

Revisão sistemática da literatura: Produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura

Systematic literature review: Biodiesel production from residual frying oil

Revisión sistemática de la literatura: Producción de biodiésel a partir de aceite de fritura residual

Recebido: 17/03/2022 | Revisado: 25/03/2022 | Aceito: 01/04/2022 | Publicado: 09/04/2022

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

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

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

O objetivo deste trabalho é apresentar um conjunto de trabalhos publicados entre os anos de 2017 e 2021 sobre o tema utilização de óleo residual de fritura para produção de biodiesel, onde seja possível realizar uma análise das tecnologias desenvolvidas nesse período. Para isso foi realizada uma busca nas bases de dados IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science onde, a partir de String de busca para selecionar trabalhos considerando tema, ano de publicação, foram encontrados 582 artigos publicados. Para sintetização dos resultados foi utilizado o software Start, onde foram aplicados critérios de seleção para escolha dos artigos a ser utilizados na revisão. Após a execução das etapas de seleção dos trabalhos no software foram selecionados 28 artigos realização da Revisão Sistemática, onde, desses 28 artigos selecionados são apresentados os métodos de trabalho e os resultados obtidos pelos autores, possibilitando uma análise das tecnologias pesquisadas ao logo do período de estudo.

Palavras-chave: Biodiesel; Óleo de fritura; Reaproveitamento.

Abstract

The objective of this work is to present a set of works published between the years 2017 and 2021 on the use of residual frying oil for the production of biodiesel, where it is possible to carry out an analysis of the technologies developed in that period. For this, a search was carried out in the IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus and Web of Science databases, where 582 published articles were found from the search string to select works considering theme, year of publication. To summarize the results, the Start software was used, where selection criteria were applied to choose the articles to be used in the review. After the execution of the selection steps of the works in the software, 28 articles were selected for the Systematic Review, where, of these 28 selected articles, the work methods and the results obtained by the authors are presented, allowing an analysis of the technologies researched during the period of study.

Keywords: Biodiesel; Frying oil; Reuse.

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar un conjunto de trabajos publicados entre los años 2017 y 2021 sobre el aprovechamiento del aceite residual de fritura para la producción de biodiesel, donde se pueda realizar un análisis de las tecnologías desarrolladas en ese período. Para ello se realizó una búsqueda en las bases de datos IEEE, Scielo,

Science Direct, Scopus y Web of Science, donde se encontraron 582 artículos publicados a partir de la cadena de búsqueda para seleccionar trabajos considerando temática, año de publicación. Para resumir los resultados se utilizó el software Start, donde se aplicaron criterios de selección para elegir los artículos a utilizar en la revisión. Luego de la ejecución de las etapas de selección de los trabajos en el software, se seleccionaron 28 artículos para la Revisión Sistemática, donde, de estos 28 artículos seleccionados, se presentan los métodos de trabajo y los resultados obtenidos por los autores, permitiendo un análisis de las tecnologías. investigado durante el período de estudio.

Palabras clave: Biodiésel; Aceite para freír; Reutilizar.

1. Introdução

A preocupação global com as mudanças climáticas vem sendo discutida ao longo dos anos em todos os países do mundo, sendo os combustíveis fósseis responsáveis associados a grande parte da degradação ambiental e consequentemente aquecimento global. Outro problema ambiental observado é associado ao óleo de fritura, que quando descartado de maneira incorreta tem um elevado potencial poluente a rios e solo. Tais produtos e seus usos e descartes incorretos estão associados, além de problemas ambientais, a área social e econômica. Diante disso desenvolveu-se o biodiesel, um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais, que pode ser utilizado para substituir, de forma total ou parcial, o diesel de petróleo em motores ciclodiesel.

O biodiesel pode ser obtido através de óleos extraídos de diversas sementes oleaginosas, como soja, algodão, girassol e milho, porém a produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura vem ganhando destaque ao longo dos anos, visto que o descarte incorreto desse resíduo pode causar problemas ambientais, relacionados principalmente a contaminação da água, e seu reaproveitamento está ligado a aspectos educacionais, culturais, ambientais e socioeconômicos.

A busca por desenvolvimento de tecnologias mais limpas tem relação com o Pacto Global da ONU observados nos ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) como no caso dos ODS de número 4, 7, 11, 12 e 13, que dizem respeito de educação de qualidade, energia limpa e acessível, cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis e ação contra mudança global no clima.

