

Produção de biodiesel a partir do óleo de soja, milho, girassol e canola por transesterificação: uma revisão sistemática

Biodiesel production from soybean, corn, sunflower and canola oil by transesterification: a systematic review

Producción de biodiesel a partir de aceite de soja, maíz, girasol y canola por transesterificación: una revisión sistemática

Recebido: 18/02/2022 | Revisado: 25/02/2022 | Aceito: 01/04/2022 | Publicado: 09/04/2022

Stefani Gabrieli Dias de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8433-2843>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Brasil
E-mail: stefani.freitas@aluno.ifsp.edu.br

Débora Nathália Fernandes Florindo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0461-5865>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: debora.florindo@unesp.br

Mariana Matulovic da Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6626-4621>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: mariana.matulovic@unesp.br

Mario Mollo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8341-4190>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: mario.mollo@unesp.br

Kassandra Sussi Mustafé Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5311-5667>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: kassandra.oliveira@unesp.br

Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8211-3882>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: paulo.sb.santos@unesp.br

Resumo

Este estudo tem como objetivo analisar e obter informações de artigos publicados entre os anos de 2017 e 2021, que tratem sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de soja, milho, girassol e canola por meio do processo de transesterificação. Para isso foi desenvolvida uma Revisão Sistemática de Literatura, no qual foi feita uma busca de artigos acerca desse tema em cinco bases de dados: IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science. Com base na string de busca, 3370 artigos foram encontrados e os mesmos foram submetidos ao software StArt, onde foi estabelecido critérios de inclusão e exclusão. No entanto, após completar todas as etapas de seleção e análise desses artigos, 29 trabalhos foram selecionados. A partir desses 29 artigos, foi feita um quadro contendo informações sobre eles, onde foi possível observar as metodologias empregadas, bem como os resultados, permitindo assim analisar fatores que interferem na produção do biodiesel.

Palavras-chave: Produção de biodiesel; Óleo de soja; Óleo de milho; Óleo de girassol; Óleo de canola; Transesterificação.

Abstract

This study aims to analyze and obtain information from articles published between the years 2017 and 2021, which deal with the production of biodiesel from soybean, corn, sunflower and canola oil through the transesterification process. To this end, a Systematic Literature Review was developed, in which a search for articles on this topic was conducted in five databases: IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus, and Web of Science. Based on the search string, 3370 articles were found, and these were submitted to the StArt software, where inclusion and exclusion criteria were established. However, after completing all the steps of selection and analysis of these articles, 29 papers were selected. From these 29 articles, a table containing information about them was made, where it was possible to observe the methodologies employed, as well as the results, thus allowing an analysis of factors that interfere in the production of biodiesel.

Keywords: Biodiesel production; Soybean oil; Corn oil; Sunflower oil; Canola oil; Transesterification.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo analizar y obtener información de los artículos publicados entre los años 2017 y 2021, que tratan sobre la producción de biodiésel a partir de aceite de soja, maíz, girasol y canola mediante el proceso de transesterificación. Para ello, se desarrolló una Revisión Sistemática de la Literatura, en la que se realizó una búsqueda de artículos sobre este tema en cinco bases de datos: IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus y Web of Science. A partir de la cadena de búsqueda, se encontraron 3370 artículos, que se sometieron al programa informático StArt, donde se establecieron los criterios de inclusión y exclusión. Sin embargo, tras completar todos los pasos de selección y análisis de estos artículos, se seleccionaron 29 trabajos. A partir de estos 29 artículos, se confeccionó una tabla con información sobre los mismos, donde se pudieron observar las metodologías empleadas, así como los resultados, permitiendo así un análisis de los factores que interfieren en la producción de biodiésel.

Palabras clave: Producción de biodiésel; Aceite de soja; Aceite de maíz; Aceite de girasol; Aceite de canola; Transesterificación.

1. Introdução

A maior parte das necessidades energéticas da sociedade são supridas por meio dos combustíveis, principalmente os de origem fósseis, que por se tratarem de uma fonte de energia não renovável e altamente poluidora, devem ser utilizados de forma moderada e correta. Dessa maneira, tendo em vista que esse tipo de fonte vem sendo substituída pelas renováveis, o aumento do uso de energias sustentáveis mostra-se ser muito importante na matriz energética mundial (Carneiro et al., 2018).

Nesse contexto, o biodiesel vem tendo destaque no cenário mundial por ser um combustível ambientalmente correto e oriundo de muitas fontes renováveis, de modo que pode ser produzido partir de diversas plantas oleaginosas (Freitas et al., 2017). Desse modo, os óleos vegetais são os mais usados para produzir biodiesel, devido ao fato de serem constituídos por triacilglicerídeos, originados pela esterificação de ácidos graxos com glicerol (Meher et al., 2004 como citado em Barbosa, 2020, p. 15).

Assim, o biodiesel geralmente produzido por meio do processo chamado transesterificação, que de acordo com Knothe et al. (2006) trata-se de uma reação, onde os óleos vegetais e a gordura animal reagem com um catalisador e com um álcool para a produção dos alquil ésteres da mistura de ácidos graxos presente no óleo vegetal ou na gordura animal, tem a capacidade de atender de maneira semelhante as características e eficiências do óleo diesel de petróleo. Desse modo, o biodiesel além de ser proveniente de uma produção renovável, devido à grande variedade de plantas oleaginosas como fontes de matéria prima, ele também ajuda a reduzir impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis, como a emissão de gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa. Por esses motivos, muitos estudos relacionados à produção de biodiesel têm se desenvolvido nos últimos anos e ganhado bastante apoio dos órgãos governamentais e industriais, que buscam possibilitar o avanço e crescimento do setor primário (Brieu, 2009 como citado em De Rossi et al., 2018, p. 2).

No entanto, esse estudo que trata sobre a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais, se relaciona diretamente com a questão da sustentabilidade, uma vez que, por se tratar de um combustível renovável, ajuda a reduzir os impactos causados pela emissão de gases poluentes no meio ambiente. Dessa forma, pode-se relacionar esse trabalho com as ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) presentes na ONU (Organização das Nações Unidas). Essa relação pode ser enquadrada com as ODS de número 4 que visa promover oportunidades de aprendizagem de qualidade a todos, número 7, pois busca garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos e, número 13, que tem como intuito combater a mudança do clima e seus impactos (ONU, 2021).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo principal obter informações sobre a produção de biodiesel a partir de diferentes óleos vegetais, buscando identificar as melhores opções para a produção e realizar uma análise das tecnologias desenvolvidas nos últimos anos. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL), onde utilizou-se dos estudos sobre artigos publicados nos anos de 2017 a 2021 relacionados ao tema do trabalho.

2. Metodologia

Tendo em vista a importância da produção de biodiesel a partir de óleos vegetais via transesterificação, torna-se necessário investigar artigos relacionados a esse tema para que assim possa analisar e identificar as melhores opções para a produção de biodiesel a partir dessa matéria-prima. No entanto para o desenvolvimento desse estudo, a realização de um Revisão Sistemática de Literatura (RSL), mostra-se ser muito importante, visto que, por meio dela é possível alcançar resultados esperados.

A Revisão Sistemática de Literatura de acordo com Biolchini et al. (2007), se trata de “uma metodologia específica de pesquisa, desenvolvida a fim de reunir e avaliar as evidências disponíveis pertencentes a um tema em foco.” No qual, a partir desse método de pesquisa será aplicada técnicas para que com base nos dados coletados, seja feita a seleção, análise, avaliação e síntese dos artigos científicos selecionados, com objetivo de se elaborar um embasamento teórico-científico acerca de um determinado assunto (Levy & Ellis, 2006).

