, p. 64791 – p. 64797, 2014.
- SAHIN, S.; OGUT, H. Investigation of effects of linseed oil biodiesel and diesel flue blends on engine performance and exhaust emissions. **International Journal of automotive engineering and technologies (IJAET)**. [S. l.], v.7, n.4, p. 147 – p 159, 2018.
- SCHAFFNER, R. A.; JÚNIOR, E. S.; POZZ, D. M. D.; SANTOS, R. F.; NEVES, A. C. Obtenção e caracterização de biodiesel de diferentes óleos vegetais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. Paraná, v.8, n.4, p.623 – p.628, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v8i4.65753>
- SILVA, W. L. G. **Biodiesel: Síntese etílica estabilidade à oxidação**. 2015. 79 p. Dissertação de Mestrado em Química – Universidade de Campinas Instituto de Química, Campinas 2015.
- STANCK, L. T.; BECKER, D; BOSCO, L. C. Crescimento e Produtividade de linhaça. **Agrometeoros**. Passo Fundo, v.25, n.1, p.249 -256, ago. 2017.
- SUDALAIYANDI, K.; ALAGAR, K.; VIGNESH, K. R.; MANOJ P. V. J.; MADHU, P. Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with ternary blends of linseed and rubber seed oil biodiesel. **Fuel**. [S. l.], v.285, p. 1 – p.9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119255>
- ULLAH, F.; BANO, A.; ALI, S.; Optimization of protocol for biodiesel production of linseed (*Linum usitatissimum*). **Polish Journal of Chemical Technology**. [S. l.], v.15, n.1, p.74 – p.77, 2013.
- VASCONCELOS, R. R.; NOVAIS, A. A. L.; CABRAL, H. L. T. B. Impactos da Pandemia COVID-19 nas Relações Contratuais de Trabalho e de

Fornecimento de Energia Elétrica. **Revista Transformar**. [S. l.], v.14, n2, p.320 – p.335, 2020.

VIEIRA, J. S. C.; SOUSA, T. L.; ROSAS, L. S.; LIMA, A. L.; RONCONI, C. M.; MOTA, C. J. A.; Esterificação e Transesterificação Homogênea de Óleos Vegetais Contendo Alto de Teor de Ácidos Graxos Livres. **Química Nova**, São Paulo, v.41, n.1, p.10 – 16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170148>