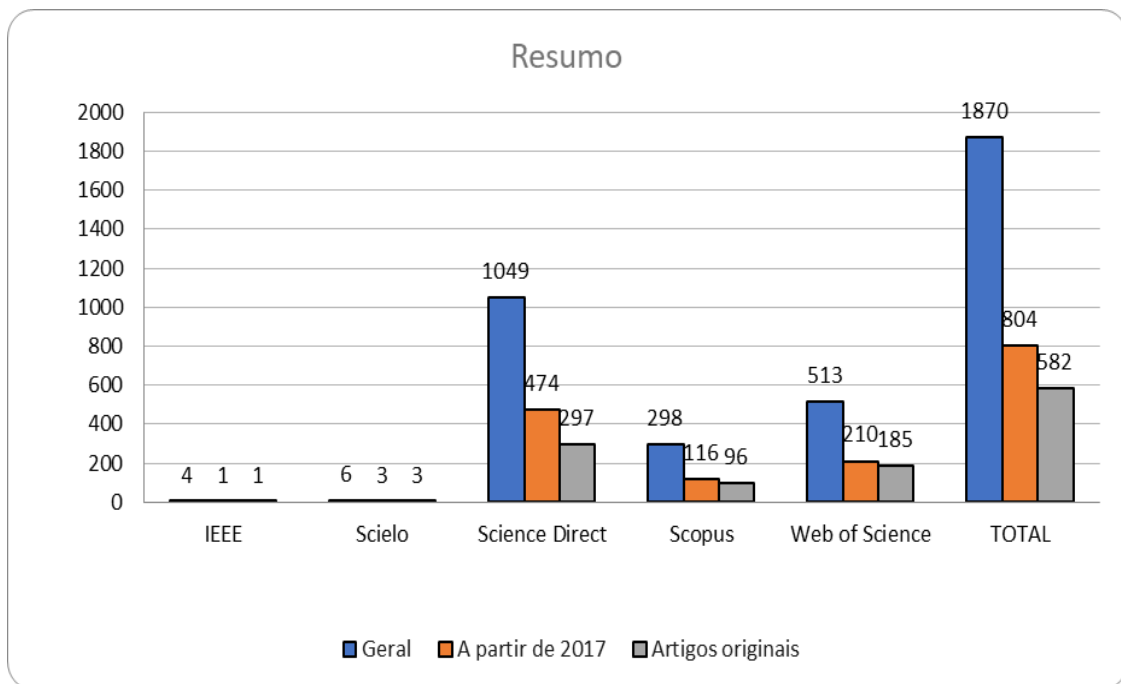
Desta forma, o objetivo dessa pesquisa é analisar a utilização do óleo residual de fritura como matéria prima para produção de biodiesel, por meio da revisão sistemática de literatura, a partir da análise de trabalhos publicados entre os anos 2017 e 2021 nas bases de dados IEEE, Science Direct, Scielo, Web of Science e Scopus, para assim determinar como se deu esse processo de evolução nos últimos 5 anos e perspectivas futuras.

2. Metodologia

A finalidade de uma revisão sistemática é resumir a pesquisa disponível em relação a um assunto específico. Isto é feito através da síntese dos resultados de diversos estudos, onde se utiliza procedimentos para encontrar, avaliar e sintetizar os resultados de pesquisas relevantes na área em estudo (RAMOS; FARIA; 2014)

Para a realização desta RSL realizou-se busca nas bases de dados IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science, com trabalhos publicados a partir do ano de 2017 onde os resultados são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1: Trabalhos publicados nos últimos 5 anos nas bases de dados.



Fonte: Autores (2022).

A partir dos dados obtidos foram realizadas três etapas: execução, entrada e processamento. Para a sumarização das etapas utilizou-se o software StArt (State of the Art through Systematic Review) que é um software gratuito, desenvolvido no Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da UfScar. O software StArt permite agrupar e aceitar ou rejeitar artigos de acordo com suas semelhanças e critérios pré estabelecidos, sendo dividido em etapas de protocolo, execução e sumarização, onde após realizadas todas as fases tem-se os arquivos selecionados para continuidade a revisão sistemática.

2.1 Metodologia de execução

Quadro 1: Parâmetros da execução.

ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
Problemas	Condução de Buscas	Síntese de Resultados
Objetivos	Análise de Resultados	
String de Busca	Documentação	
Critérios de Inclusão		
Critérios de Exclusão		

Fonte: Autores (2022).

2.2 Metodologia

Nesta etapa inicial, foram definidos o objetivo da pesquisa, os problemas a serem resolvidos, as bases de dados que seriam utilizadas, as strings de busca para encontrar artigos que realmente estivessem de acordo com o tema a ser pesquisado e os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos. O Quadro 2 apresenta os parâmetros de entrada.

Quadro 1: Parâmetros de entrada da RBS.

Objetivo
Produzir biodiesel, por transesterificação alcalina, a partir de óleo residual de fritura
Situação problema
Quais fontes podem ser utilizadas para produção de biodiesel?
Bases de Dados
IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science
String de busca
Biodiesel production AND "frying oil"
Palavras-Chave
<ul style="list-style-type: none"> Biodiesel, biodiesel production, frying oil, frying oils, residual frying oil, used frying oil biodiesel , waste cooking oil , waste frying oil
Critérios de inclusão dos artigos nas bases de dados
Inclusão (I) – Idioma inglês e/ou português
Inclusão (I) – texto acessível na íntegra
Inclusão (I) - produção de biodiesel por transesterificação com óleo de soja
Inclusão (I) - Automatically classified by SCAS
Critérios de exclusão dos artigos nas bases de dados
Exclusão (E) – Outros idiomas
Exclusão (E) – Não acesso ao texto na íntegra
Exclusão (E) – Produção de biodiesel por outros processos
Exclusão (E) - Automatically classified by SCAS

Fonte: Autores (2022).

Dessa forma, devido definição dos parâmetros de entrada para a execução da RBS, passou-se para a etapa de processamento, com busca nas bases de dados e análise das publicações.

2.3 Metodologia de processamento

Nesta etapa, a partir dos arquivos e critérios de seleção, são analisados os dados obtidos. O Quadro 3 apresenta a relação de artigos encontrados referentes ao tema pesquisado.