Portanto, para o desenvolvimento dessa RSL foi realizada uma busca de artigos científicos publicados a partir de 2017, em cinco bases de dados, sendo a IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science, no qual pode-se notar os resultados dessa busca no Quadro 1 e Gráfico 1.

Quadro 1 - Quantidade de artigos encontrados de acordo com as bases de dados.

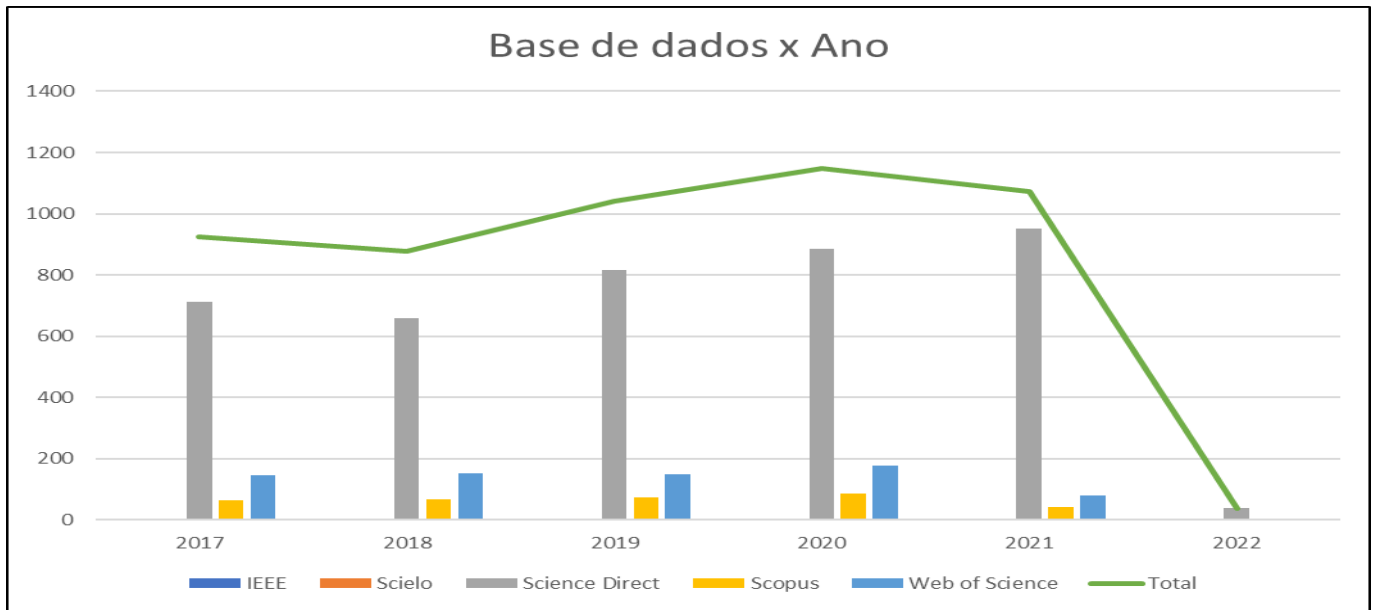
Bases de Dados	Geral	A partir de 2017	Artigos originais
IEEE	3	0	0
Scielo	19	3	3
Science Direct	8853	4065	2469
Scopus	1029	330	281
Web of Science	1843	700	617
TOTAL	11747	5098	3370

Fonte: Autores (2022).

Com base nas imagens acima, pode-se observar que a base de dados IEEE, não apresentou nenhum artigo científico, de modo que essa base não foi utilizada para o desenvolvimento desta RSL. Além disso, também é possível notar um crescente aumento na quantidade de artigos publicados nos últimos anos.

A partir dos dados coletados e para a realização da síntese dos artigos, foi feita uma análise dos mesmos, no qual foi dividida em três etapas principais, sendo a entrada, processamento e saída. Desse modo, para a execução dessas etapas utilizou-se uma ferramenta gratuita chamada StArt (State of the Art through Systematic Review), elaborada pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos). Essa ferramenta que serve como apoio para o desenvolvimento da RSL, divide o estudo em três etapas: planejamento, onde se preenche o protocolo, execução e sumarização, de modo que após a finalização dessas etapas obtém-se os artigos selecionados que servirão para dar continuidade a Revisão Sistemática de Literatura.

Gráfico 1 – Quantidade de artigos encontrados por ano.



Fonte: Autores (2022).

No preenchimento do protocolo são definidos todos os critérios que serão utilizados para a seleção dos artigos. Nessa etapa é estabelecido o objetivo da RSL, o formato dos dados que serão coletados, os critérios de inclusão e exclusão para selecionar os trabalhos, são informadas as palavras-chave e, além disso, são selecionadas as bases de dados utilizadas na busca dos artigos.

Na execução será anexado os artigos exportados das bases de dados em formato de BIBTEX e RIS. Dessa forma, com base nas informações do protocolo, como as palavras-chaves, a ferramenta StArt automaticamente analisa todos os artigos e gera uma pontuação para cada trabalho, de modo que facilita para a seleção dos artigos. Além disso, o software também identifica todos os artigos duplicados, o que favorece muito nos processos de seleção e extração dos melhores artigos para o desenvolvimento do estudo.

A sumarização além de disponibilizar de acordo com os critérios classificação os resultados obtidos nas etapas anteriores em forma de gráficos, também permite escrever um resumo da RSL.

2.1 Metodologia de entrada

Na metodologia de entrada foi estabelecido o objetivo da RSL, a questão principal, as palavras-chaves, as bases de dados que seriam usadas, a string de busca para encontrar e obter artigos científicos associados ao tema do estudo e foi definido os critérios de inclusão, exclusão e qualificativos, em que os artigos coletados nas bases de dados seriam submetidos e analisados. Assim, o Quadro 2 exibe os critérios de entrada dessa RSL.

Quadro 2 – Critérios de entrada da RSL.

Objetivo
Analisar artigos científicos nos anos de 2017 a 2021 sobre a produção de biodiesel a partir de óleo de soja, milho, canola e girassol utilizando o método de transesterificação
Situação problema
Produção de biodiesel por transesterificação com óleo de soja, milho, canola e girassol
Bases de Dados
Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science
String de busca
"biodiesel production" AND (soy OR corn OR canola OR sunflower)
Palavras-Chave e Sinônimos
Biodiesel, Biodiesel fuel, Biodiesel production, Canola, Canola biodiesel, Canola oil, Corn, Corn oil, Corn-oil, Oil, Oil transesterification, Produce biodiesel, Soy, Soy oil, Soybean, Soybean biodiesel, Soybean oil, Soybean oil biodiesel, Soybean oil transesterification, Soybeans, Sunflower, Sunflower biodiesel, Sunflower oil, Sunflowers, Transesterification, Transesterification biodiesel, Transesterification of oils
Critérios de inclusão dos artigos nas bases de dados
Inclusão (I) – Serão incluídos trabalhos que tratem sobre a produção de biodiesel por transesterificação com óleo de soja
Inclusão (I) – Serão incluídos trabalhos que tratem sobre a produção de biodiesel por transesterificação com óleo de milho
Inclusão (I) – Serão incluídos trabalhos que tratem sobre a produção de biodiesel por transesterificação com óleo de canola
Inclusão (I) – Serão incluídos trabalhos que tratem sobre a produção de biodiesel por transesterificação com óleo de girassol
Inclusão (I) – Serão incluídos trabalhos acessíveis na íntegra
Inclusão (I) – Serão incluídos trabalhos escritos em português ou inglês ou espanhol
Critérios de exclusão dos artigos nas bases de dados
Exclusão (E) – Serão excluídos trabalhos que tratem sobre a produção de biodiesel por meio de outros processos
Exclusão (E) – Serão excluídos trabalhos que tratem sobre a produção de biodiesel com outras matérias primas
Exclusão (E) – Serão excluídos trabalhos sem acesso na íntegra
Exclusão (E) – Serão excluídos trabalhos escritos em outros idiomas
Exclusão (E) - Serão excluídos trabalhos que não tratem sobre a produção de biodiesel
Critérios de Qualidade
O artigo relata processo de transesterificação com óleo de soja, milho, canola e girassol {Sim, Não} Fonte: Autores (2022).
A metodologia do artigo descreve de forma detalhada o processo de produção {0,1,2,3,4,5}
Os resultados dos artigos {Excelente, Ótimo, Bom, Ruim, Péssimo}

Fonte: Autores.

Após o estabelecimento dos critérios de entrada, realizou-se a metodologia de processamento, onde foi realizada toda a etapa de busca e análise dos artigos.

2.2 Metodologia de processamento

Na metodologia de processamento foi feita a busca nas bases de dados citadas anteriormente, utilizando a string de busca, no qual foram extraídos artigos acadêmicos relacionados ao tema do trabalho. Foram extraídos ao todo 3370 artigos como pode ser observado no Quadro 1. Com isso, a partir dessa quantidade de artigos extraídos foi aplicado os critérios de inclusão e exclusão, onde 2564 artigos foram rejeitados, 755 eram duplicados e 51 artigos foram aceitos para a extração.

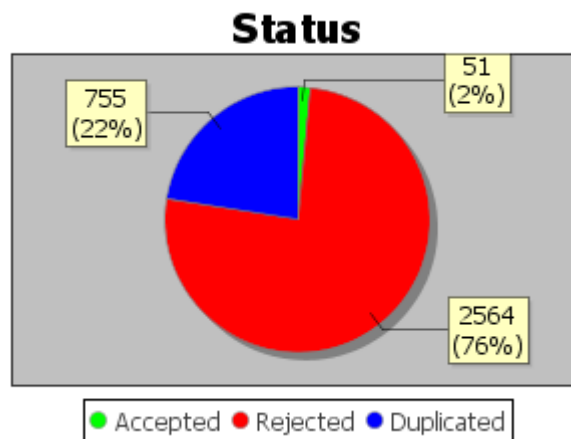
Os artigos selecionados para a etapa da extração, tiveram seus resumos analisados e, a partir deles foram empregados os critérios qualitativos, onde foram analisadas as metodologias e resultados desses artigos. Com base nisso, novamente os artigos foram divididos em aceitos, duplicados e rejeitados.

Dos 51 artigos selecionados para a etapa de extração, 20 foram rejeitados, pois não tinham muita relação com o tema do estudo, 2 eram duplicados e 29 artigos foram aceitos, porque além de estarem relacionados a tema do trabalho, também mostram ser bastante pertinentes a isso, de modo que eles foram selecionados para dar continuação e desenvolver a RSL.

3. Resultados e Discussão

Durante a metodologia de processamento onde foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão, pode-se observar que dos 3370 artigos extraídos das bases de dados, 76% dos artigos foram rejeitados, 22% eram duplicados e apenas 2% foram aceitos para a etapa de extração, conforme Gráfico 2.

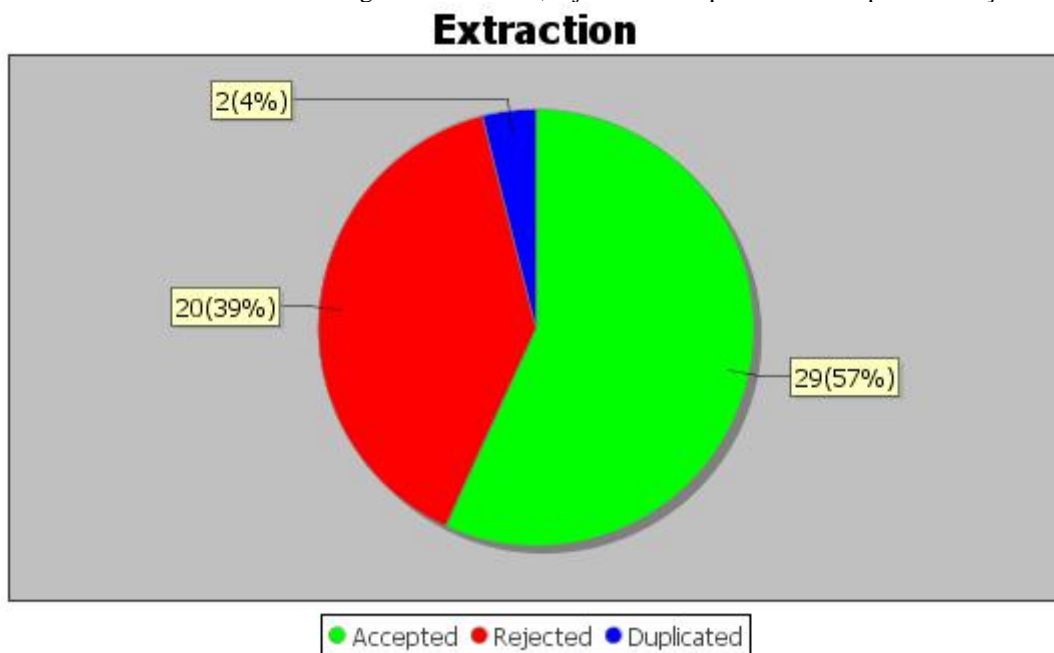
Gráfico 2 - Percentual de artigos selecionados, duplicados e rejeitados.



Fonte: Autores (2022).

Após os critérios qualitativos serem empregados, dos 51 artigos selecionados para a etapa extração 57% foram aceitos para dar continuidade a RSL, 39% rejeitados e 4% eram duplicados como pode ser observado no Gráfico 3.

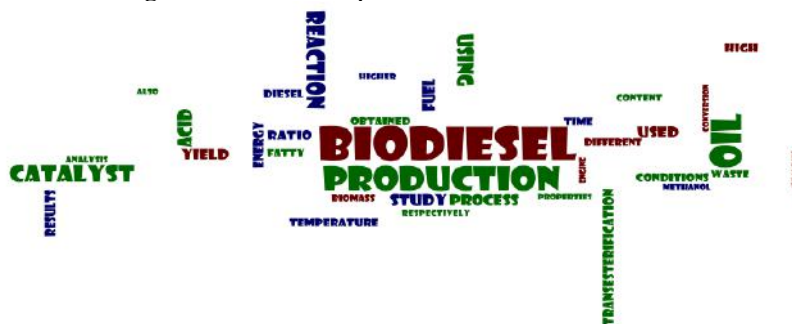
Gráfico 3 - Percentual de artigos selecionados, rejeitados e duplicados da etapa de extração.



Fonte: Autores (2022).

Assim, com a realização de toda a etapa de processamento de dados, 29 artigos foram aceitos com base nos critérios estabelecidos para dar continuidade ao estudo. Dessa forma, a Figura 1 ilustra a nuvem de palavras constituídas de palavras-chaves encontradas nos abstracts dos artigos aceitos.

Figura 1 - Nuvem de palavras-chaves encontradas nos abstracts dos artigos.



Fonte: Autores (2022).

É possível notar destaque nas palavras Biodiesel, Production e Oil, mostrando a relevância e importância de estudos relacionados a produção de biodiesel a partir de óleos. Além disso, também é possível notar um certo destaque na palavra transesterificação, já que se trata de um processo muito utilizado para obtenção de biodiesel a partir de óleos vegetais.