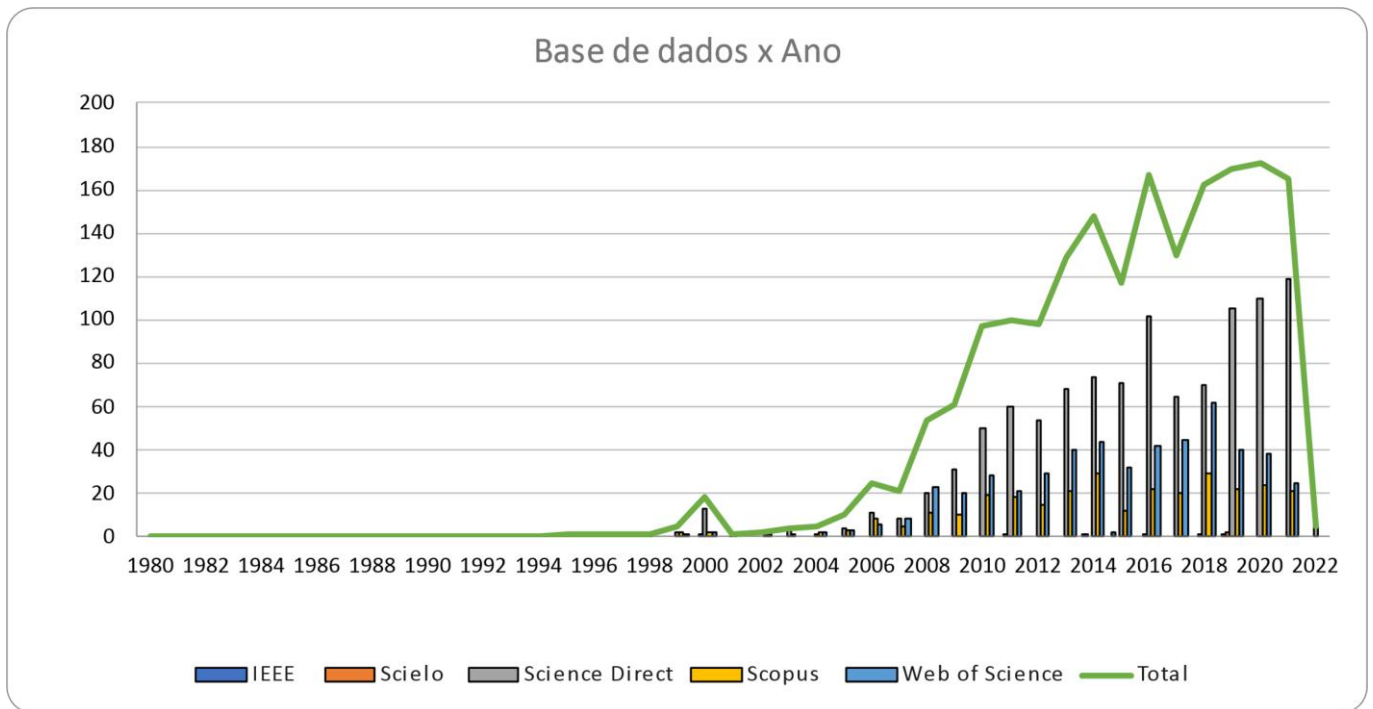
Quadro 2: Artigos encontrados referentes ao tema.

Bases de Dados	Geral	A partir de 2017	Artigos originais
IEEE	4	1	1
Scielo	6	3	3
Science Direct	1049	474	297
Scopus	298	116	96
Web of Science	513	210	185
TOTAL	1870	804	582

Fonte: Autores (2022).

O Gráfico 2 apresenta a relação de cada base de dados pesquisada ao longo dos anos.

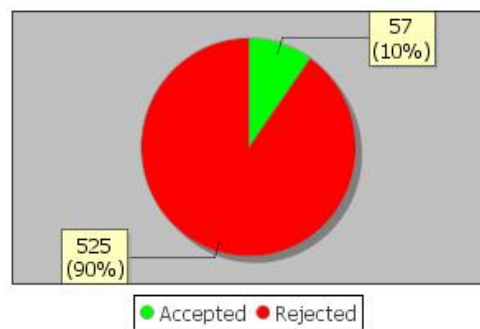
Gráfico 2: Artigos de base de dados ao longo dos anos.



Fonte: Autores (2022).

Através do software StArt foram selecionados apenas trabalhos pertinentes ao tema estudado, onde o próprio StArt fornece gráficos e informações a respeito dos artigos aceitos e rejeitados, apresentados na Figura 1.

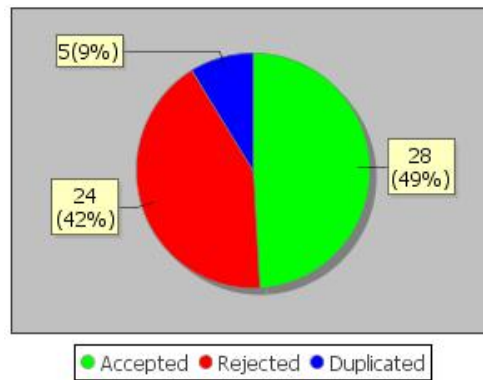
Figura 1: Artigos aceitos e rejeitados no software.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 2 observa-se que dos 57 trabalhos selecionado para análise, 28 trabalhos foram aceitos para realização da RSL e 24 recusados devido resumo não conter dados suficientes para inclusão na pesquisa, além de 5 duplicados.

Figura 2: Trabalhos aceitos para sumarização.

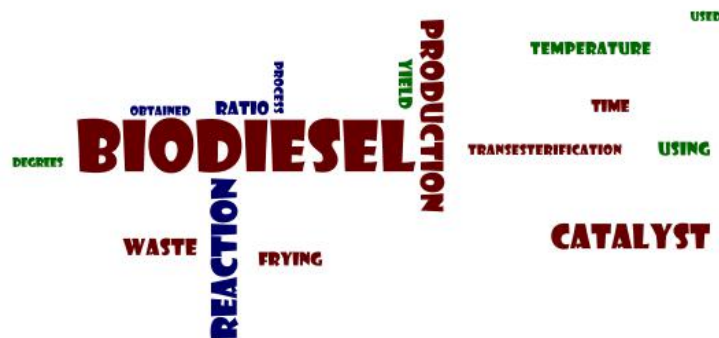


Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

Após realizado o processamento dos dados, foram selecionados e aceitos 28 artigos para a realização da RBS. A Figura 3 apresenta a nuvem de palavras encontradas nos abstracts dos artigos aceitos.

Figura 3: Nuvem de palavras mais encontradas nos abstracts dos artigos.



Fonte: Autores (2022).

Em seguida, foi realizada sumarização dos artigos selecionados, onde os artigos foram analisados, resultando nos principais pontos como nomes dos autores, ano de publicação, título, país, método utilizado e resultados obtidos, apresentados no Quadro 4.

Quadro 3: Resultados dos artigos selecionados para a revisão sistemática.

Nome dos autores	Título	Ano	Local/País	Objetivo	Metodologia	Resultados
MAHDAVIANPOUR, Mostafa et al	Biodiesel production from waste frying oils in the presence of zeolite synthesized from steel furnace slag	2020	Iran	Sintetizar zeólita a partir de escória de forno da indústria do aço e avaliar seu potencial como catalisador na produção de biodiesel	Transesterificação do óleo de fritura, variando diferentes concentrações de metanol, tempo de reação e porcentagem de catalisador.	A conversão máxima de 96%, com tempo de reação de 4h e uso de 3% de catalisador
Yusuff, A. S., & Popoola, L. T	Optimization of biodiesel production from waste frying oil over alumina supported chicken eggshell catalyst using experimental design tool	2019	Nigéria	Investigar o comportamento catalítico da casca de ovo suportada em alumina (ASE) para a síntese de biodiesel.	Foi realizado a produção de biodiesel a partir de óleo de fritura com utilização do catalisador casca de ovo suportada em alumina, variando tempo de reação e porcentagem de catalisador.	O rendimento de biodiesel foi de 77,56%, com 4,0% em peso de carga de catalisador, tempo de reação de 120 min, razão molar metanol /óleo de 12: 1 e temperatura de reação de 65°C
Araujo, J., Ariza, O. J. C., & De Lima, L.	A study on production of biodiesel from waste frying oil	2019	Itália	Estudar os efeitos das variáveis operacionais visando a produção de biodiesel a partir de resíduos óleo de fritura	As reações de transesterificação foram realizadas entre 70 a 90 min, utilizando porcentagem de catalisador 0,16 a 1,84% e temperaturas entre 40 e 90 ° C.	A maior produção de biodiesel foi obtida utilizando-se percentual de catalisador, temperatura e tempo de reação de 0,5%, 80 ° C e 90 min.
NAWAZ, K. et al.	Optimised transesterification of used frying oils: production and characterisation of biodiesel.	2021	Paquistão	Avaliar a viabilidade de óleo de fritura usado para produção de biodiesel e a otimização das variáveis do processo	Reação de transesterificação catalisada por alcalina foi aplicada para fazer biodiesel através da otimização de diferentes variáveis de reação como tempo, temperatura e concentração de catalisador.	Os parâmetros ótimos para a produção de biodiesel foram observados como razão molar de 9: 1 de metanol / óleo de fritura usado, 1,5% KOH em peso de óleo, temperatura de reação de 60 graus C e intensidade de agitação de 600 rpm