No entanto, com base nos trabalhos aceitos foi feita uma análise de todos artigos, e a partir disso foram construídos quadros contendo informações dos mesmos, como os autores, títulos, ano de publicação, objetivos, metodologias e resultados alcançados. Dessa forma, o Quadro 3 apresenta uma síntese dos artigos aceitos que tratam sobre produção de biodiesel a partir do óleo de soja.

Quadro 3 - Informações sobre os artigos que tratam sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de soja.

Nome dos autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
CHEN, Y.C., LIN, D.Y. & CHEN, B.-H.	Transesterification of acid soybean oil for biodiesel production using lithium metasilicate catalyst prepared from diatomite	2017	Desenvolver catalisadores heterogêneos de baixo custo para a transesterificação de triglicerídeos para a produção de biodiesel.	Foi desenvolvido um estudo sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de soja ácido utilizando metassilicato de lítio e suas misturas com zeólita ABW como catalisador. Para a produção de biodiesel, catalisadores sólidos foram usados na transesterificação de óleo de soja ácido.	Conforme o estudo, utilizando catalisadores metassilicato de lítio os rendimentos de biodiesel foram acima de 95%.
FARZANEH, F.; DASHTIPOUR, B. & RASHTIZADEH, E.	Transesterification of soybean oil for biodiesel production over CaAlSi mixed oxide nanoparticles	2017	Utilizar nanopartículas de óxido metálico misto de CaAlSi para transesterificação do óleo de soja para produção de biodiesel	Utilizando o método sol-gel, nanopartículas de óxido metálico misto de CaAlSi foram preparadas e usadas como um catalisador heterogêneo básico para transesterificação de óleo de soja com metanol em ésteres metílicos. O catalisador foi caracterizado por difração de raios X, microscópio eletrônico de varredura, infravermelho por transformada de Fouier e técnicas de análise gravimétrica térmica.	Com esse estudo, verificou-se que a reação de metanol e óleo de soja com a razão molar de 30 na presença de 6% de catalisador (com base no peso do óleo de soja) fornece biodiesel quase quantitativamente a 60 °C em 6 h.
JOSHI, S., et al.	Intensification of biodiesel production from soybean oil and waste cooking oil in the presence of heterogeneous catalyst using high speed homogenizer	2017	Avaliar a eficiência de um homogeneizador de alta velocidade para a síntese de biodiesel a partir de óleo de soja e óleo de cozinha residual.	O homogeneizador de alta velocidade foi usado para a intensificação da síntese de biodiesel a partir de óleo de soja e óleo de cozinha residual (WCO). Para obtenção do biodiesel o método utilizado foi o de transesterificação na presença de catalisador heterogêneo (CaO).	O homogeneizador de alta velocidade na presença de catalisadores heterogêneos mostrou ser bastante eficiente para a produção de biodiesel. O rendimento máximo de biodiesel a partir de óleo de soja foi de 84% e 88% a partir do óleo de cozinha residual.
YU, G.-W., et al.	Transesterification of soybean oil by using the synergistic microwave-ultrasonic irradiation	2017	Investigar os fatores importantes e seus níveis adequados na transesterificação catalisada do óleo de soja através do auxílio sinérgico de ultrassom de microondas (CAMU).	Para a produção de biodiesel foi utilizado o processo transesterificação do óleo de soja, no qual foi realizada com ultrassom combinado de micro-ondas.	De acordo com o estudo, o CAMU mostrou ser muito eficiente na transesterificação. Além disso, os resultados mostraram que existiram interações entre suas influências no rendimento de FAME, principalmente para microondas e potência ultrassônica. O maior rendimento foi de 98%, obtido com 700 W de potência de micro-ondas.
CELANTE, D.; SCHENKEL, J.V.D. & CASTILHOS, F.	Biodiesel production from soybean oil and dimethyl carbonate catalyzed by potassium methoxide	2018	Investigar a reação de transesterificação do óleo de soja com DMC catalisada por metóxido de potássio preparado por recristalização com metanol.	Foi realizado um estudo da reação de transesterificação do óleo de soja com carbonato de dimetila catalisado por metóxido de potássio preparado através do processo de recristalização em presença de metanol. Experimentos foram realizados para investigar os efeitos do metanol em meio DMC / óleo e também para comparar reações com catalisadores recristalizados e heterogêneos.	Os resultados mostraram que a recristalização do metóxido de potássio na presença de metanol alcançou uma conversão de triglicerídeo (TG) superior a 99%, enquanto apenas uma conversão de 20% de TG foi alcançada.

DEBONI, T. M., et al.	Deacidification and ethyl biodiesel production from acid soybean oil using a strong anion exchange resin	2018	Investigar simultaneamente a desacidificação e a produção de biodiesel etílico a partir do óleo de soja utilizando a resina de troca aniônica Amberlyst A26 OH.	Foi investigado o comportamento do processo, em função do carregamento de resina, concentração de etanol e teor inicial de ácidos graxos livres (AGL). Para obter o óleo acidificado, óleo de soja degomado e ácido linoléico comercial foram misturados.	A investigação mostrou que uma alta remoção de FFAs com alta taxa de desacidificação poderia ser obtida usando menores razões iniciais de FFAs por massa de resina seca, sendo essa a condição mais favorável para a desacidificação do óleo.
MOHADESI, M., et al.	Soybean Oil Transesterification Reactions in the Presence of Mussel Shell: Pseudo-First Order Kinetics	2018	Investigar o modelo cinético para o transesterificação de óleo de soja com metanol catalisado por resíduos de catalisador de concha de mexilhão	Foi desenvolvido um estudo sobre um catalisador barato e compatível com o ambiente. A reação de transesterificação foi realizada em condições ótimas. Além disso, foi investigado os efeitos da velocidade do agitador, a temperatura de reação e o tempo de reação na conversão do éster metílico.	Os resultados indicaram que a difusão tem um papel significativo na taxa de conversão de éster metílico na reação catalisada de forma heterogênea. Além disso, também mostraram a alta precisão da cinética de pseudo-primeira ordem selecionada para a reação de transesterificação do óleo de soja com metanol na presença de casca de mexilhão como catalisador.
HUANG, J., et al.	Fabrication of hollow cage-like CaO catalyst for the enhanced biodiesel production via transesterification of soybean oil and methanol	2021	Projetar um catalisador heterogêneo de baixo custo e ambientalmente correto para a produção de biodiesel	Um catalisador CaO tipo gaiola oca (CaO-700N) foi preparado pela pirólise de CaCO ₃ oco sob temperatura de calcinação controlada e atmosfera de N ₂ .	Com a utilização do catalisador foi possível alcançar um rendimento máximo de 97,80% de biodiesel. Além disso, o catalisador permaneceu altamente estável e manteve o rendimento do biodiesel acima de 90,30% após a quinta reutilização.
ZHU, Z., et al.	Soybean biodiesel production using synergistic CaO/Ag nano catalyst: Process optimization, kinetic study, and economic evaluation	2021	Desenvolver um nano catalisador CaO / Ag sinérgico para a produção de biodiesel a partir do óleo de soja, pensando na otimização do processo e fazendo um estudo cinético e avaliação econômica	Foi desenvolvido um nano catalisador heterogêneo CaO / Ag, no qual foi aplicado para a produção de biodiesel a partir da transesterificação do óleo de soja. A metodologia de superfície de resposta foi aplicada para investigar a influência dos parâmetros de reação e otimizar o rendimento do biodiesel.	De acordo com o estudo o rendimento maximizado de biodiesel foi de 90,95 ± 2,56%. Além disso, o rendimento otimizado do biodiesel para a transesterificação catalisada por CaO foi de 88,40 ± 3,34%.

Fonte: Autores (2022).

Dado o interesse inicial a respeito da produção de biodiesel a partir de óleos vegetais utilizando o processo de transesterificação, foi possível observar que grande parte dos artigos apresentados no quadro acima tratavam sobre essa temática, de modo que a matéria-prima utilizada para a obtenção do biodiesel era o óleo de soja. Além disso, também foi possível notar que todos os trabalhos que descreviam a reação de transesterificação utilizavam metanol, mostrando dessa forma, a eficiência desse álcool para se obter biodiesel, já que a partir dele foi possível alcançar bons resultados.

Em relação aos catalisadores utilizados para a reação de transesterificação, pode-se destacar o hidróxido de potássio (KOH) e óxido de cálcio (CaO) que mostraram ser bastante eficientes para a produção de biodiesel juntamente com o metanol, de modo que os rendimentos de biodiesel utilizando essas combinações foram excelentes.

O trabalho de Huang et al. (2021) merece um destaque, pois buscaram projetar um catalisador heterogêneo de baixo custo e ambientalmente correto para produção de biodiesel. No estudo eles utilizaram um catalisador de CaO do tipo gaiola oca para produzir biodiesel por meio da transesterificação do óleo de soja com metanol, onde foi possível alcançar um rendimento muito bom, de 97,80%. Dessa forma, vale ressaltar que esse catalisador além de mostrar ser muito eficiente, também mostrou ter potencial para utilização em setor industrial para produzir biodiesel, devido ao seu custo-benefício e ecologia ambiental.

Dos 29 artigos aceitos para realização da RSL apenas dois trataram sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de milho, como mostra o Quadro 4. A mesma coisa pode ser vista no Quadro 4 que apresentam trabalhos que tratam sobre a produção de biodiesel com óleo de canola, onde somente dois trabalhos falaram sobre essa temática.

Quadro 4 - Informações sobre os artigos que tratam sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de milho.

Nome dos autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
AFSHARIZADEH, M. & MOHSE.NNIA, M	Catalytic synthesis of biodiesel from waste cooking oil and corn oil over zirconia-based metal oxide nanocatalysts	2019	Examinar as atividades catalíticas dos óxidos mistos de ZrO ₂ -SrO ₂ e ZrO ₂ -CuO para a produção de biodiesel	Foi otimizada a razão molar dos nanocatalisadores de óxidos mistos, por meio do exame do efeito de diferentes razões molares na transesterificação do óleo de cozinha residual (WCO) e óleo de milho.	De acordo com os resultados, os óxidos mistos binários à base de zircônia são ótimos catalisadores para a produção de biodiesel a partir de óleos de cozinha residuais e óleo de milho, aplicáveis em motores a diesel.
NAROWSKA, B., et al.	Use of activated carbons as catalyst supports for biodiesel production	2019	Substituir um catalisador alcalino homogêneo por um catalisador heterogêneo no suporte de carbono.	Por meio da transesterificação de óleo de milho usando KOH suportado em carvão ativado, foi produzido ésteres metílicos de ácidos graxos. Para otimizar esse processo foi utilizado o efeito da razão molar de metanol para óleo, tempo de reação e a quantidade de catalisador.	O estudo mostrou que utilizando o catalisador desenvolvido a transesterificação do óleo de milho residual usando metanol pode ser efetivamente catalisada, de modo que o rendimento de biodiesel foi de 92%.

Fonte: Autores (2022).

Embora os estudos falem sobre a transesterificação do óleo de milho para produção do biodiesel, é possível observar que o trabalho de Afsharizadeh e Mohsennia (2019) está mais focado nos tipos de catalisadores que podem ser utilizados para obtenção de biodiesel, de modo que no estudo, os autores concluíram que os óxidos mistos à base de zircônia são catalisadores apropriados para a produção de biodiesel a partir do óleo de milho.

Um ponto importante de se destacar com base no estudo de Narowska et al. (2019), é que assim como foi visto nos trabalhos anteriores que tratavam sobre produção de biodiesel a partir do óleo de soja, o metanol juntamente com o hidróxido de potássio também foi utilizado na reação de transesterificação do óleo de milho, evidenciando dessa forma que a utilização desse tipo de álcool e catalisador nas reações de transesterificação para obtenção de biodiesel é muito comum (Quadro 5).

Quadro 5 - Informações sobre os artigos que tratam sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de canola.

Nome dos autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
HARIPRASATH, P., et al.	Comparative analysis of cashew and canola oil biodiesel with homogeneous catalyst by transesterification method	2019	Identificar o rendimento máximo e as propriedades físico-químicas de um processo segmentar recentemente formulado do método de transesterificação	Foi desenvolvida uma pesquisa que trata sobre biodiesel de óleo não comestível de caju e canola afim de identificar o rendimento máximo e as propriedades físico-químicas por meio de um processo segmentar recentemente formulado do método de transesterificação, onde foi usado hidróxido de sódio como catalisador.	Os resultados mostraram que o rendimento máximo obtido pelo óleo de canola foi de 85%, sendo 30% superior ao biodiesel de óleo de caju.
JITJAMNONG, J., et al.	Biodiesel Production from Canola Oil and Methanol Using Ba Impregnated Calcium Oxide with Microwave Irradiation-Assistance	2019	Utilizar um método de aquecimento por micro-ondas para melhorar o rendimento de FAME e reduzir o tempo de síntese de biodiesel a partir de óleo de canola	Catalisadores foram preparados e aplicados na transesterificação do óleo de canola com metanol sob aquecimento assistido por micro-ondas (300 W) para formar ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME).	Com esse estudo foi possível concluir que a irradiação por microondas tem ajudado a reduzir o tempo de síntese na transesterificação. Além disso, o catalisador Ba /CaO sintetizado mostrou um alto desempenho catalítico com um rendimento máximo de biodiesel de 94%.

Fonte: Autores (2022).

Novamente em ambos trabalhos o método empregado para a produção de biodiesel é o de transesterificação com metanol. Assim, no trabalho de Jitjamnong et al. (2019) algo que chama atenção é o catalisador heterogêneo de bário com óxido de cálcio (Ba/CaO) produzido para utilizar na transesterificação do óleo de canola, que mostrou ter um alto rendimento catalítico, de modo que levou há alcançar um rendimento de biodiesel muito bom. Dessa forma, isso mostra que esse tipo de catalisador pode ser eficiente para se utilizar na reação de transesterificação para produção de biodiesel a partir de óleos vegetais.

Ainda com base nos artigos aceitos, o Quadro 6 apresenta artigos que tratam sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de girassol.

Quadro 6 - Informações sobre os artigos que tratam sobre a produção de biodiesel a partir do óleo de girassol.