MILANO, J. et al	Optimization of biodiesel production by microwave irradiation-assisted transesterification for waste cooking oil-Calophyllum inophyllum oil via response surface methodology.	2018	Malásia e Indonésia	Produzir biodiesel por transesterificação alcalina catalisada assistida por irradiação de microondas	Mistura de óleo de cozinha residual e óleo Calophyllum inophyllum. Variando e otimizando parâmetros: metanol / óleo, concentração de catalisador, velocidade de agitação e tempo de reação	Rendimento de 97,40% com os parâmetros: velocidade de agitação e tempo de reação são 59,60 (v / v)%, 0,774 (p / p)%, 600 rpm e 7,15 min.
INAYAT, A. et al	Fuzzy modeling and parameters optimization for the enhancement of biodiesel production from waste frying oil over montmorillonite clay K-30.	2019	Egito/Emirados Árabes Unidos	Desenvolver um modelo via lógica fuzzy para maximizar o biodiesel produzido a partir de óleo residual de fritura utilizando argila montmorillonita K-30 como catalisador	Desenvolvido um modelo via lógica fuzzy, com objetivo de para maximizar o biodiesel produzido a partir de óleo de fritura residual utilizando argila montmorillonita K-30. Onde foram variados os seguintes parâmetros: temperatura (40-140 graus C), período de reação (60-300 min), relação óleo / metanol (1: 6-1: 18) e quantidade de catalisador (1-5% em peso).	O rendimento de produção de biodiesel obtido atingiu 93,70% com os parâmetros ótimos para uma temperatura de 69,66 graus C, um período de reação de 300 min, relação óleo / metanol de 1: 9 e uma quantidade de catalisador de 5% em peso.
MOHADESI, M. et al.	The use of KOH/Clinoptilolite catalyst in pilot of microreactor for biodiesel production from waste cooking oil	2019	Iran	Produção de biodiesel com a utilização de KOH/Clinoptilolita como catalisador heterogêneo.	Utilizar e otimizar as condições de operação: temperatura, tempo de reação, concentração de catalisador e relação óleo/metanol	Biodiesel com pureza de 97,45% com as condições: temperatura de de 65 ° C, concentração de catalisador de 8,1% em peso, relação de volume de óleo / metanol de 2,25: 1 e tempo de residência de 13,4 min
FAWAZ, E. G. et al	Hierarchical Zeolites as Catalysts for Biodiesel Production from Waste Frying Oils to Overcome Mass Transfer Limitations	2021	França e Líbano	Produção de biodiesel a partir de óleos de fritura utilizando cristais hierárquicos com caminho de difusão curto, microcristais convencionais e nanocristais de zeólitas ZSM-5	Utilizando diferentes parâmetros como tempo de reação, porcentagem do catalisador, temperatura e porcentagem de metanol.	Rendimento máximo de 48,29% usando nanofolhas HZSM-5 na proporção molar de metanol 12: 1 para WFOs, 180 ° C, carregamento de catalisador de 10% em peso e tempo de reação de 4 h.
HARABI, M. et al	Biodiesel and Crude Glycerol from Waste Frying Oil: Production, Characterization and Evaluation of Biodiesel Oxidative Stability with Diesel Blends	2019	Tunísia	Produção de biodiesel por transesterificação homogênea de óleo de fritura residual (WFO) sobre o catalisador de hidróxido de potássio (KOH).	Avaliação dos parâmetros e relações entre metanol e razão molar WFO (3: 1-12: 1), concentração de KOH (0,5% - 2%) e temperatura (25-65 ° C) sobre o rendimento da conversão.	Rendimento de 96,33% na proporção molar ótima de metanol / WFO de 7,3: 1, KOH carregando 0,5 em peso. % e a temperatura da reação era de 58,30°C.

SABZEVAR, A. M.; GHAHRAMANINEZHAD, M., SHAHRAK, M. N.	Enhanced biodiesel production from oleic acid using TiO₂-decorated magnetic ZIF-8 nanocomposite catalyst and its utilization for used frying oil conversion to valuable product	2020	Iran	Produção de biodiesel a partir do catalisador Fe ₃ O ₄ ZIF-8 / TiO ₂ por meio da esterificação do ácido oleico na presença de etanol.	Otimização de variáveis como quantidade de catalisador, a razão molar de álcool para ácido graxo, tempo de reação e temperatura.	Rendimento de 80% e 93% utilizando etanol e metanol, na temperatura de reação de 50°C, tempo de reação de 62,5 min, razão molar álcool / ácido oleico de 30: 1 e quantidade de catalisador 0,2 g (6% wt).
THIRUGNANASAMBANDHAM, K. et al.	Biodiesel synthesis from waste oil using novel microwave technique: Response surface modeling and optimization	2017	Brasil	Verificar a competência do processo transesterificação assistido por micro-ondas para produzir biodiesel a partir de óleo de fritura	Variar várias condições operacionais, incluindo energia de micro-ondas, tempo de irradiação, temperatura e dose de catalisador	O rendimento de produção de biodiesel de 97% foi alcançado utilizando uma potência de microondas de 325 W, tempo de irradiação de 200 s, temperatura de 70 graus C e dose de catalisador de 1 g / g
KATARIA, J.; MOHAPATRA, S. K.; KUNDU, KJJOTEI.	Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalysts and its operational characteristics on variable compression ratio CI	2019	Índia	Produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de fritura e avaliação de suas características operacionais em motor CI	A transesterificação catalisada por base sob diferentes proporções de reagentes, como a razão molar de álcool para óleo e razão de massa de catalisador para óleo.	A condição ótima foi como sendo 12: 1 e 5% em peso de óxido de cálcio dopado com zinco. O biodiesel pode ser usado sem qualquer modificação do motor.
YUSUFF, A. S.; OWOLABI, J. O.	Synthesis and characterization of alumina supported coconut chaff catalyst for biodiesel production from waste frying oil	2019	África do Sul	Avaliar a atividade catalítica da palha de coco com suporte de alumina como um catalisador heterogêneo para a produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura.	Produção e caracterização do catalisador e de biodiesel a partir de óleo residual de fritura. Com avaliação das variáveis temperatura, tempo de reação, carga de catalisador e razão molar metanol / WFO a uma velocidade de agitação fixa de 250 rpm.	As variáveis ideais foram: temperatura de reação de 65 ° C, tempo de reação de 2,5 h, carga de catalisador de 1,5% em peso e razão molar metanol / WFO de 12: 1, o rendimento do biodiesel foi de 91,05% em peso %.
RAVELO, V. C.; RODRIGUES, J. S.	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	Espanha	Determinar como o tipo de WCO afeta a qualidade do biodiesel obtido.	Produção de biodiesel por transesterificação, utilizando NaOH, com quatro tipos de óleo de fritura (girassol, milho, azeitona e uma mistura de soja, palma e girassol) com dois níveis diferentes de degradação. temperaturas de reação entre 50 e 67,5 graus C, tempo de reação de 60 min e agitação magnética	Obtiveram-se amostras de biodiesel que atendiam aos requisitos estabelecidos pela legislação europeia para os quatro parâmetros testados

MACEIRAS, Rocio et al	Biodiesel Production from Waste Frying Oil by Ultrasound-Assisted Transesterification.	2017	Espanha	Acelerar tempo de reação de transesterificação para produção de biodiesel assistida por ultrassom	A reação foi realizada com metanol, e hidróxido de sódio foi utilizado como catalisador, variando tempo e temperatura.	Conversão de 88% com temperatura de 40°C, enquanto a 30 e 50 ° C os valores de conversão foram 86 e 85%, respectivamente. A conversão obtida em 30 min foi em torno de 80%, mas quando o tempo variou para 60 min, a conversão também aumentou para 88%.
KASSEM, Y.; ÇAMUR, H.; ALASSI, E.	Biodiesel production from four residential waste frying oils: Proposing blends for improving the physicochemical properties of methyl biodiesel	2020	Turquia	Obter misturas para melhorar as propriedades físico-químicas do biodiesel	Produção de biodiesel a partir de quatro óleos residuais de fritura (girassol, canola, mistura de girassol e colza e milho)	Todas as amostras de combustível não atenderam aos requisitos dos padrões de combustível diesel
YUSUFF, A. S. et al	Development and Characterization of a Composite Anthill Chicken Eggshell Catalyst for Biodiesel Production from Waste Frying Oil.	2018	Nigéria	Sintetize de um catalisador composto de casca de ovo de formigueiro e galinha, para produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura.	Preparação e caracterização do catalisador e reação de transesterificação	Rendimento de 70% com tempo de reação de 2 h, carga de catalisador de 5% em peso e temperatura de reação de 60°C
ALI R. M, ELKATORY, M. R., HAMAD, H. A.	Highly active and stable magnetically recyclable CuFe2O4 as a heterogenous catalyst for efficient conversion of waste frying oil to biodiesel.	2020	Egito	Melhorar o processo de produção de biodiesel utilizando nanopartículas de cuprospinel como um catalisador heterogêneo e magneticamente recuperável	Preparação e caracterização do catalisador de nanopartículas de CuFe2O4 de cuprospinel e reação de transesterificação	Rendimento de 90,24% com as condições operacionais: tempo de reação 30 min , proporção molar de 18: 1 de metanol para óleo, 3% em peso. de catalisador e velocidade de reação de 300 rpm a 60°C.
ZEMPULSKI, D. A. et al	Continuous Transesterification Reaction of Residual Frying Oil with Pressurized Ethanol Using KF/Clay as Catalyst	2020	Brasil	Avaliar a eficiência de um catalisador KF / argila na reação de transesterificação contínua usando etanol em condições sub e supercríticas	Avaliação do desempenho do catalisador durante a operação em diferentes temperaturas ao longo de um período de 3 h foi avaliado, assim como efeitos do tempo de residência e da massa do catalisador	Os rendimentos de éster permanecem estáveis ao longo do tempo a 275 e 300 graus C, mas a 225 e 250 graus C os rendimentos diminuem em 48,42% e 38,40%. Há um aumento no rendimento com um aumento na massa do catalisador até 2 g
SOULAYMAN, S.; OLA, D.	Synthesis Parameters of Biodiesel From Frying Oils Wastes	2019	Síria	Produzir biodiesel a partir de óleos de fritura de resíduos usando produtos químicos de grau comercial para reduzir o custo do biodiesel e poluição	Transesterificação catalisada por base a partir de óleos de fritura	Maiores rendimentos foram obtidos com razão de volume de metanol / WFO de 13% e uma razão de peso de catalisador / WFO de 0,4%.