Nome dos autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
EBRAHIMI, S.; NAJAFPOUR, G.D. & ARDESTANI, F.	Transesterification of waste cooking sunflower oil by porcine pancreas lipase using response surface methodology for biodiesel production	2017	Utilizar a lipase de pâncreas suína como catalisador ativo na reação de transesterificação de óleo de girassol residual para produção de biodiesel.	Foi realizada a metodologia de superfície de resposta e o projeto de composição central para definir os parâmetros de processo ideais e prever os melhores resultados. Além disso, foi investigado os efeitos da razão molar de metanol para óleo, concentração de lipase e temperatura de reação na transesterificação.	Conforme o estudo, o rendimento máximo de biodiesel em condições ideais foi de 75%.
PIRSAHEB, M., et al.	Biodiesel production from sunflower oil using electrochemical reaction as a green, low-cost and room temperature method: Modeling and optimization by RSM	2017	Investigar o método eletroquímico como uma abordagem confiável na análise da produção de biodiesel a partir de óleo de girassol	Foi utilizado um método livre de catalisador para a produção de biodiesel utilizando o método eletroquímico com eletrodos de grafite na presença de altos valores de água. A metodologia de superfície de resposta, juntamente com o projeto de composto central, foi usada para otimizar as condições de reação.	Conforme o estudo, o rendimento máximo da produção de biodiesel (81%) foi obtido nas condições ótimas: tensão de 35 V, razão molar CH ₃ OH / óleo de 18, teor de água de 2% e tempo de reação de 3 h.
ALAEI, S., et al.	Magnetic and reusable MgO/MgFe₂O₄ nanocatalyst for biodiesel production from sunflower oil: Influence of fuel ratio in combustion synthesis on catalytic properties and performance	2018	Utilizar um nanocatalisador magnético para produção de biodiesel a partir de óleo de girassol	Foi utilizado na reação de produção de biodiesel a partir de óleo vegetal, um nanocatalisador magnético de MgO / MgFe ₂ O ₄ via método de combustão. Para definir as características dos catalisadores sintetizados e a proporção ótima de combustível no método de síntese de combustão, foram utilizadas análises físico-químicas.	Os resultados mostraram que na reação de produção de biodiesel em determinadas condições, verificou-se que o catalisador tem grande potencial para produzir biodiesel e também foi obtida conversão máxima de 91,2%.
QASIM, MK.	Modified Nanostructure MgO Superbasicity with CaO in Heterogeneous Transesterification of Sunflower Oil	2019	Utilizar catalisador heterogêneo de superbasicidade nanoestruturada de MgO com CaO, para produzir biodiesel a partir do óleo de girassol por transesterificação	Foi preparada a superbasicidade de MgO com CaO como nanoestrutura pelo método de hidratação-desidratação e utilizada como catalisador heterogêneo para a síntese de biodiesel (FAME) por meio da transesterificação de óleo de girassol com metanol.	De acordo como o estudo, o rendimento máximo de biodiesel foi de 97%, com razão molar de 25%, temperatura de reação de 65 °C e pressão atmosférica.
GHAVAMI, K.; AKHLAGHIAN, F. & RAHMANI, F.	Potassium compounds-Al₂O₃ catalyst synthesized by using the sol-gel urea combustion method for transesterification of sunflower and waste cooking oils	2020	Produzir biodiesel por transesterificação do óleo de girassol e óleos de cozinha residuais utilizando catalisador de compostos de potássio-Al ₂ O ₃	Foi preparado através do método de combustão de uréia sol-gel usando nitratos de potássio e alumínio, o catalisador de compostos de potássio-Al ₂ O ₃ , que foi aplicado na transesterificação do girassol e óleos residuais de cozinha para produzir biodiesel.	Os resultados mostraram que o rendimento experimental da produção de biodiesel foi de 88,74% para o óleo de girassol e 82,01% para o óleo de cozinha usado.

SALMASI, M.; KAZEMEINI, M. & SADJADI, S.	Transesterification of sunflower oil to biodiesel fuel utilizing a novel K₂CO₃/Talc catalyst: Process optimizations and kinetics investigations	2020	Aplicar o novo catalisador K ₂ CO ₃ /Talco para a produção de biodiesel a partir do óleo de girassol por meio de transesterificação	Foi preparado através da impregnação de K ₂ CO ₃ sobre o material talco para a produção de biodiesel a partir da transesterificação do óleo de girassol, um catalisador heterogêneo eficiente e de baixo custo. As características físico-químicas desse catalisador foram estudadas por meio de diversas análises de caracterização.	Os resultados mostraram que o maior rendimento da produção de biodiesel foi de 98,4%, com o catalisador com 40% em peso de K ₂ CO ₃ calcinado a 823 K, de modo que apresentou a maior atividade catalítica.
JALALMANESH, S., et al.	Biodiesel Production from Sunflower Oil Using K₂CO₃ Impregnated Kaolin Novel Solid Base Catalyst	2021	Produzir biodiesel com óleo de girassol utilizando o catalisador heterogêneo caulim impregnado com carbonato de potássio	Para produzir biodiesel a partir do óleo de girassol, foi utilizado o método de transesterificação, onde o material de argila de caulim foi carregado com K ₂ CO ₃ pelo método de impregnação como um novo catalisador heterogêneo.	De acordo com o estudo, o maior rendimento de biodiesel sobre o catalisador K ₂ CO ₃ / caulim foi de aproximadamente 95,3 ± 1,2%.

Fonte: Autores (2022).

Em todos os estudos presentes no quadro acima foi utilizada a reação de transesterificação com metanol para a obtenção do biodiesel. Uma diferença que foi possível notar em dois estudos presentes nesse quadro é a utilização de uma metodologia de superfície de resposta juntamente com um projeto composto, no qual foram utilizados para definir os melhores parâmetros de processo ideias e otimizar as condições de reação.

Contudo o Quadro 7 apresentada abaixo, contém trabalhos sobre a produção de biodiesel onde foram utilizados diversos óleos vegetais.

Quadro 7 - Informações sobre os artigos que tratam sobre a produção de biodiesel a partir de diferentes óleos vegetais.

Nome dos autores	Título	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
SUKASEM, N. & MANOPHAN, S.	The Development of Biodiesel Production from Vegetable Oils by Using Different Proportions of Lime Catalyst and Sodium Hydroxide	2017	Desenvolver uma base de catalisador heterogênea natural para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais.	Para o desenvolvimento de uma base de catalisador heterogênea natural para a produção de biodiesel, três etapas foram realizadas. A primeira etapa foi a seleção das condições de queima da cal, a segunda foi a análise do efeito das proporções de CaO: NaOH na produção de biodiesel e na terceira três tipos de óleos vegetais foram usados para produzir biodiesel por transesterificação.	Os resultados mostraram que a alta temperatura de calcinação possibilitou um melhor rendimento de biodiesel. Além disso, as proporções de CaO:NaOH a 0,75: 0,25 possibilitaram o rendimento máximo de biodiesel a 86,3%. Os rendimentos de biodiesel a partir de óleo de girassol, óleo de soja e óleo de girassol vegetal usado foram de 93,5%, 84,1% e 76,4%, respectivamente.
ABO-DIEF, H.M., et al.	An Investigation of Transesterification of Waste Cooking Oil	2018	Produzir o biodiesel a partir de óleo de fritura de resíduos de milho e cinco óleos vegetais frescos	Foi realizado o processo de transesterificação utilizando metanol, KOH e NaOH em sete concentrações de catalisador.	Os resultados mostraram que o óleo de milho não utilizado produz biodiesel com eficiência de 98,5%, seguido de colza, girassol, soja e palma.
CORDERO-RAVELO, V. & SCHALLENBERG-RODRIGUEZ, J.	Biodiesel production as a solution to waste cooking oil (WCO) disposal. Will any type of WCO do for a transesterification process? A quality assessment	2018	Determinar como o tipo de WCO (e quanto ele tem sido usado) afeta a qualidade do biodiesel produzido	Foi produzido biodiesel a partir de quatro tipos de WCO (girassol, milho, azeitona e uma mistura de soja, palma e girassol), por meio de transesterificação utilizando NaOH e metanol.	Os resultados mostram que a qualidade do biodiesel está diretamente relacionada à do WCO.
EFE, Ş., CEVIZ, M. & TEMUR, H.	Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sunflower oils on DI diesel engine	2018	Comparar o desempenho do motor de cinco tipos diferentes de biodiesel produzidos a partir de cinco óleos vegetais	Usando o método de transesterificação foi produzido biodiesel a partir de cinco óleos vegetais diferentes (milho, girassol, soja, canola e avelã), que foi usado como combustível no motor diesel,	Os resultados mostraram que a mistura composta por 20% de biodiesel de avelã apresentou o melhor desempenho.
ELIAS, S., et al.	Bifunctional heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste vegetable oil	2020	Produzir biodiesel a partir de óleo vegetal residual utilizando catalisador heterogêneo bifuncional	Para a produção de biodiesel foi investigado com metanol e na presença de óxido de cálcio no catalisador de alumina em um processo de batelada convencional, a esterificação e transesterificação simultâneas de óleo de palma residual (WPO) e óleo de girassol residual (WSO).	O estudo mostrou que as reações simultâneas de esterificação em condições ótimas em WPO e WSO levaram a alto rendimento de FAMES de 89, 61 e 55% para WPO e 54, 75 e 98% para WSO.