YUSUFF A. S, et al	Development of a barium-modified zeolite catalyst for biodiesel production from waste frying oil: Process optimization by design of experimente	2021	Índia	Desenvolvimento de um catalisador de zeólita modificado com bário para a produção de biodiesel a partir de óleo de fritura residual	Otimização das condições do processo de produção de biodiesel, como carregamento de catalisador, relação álcool / óleo, temperatura e tempo	Rendimento máximo de 93,17% sob condições de 3,0 em peso % de carga de catalisador, proporção de metanol 12: 1, temperatura de reação de 65,38 ° C e tempo de reação de 2 h.
GUPTA, A.R. ; RATHOD, V. K.	Calcium diglyceroxide catalyzed biodiesel production from waste cooking oil in the presence of microwave: Optimization and kinetic studies	2018	India	Intensificar o processo de transesterificação e reduzir o consumo de matéria-prima (MeOH) e carga de catalisador (CaDG).	Utilização do micro-ondas como ferramenta de intensificação do processo e o RSM como ferramenta de otimização, para obter o máximo rendimento	Rendimento máximo de 94,86% sob as condições de reação: razão molar de 7,46: 1, carga de catalisador de 1,03% (p / p de WCO) e temperatura de 62°C na presença de microondas. Rendimento de 42,59% para o tempo de reação semelhante de 15 min, com o método de aquecimento convencional
SOEGIANTORO G. H, et al	Home-Made Eco Green Biodiesel From Chicken Fat (CIAT) and Waste Cooking Oil (PAIL)	2019	Indonésia	Produzir ésteres metílicos em um reator de biodiesel caseiro.	Utilização de gordura de frango (CIAT) e óleo de cozinha residual (PAIL) variando operações do processo.	Rendimento de 91% sob condições: tempo de reação de 90 minutos, temperatura de 60 ° C e taxa de agitação de 2000 rpm.
YUSUFF A. S. et al	Biodiesel production from transesterified waste cooking oil by zinc-modified anthill catalyst: Parametric optimization and biodiesel properties improvement	2021	Nigéria	Produzir um novo catalisador sólido ecológico e avaliar sua eficiência na produção de biodiesel	Desenvolvido do catalisador a partir de modificação de formigueiro-zinco para metanólise de matéria-prima de baixo grau (óleo de cozinha residual, WCO)	Rendimento de 83,16% sob condições: 17,99: 1, 0,51% em peso e 66,54 °C para a razão molar de metanol para WCO.
JUME, B. H. et al	Biodiesel production from waste cooking oil using a novel heterogeneous catalyst based on graphene oxide doped metal oxide nanoparticles	2020	Arábia Saudita, Iran, China e Coréia do Sul	Síntese de um catalisador de óxido de grafeno e nanopartículas de óxido de zircônio/estrôncio bimetálico	Produção do catalisador e avaliação de sua utilização na produção de biodiesel, avaliando variáveis de tempo e temperatura.	O rendimento máximo foi de 91% foi obtido nas condições da razão de material de 1: 0,5 (w / w) de catalisador, razão de óleo para metanol (1: 4), a reação tempo de 90 min e a temperatura de 120 ° C.
TALAVARI, Raheleh; HOSSEINI, Shokoufe; MORADI, G. R.]	Low-cost biodiesel production using waste oil and catalyst	2021	Iran	Produção de biodiesel através da transesterificação de óleo de fritura utilizando como catalisador Pó de pedra de travertino (como resíduo na fabricação de materiais de construção)	Foram avaliadas variáveis de temperatura, tempo de reação e catalisador.	O rendimento e máximo foi de 97,74%, com temperatura de reação 59,52°C, tempo 3,8 h (228 min), concentração de catalisador 1,36% em peso e a razão molar de metanol para óleo de 11: 6.

ROYA, T. ; ÁGARWALB, A. K. ; SHARMA, Y. C.	A cleaner route of biodiesel production from waste frying oil using novel potassium tin oxide catalyst: A smart liquid-waste management	2021	India	Sintetizar um novo catalisador de óxido de potássio e estanho e investigar sua atividade na reação de transesterificação de WFO	Produção de biodiesel através da transesterificação de óleo de fritura utilizando como catalisador óxido de potássio e estanho (KSO), que foi sintetizado através do método de autocombustão de precursor de polímero	A maior conversão foi de 99,5% encontrada em condição de reação moderada dentro de um período de tempo muito curto de 35 min.
KHIN, I. W., et al.	Catalytic conversion of spent frying oil into biodiesel over raw and 12-tungsto-phosphoric acid modified clay.	2020	Paquistão	Desenvolver um catalisador de baixo custo a partir de argila para a produção de biodiesel	Utilização o catalizador em diferentes concentrações (5% em peso, 10% em peso, 20% em peso, 30% em peso e 40% em peso)	O rendimento máximo de biodiesel foi de 96% nas condições de reação: razão molar óleo / metanol, 1:10; quantidade de catalisador 0,7 g; tempo de reação 4,5 h e temperatura de reação 85 °C

Fonte: Autores.

Após a sumarização dos trabalhos, pode-se observar a importância da avaliação da utilização do óleo residual de fritura como matéria prima para produção de biodiesel, pois além de reduzir os impactos ambientais, reduz também custos de produção. Foi possível observar também que diferentes variáveis de processo, como tipo de catalizador, concentração de catalizador e tempo de reação influenciam o rendimento final, logo torna-se importante um planejamento do processo para se obter o melhor rendimento com os menores custos.

4. Considerações Finais

A partir da elaboração da revisão sistemática foi possível obter dados referentes a utilização de óleo de fritura para produção de biodiesel em âmbito global. Os artigos descrevem principalmente as variáveis de processo, a fim de otimizar o mesmo, bem como comparar com outras matérias primas e reduzir seu custo. Conclui-se que a procura por combustíveis mais sustentáveis em relação aos derivados do petróleo vem ganhando cada vez mais destaque, e o óleo residual de fritura apresenta-se como uma boa alternativa, visto seu baixo custo, fácil obtenção e manuseio e seu alto potencial de conversão, comparada a outras matérias primas.