ELKELAWY, M., et al.	Maximization of biodiesel production from sunflower and soybean oils and prediction of diesel engine performance and emission characteristics through response surface methodology	2020	Produzir biodiesel a partir de óleos de girassol e soja, e prever o desempenho do motor diesel	Foi realizado o processo de transesterificação utilizando a mistura de óleo de girassol e soja para a produção de éster metílico. Além disso, foi aplicado para a otimização do processo o projeto Box-Behnken (BBD) baseado na metodologia de superfície de resposta.	Conforme o estudo, o rendimento máximo de biodiesel foi de 93,38%, mostrando ter uma compatibilidade superior aos dados experimentais que eram de 93,2%.
FERRERO, G.O., et al.	Alternatives to rethink tomorrow: Biodiesel production from residual and non-edible oils using biocatalyst technology	2020	Produzir biodiesel a partir de óleos residuais utilizando biocatalisadores	Foi utilizada como biocatalisador a enzima lipase de imobilizada em SBA-15 modificado com sódio para a produção de biodiesel através de transesterificação de óleos residuais	De acordo com o estudo, os rendimentos de biodiesel foram entre 70 % e 95%.
SILVA, G.C.R. & DE ANDRADE, M.H.C.	Simulation and optimization of CSTR reactor of a biodiesel plant by various plant sources using Aspen Plus	2020	Utilizar o simulador Aspen Plus proposto por um processo contínuo integrado para a produção de biodiesel	O simulador Aspen Plus foi utilizado para produzir biodiesel a partir de diferentes matérias-primas, além da transesterificação metanólica e etanólica também usada para a produção	Os resultados mostraram que na transesterificação do metanol o rendimento de biodiesel foi de 88,19%, 93,77%, 89,43% e 89,25%, respectivamente para girassol, soja, palma e óleo de macaúba, enquanto na transesterificação etanólica o rendimento foi de 86,09%, 80,26%, 76,54% e 76,39%
YAŞAR, F.	Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type	2020	Produzir e comparar as propriedades do biodiesel a partir de diferentes tipos de óleos para determinar o melhor tipo de matéria-prima para a produção de biodiesel.	Por meio da transesterificação de dez tipos de óleos vegetais foram produzidos combustíveis de biodiesel de éster metílico.	O maior valor de teor de éster foi medido para os combustíveis biodiesel produzidos a partir de algas (98,7%) e azeite (98,6%).

Fonte: Autores (2022).

Com base nos estudos apresentados acima foi possível observar que o processo mais utilizado para obtenção de biodiesel a partir de óleos vegetais é o de transesterificação com a utilização do álcool metanol. No entanto, vale ressaltar que embora o método utilizado para a produção do biodiesel seja o mesmo, a matéria-prima é um elemento que irá interferir no rendimento final do biodiesel como pode ser visto no Quadro 7, onde diferentes matérias primas foram utilizadas em um mesmo estudo e os resultados mostraram diferenças no rendimento total do biodiesel para cada matéria-prima.

Sendo assim, levando em conta todos os artigos apresentados nos quadros, pode-se observar que o processo e a matéria prima mais utilizados e que mostraram ser mais eficientes para obtenção de biodiesel é o de transesterificação com o óleo de soja, e que o metanol é o álcool mais usado, pois a partir dele é possível alcançar os melhores rendimentos. Em relação aos catalisadores, os que mostraram ser mais promissores para a reação de transesterificação foram o hidróxido de potássio, hidróxido de sódio e o óxido de cálcio.

Desse modo, pode-se observar que muitos fatores interferem no rendimento final do biodiesel, pois embora o processo utilizado para a produção de biodiesel seja o mesmo na maioria dos estudos, elementos como tipo de catalisador, tipo de álcool, tecnologias usadas, matéria-prima, entre outros, influenciam diretamente no rendimento total do biodiesel.

4. Considerações Finais

Com a realização dessa Revisão Sistemática da Literatura foi possível obter diversas informações sobre a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais. Diante da análise dos artigos acerca desse tema, notou-se que o método mais utilizado para a obtenção de biodiesel a partir dos óleos vegetais é o de transesterificação utilizando o álcool metanol. Assim, a matéria-prima que mais se destacou nos estudos foi o óleo de soja, já que se trata da principal matéria-prima usada para produzir biodiesel.

Entretanto, com base nos resultados dos artigos selecionados para a realização dessa RSL, pode-se observar que muitos fatores, como a matéria-prima, o método empregado para a produção do biodiesel, o tipo de catalisador utilizado, tecnologias utilizadas, entre outros, interferem diretamente na qualidade final, eficiência e rendimento total do biodiesel, mostrando dessa forma, a importância da análise e desenvolvimento de estudos acerca desse tema, para uma produção cada vez mais eficiente e sustentável.

Logo, pode-se concluir que a busca por combustíveis sustentáveis vem ganhando destaque e o biodiesel a partir de óleos vegetais apresenta-se como uma alternativa promissora, devido ao seu baixo custo, fácil obtenção e por ser tratar de uma energia renovável que contribui para a diminuição da poluição e do efeito estufa.

Contudo, a partir da revisão sistemática da literatura desenvolvida sugere-se que trabalhos futuros busquem estudar outras fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel como as de rejeitos industriais, que desenvolvam estudo sobre a reação de transesterificação dos óleos vegetais com a utilização do etanol, que busquem realizar uma pesquisa sobre o uso do metanol e etanol na transesterificação dos óleos buscando identificar as vantagens e desvantagens, tanto técnica quanto econômica de cada um e que desenvolva um estudo sobre a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais utilizando outros métodos, sem que seja a transesterificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo pagamento de bolsa PIBIC-EM (Programa de Iniciação Científica – Ensino Médio), conforme Processo nº 139233/2021-0.

Referências

- Abo-Dief, H. M., Emam, A. S., Abualnaja, K. M., & Mohamed, A. T. (2018). An Investigation of Transesterification of Waste Cooking Oil, *Oriental Journal of Chemistry*, 34(2), 1011-1015.
- Afsharizadeh, M., & Mohsenia, M. (2019). Catalytic synthesis of biodiesel from waste cooking oil and corn oil over zirconia-based metal oxide nanocatalysts, *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 128, 443-459.
- Alaei, S., Haghghi, M., Toghiani, J., & Rahmani Vahid, B. (2018). Magnetic and reusable MgO/MgFe₂O₄ nanocatalyst for biodiesel production from sunflower oil: Influence of fuel ratio in combustion synthesis on catalytic properties and performance, *Industrial Crops and Products*, 117, 322-332.
- Barbosa, C. M. (2020). Estudo sobre a produção de biodiesel obtido a partir de óleos vegetais utilizando catálise heterogênea.
- Biolchini, J. C. A., Mian, P. G., Natali, A. C. C., Conte, T. U., & Travassos, G.H. (2007). Scientific research ontology to support systematic review in software engineering, *Advanced Engineering Informatics*, 21(2), 133-151.
- Carneiro, G. A., Silva, J. J. R., Oliveira, G. de A., & Pio, F. P. B. (2018). Uso de Microalgas para Produção de Biodiesel. *Research, Society and Development*, 7(5), e1075181. <https://doi.org/10.17648/rsd-v7i5.250>.

- Celante, D., Schenkel, J. V. D., & Castilhos, F. (2018). Biodiesel production from soybean oil and dimethyl carbonate catalyzed by potassium methoxide, *Fuel*, 212, 101-107.
- Chen, Y. C., Lin, D. Y., & Chen, B. (2017). Transesterification of acid soybean oil for biodiesel production using lithium metasilicate catalyst prepared from diatomite, *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 79, 31-36.
- Cordero-Ravelo, V., & Schallenberg-Rodriguez, J. (2018). Biodiesel production as a solution to waste cooking oil (WCO) disposal. Will any type of WCO do for a transesterification process? A quality assessment, *Journal of Environmental Management*, 228, 117-129.
- Deboni, T. M., Hirata, G. A. M., Shimamoto, G. G., Tubino, M., & Meirelles, A. J. D. A. (2018). Deacidification and ethyl biodiesel production from acid soybean oil using a strong anion exchange resin, *Chemical Engineering Journal*, 333, 686-696.
- De Rossi, G. Z., Borges, I. R., Perego, T. F., Toledo, V. D. M., & Ferreira, L. F. P. (2018). Análise técnica da produção de biodiesel a partir do óleo de fritura residual. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 4(1), 0101-0108. <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss1pp0101-0108>.
- Ebrahimi, S., Najafpour, G. D., & Ardestani, F. (2017). Transesterification of Waste Cooking Sunflower Oil by Porcine Pancreas Lipase Using Response Surface Methodology for Biodiesel Production. *Applied Food Biotechnology*, 4(4), 203-210.
- Efe, Ş., Ceviz, M. A., & Temur, H. (2018). Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sunflower oils on DI diesel engine, *Renewable Energy*, 119, 142-151.
- Elias, S., Rabiou, A. M., Okeley, B. I., Okudoh, V., & Oyekola, O. (2020). Bifunctional heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste vegetable oil, *Applied Sciences*, 10(9), 31-53.
- Elkelawy, M., Bastawissi, H. A. -E., Esmail, K. K., Radwan, A. M., Panchal, H., Sadasivuni, K. K., Suresh, M., & Israr, M. (2020). Maximization of biodiesel production from sunflower and soybean oils and prediction of diesel engine performance and emission characteristics through response surface methodology, *Fuel*, 266, 117072.
- Farzaneh, F., Dashtipour, B., & Rashtizadeh, E. (2017). Transesterification of soybean oil for biodiesel production over CaAlSi mixed oxide nanoparticles, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 81, 859-866.
- Ferrero, G. O., Faba, E. M. S., Rickert, A. A., & Eimer, G. A. (2020). Alternatives to rethink tomorrow: Biodiesel production from residual and non-edible oils.
- Freitas, E. S. d. C., Guarieiro, L. L. N., & Xavier, L. H. (2017). A produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura: uma análise da produção científica. *VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. <https://www.ibecas.org.br/congresso/Trabalhos2017/XI-056.pdf>.
- Ghavami, K., Akhlaghian, F., & Rahmani, F. (2020). Potassium compounds-Al₂O₃ catalyst synthesized by using the sol-gel urea combustion method for transesterification of sunflower and waste cooking oils, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-14.
- Hariprasath, P., Selvamani, S. T., Vigneshwar, M., Palanikumar, K., & Jayaperumal, D. (2019). Comparative analysis of cashew and canola oil biodiesel with homogeneous catalyst by transesterification method, *Materials Today: Proceedings*, 16(2), 1357-1362.
- Huang, J., Zou, Y., Yaseen, M., Qu, H., He, R., & Tong, Z. (2021). Fabrication of hollow cage-like CaO catalyst for the enhanced biodiesel production via transesterification of soybean oil and methanol, *Fuel*, 290, 119799.
- Jalalmanesh, S., Kazemini, M., Rahmani, M., & Salmasi, M. Z. (2021). Biodiesel Production from Sunflower Oil Using K₂CO₃ Impregnated Kaolin Novel Solid Base Catalyst, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(6).
- Jitjammong, J., Luengnaruemitchai, A., Samanwong, N., & Chuaykarn, N. (2019). Biodiesel Production from Canola Oil and Methanol Using Ba Impregnated Calcium Oxide with Microwave Irradiation-Assistance, *Chiang Mai Journal of Science*, 46(5), 987-1000.
- Joshi, S. M., Gogate, P. R., Moreira, P. F., & Giudici, R. (2017). Intensification of biodiesel production from soybean oil and waste cooking oil in the presence of heterogeneous catalyst using high speed homogenizer, *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 645-653.
- Knothe, G. (2006). *Manual de biodiesel* (1st ed.). Blucher.
- Levy, Y., & Ellis, T. (2006). A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research, *International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9, 181-212.
- Mohadesi, M., Moradi, G., Davoodbeygi, Y., & Hosseini, S. (2018). Soybean Oil Transesterification Reactions in the Presence of Mussel Shell: Pseudo-First Order Kinetics, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 37(4), 43-51.
- Narowska, B., Kułażyński, M., Łukaszewicz, M., & Burchacka, E. (2019). Use of activated carbons as catalyst supports for biodiesel production, *Renewable Energy*, 135, 176-185.
- ONU. (2021). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Pacto Global, <https://www.pactoglobal.org.br/ods>.
- Pirsaheb, M., Cheraghianfard, S., Pakravan, P., Mohammadi, T., Vafaiefard, M., Akhbari, A., & Mansouri, A. M. (2017). Biodiesel production from sunflower oil using electrochemical reaction as a green, low-cost and room temperature method: Modeling and optimization by RSM, *Desalination and Water Treatment*, 88, 268-278.
- Qasim, M. K. (2019). Modified Nanostructure MgO Superbasicity with CaO in Heterogeneous Transesterification of Sunflower Oil, *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(3), 475-485.

Salmasi, M. Z., Kazemeini, M., & Sadjadi, S. (2020). Transesterification of sunflower oil to biodiesel fuel utilizing a novel K₂CO₃/Talc catalyst: Process optimizations and kinetics investigations. *Industrial crops and products*, 156, 112846.

Silva, G.C.R., & Andrade, M. H. C. (2020). Simulation and optimization of CSTR reactor of a biodiesel plant by various plant sources using Aspen Plus, *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 18(8), 20200085.

Sukasem, N., & Manophan, S. (2017). The Development of Biodiesel Production from Vegetable Oils by Using Different Proportions of Lime Catalyst and Sodium Hydroxide, *Energy Procedia*, 138, 991-997.

Yaşar, F. (2020). Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type, *Fuel*, 264, 116817.

Yu, G. W., Nie, J., Lu, L. G., Wang, S. P., Li, Z. G., & Lee, M. R. (2017). Transesterification of soybean oil by using the synergistic microwave-ultrasonic irradiation, *Ultrasonics sonochemistry*, 39, 281–290.

Zhu, Z., Liu, Y., Cong, W., Zhao, X., Janaun, J., Wei, T., & Fang, Z. (2021). Soybean biodiesel production using synergistic CaO/Ag nano catalyst: Process optimization, kinetic study, and economic evaluation, *Industrial Crops and Products*, 166, 113479.