Logo a revisão sistemática da literatura torna-se modelo para o tema, pois descreve a tendência dos estudos durante os anos e indica possíveis direções para novos trabalhos.

Sendo assim, sugere-se para trabalhos futuros realizar de maneira experimental a produção de biodiesel com óleo de fritura, sua caracterização em relação a parâmetros físico-químicos e avaliar economicamente as diversas aplicações da glicerina, como produção de álcool glicerinado, sabão, entre outros.

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 n° 139233/2021-0.

Referências

- Ali, R. M., Elkatory, M. R., & Hamad, H. A. (2020). Highly active and stable magnetically recyclable CuFe₂O₄ as a heterogenous catalyst for efficient conversion of waste frying oil to biodiesel. *Fuel*, 268, 117297.
- Araujo, J., Ariza, O. J. C., & De Lima, L. (2019). A study on production of biodiesel from waste frying oil. *Chemical Engineering Transactions*, 74, 157-162.
- 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.
- Fawaz, E. G., Salam, D. A., S Rigolet, S., & Daou, T. J. (2021). Hierarchical Zeolites as Catalysts for Biodiesel Production from Waste Frying Oils to Overcome Mass Transfer Limitations. *Molecules*, 26(16), 4879.
- Gupta, A. R., & Rathod, V. K. (2018). Calcium diglyceroxide catalyzed biodiesel production from waste cooking oil in the presence of microwave: Optimization and kinetic studies. *Renewable Energy*, 121, 757-767.
- Harabi, M., Neji Bouguerra, S., Marrakchi, F., P Chrysikou, L., Bezergianni, S., & Bouaziz, M. (2019). Biodiesel and crude glycerol from waste frying oil: Production, characterization and evaluation of biodiesel oxidative stability with diesel blends. *Sustainability*, 11(7), 1937.
- Inayat, A., Nassef, A. M., Rezk, H., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., & Olabi, A. G. (2019). Fuzzy modeling and parameters optimization for the enhancement of biodiesel production from waste frying oil over montmorillonite clay K-30. *Science of the Total Environment*, 666, 821-827.
- Jume, B. H., Gabris, M. A., Nodeh, H. R., Rezanian, S., & Cho, J. (2020). Biodiesel production from waste cooking oil using a novel heterogeneous catalyst based on graphene oxide doped metal oxide nanoparticles. *Renewable Energy*, 162, 2182-2189.
- Kassem, Y., Çamur, H., & Alassi, E. (2020). Biodiesel production from four residential waste frying oils: Proposing blends for improving the physicochemical properties of methyl biodiesel. *Energies*, 13(16), 4111.
- Kataria, J., Mohapatra, S. K., & Kundu, K. J. J. O. T. E. I. (2019). Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalysts and its operational characteristics on variable compression ratio CI engine. *Journal of the Energy Institute*, 92(2), 275-287.
- Khan, I. W., Naem, A., Farooq, M., Mahmood, T., Ahmad, B., Hamayun, M., ... & Saeed, T. (2020). Catalytic conversion of spent frying oil into biodiesel over raw and 12-tungsto-phosphoric acid modified clay. *Renewable Energy*, 155, 181-188.
- Maceiras, R., Alfonsín, V., Cancela, Á., & Sánchez, Á. (2017). Biodiesel Production from Waste Frying Oil by Ultrasound-Assisted Transesterification. *Chemical Engineering & Technology*, 40(9), 1713-1719.
- Mahdavianpour, M., Pourakbar, M., Alavi, N., Masihi, N., Mirzaei, F., & Aghayani, E. (2020). Biodiesel production from waste frying oils in the presence of zeolite synthesized from steel furnace slag. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-14.
- Milano, J., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Silitonga, A. S., Chen, W. H., Kusumo, F., ... & Sebayang, A. H. (2018). Optimization of biodiesel production by microwave irradiation-assisted transesterification for waste cooking oil-Calophyllum inophyllum oil via response surface methodology. *Energy conversion and management*, 158, 400-415.

- Mohadesi, M., Aghel, B., Maleki, M., & Ansari, A. (2020). The use of KOH/Clinoptilolite catalyst in pilot of microreactor for biodiesel production from waste cooking oil. *Fuel*, 263, 116659.
- Nawaz, K., Nisar, J., Anwar, F., Waseem Mumtaz, M., Ali, G., Ur Rehman, N., & Ullah, R. (2021). Optimised transesterification of used frying oils: production and characterisation of biodiesel. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-18.
- Roy, T., Ágarwal, A. K., & Sharma, Y. C. (2021). A cleaner route of biodiesel production from waste frying oil using novel potassium tin oxide catalyst: A smart liquid-waste management. *Waste Management*, 135, 243-255.
- Sabzevar, A. M., Ghahramaninezhad, M., & Shahrak, M. N. (2021). Enhanced biodiesel production from oleic acid using TiO₂-decorated magnetic ZIF-8 nanocomposite catalyst and its utilization for used frying oil conversion to valuable product. *Fuel*, 288, 119586.
- Soegiantoro, G. H., Chang, J., Rahmawati, P., Christiani, M. F., & Mufrodi, Z. (2019). Home-Made eco green biodiesel from chicken fat (CIAT) and waste cooking oil (PAIL). *Energy Procedia*, 158, 1105-1109.
- Soulayman, S., & Ola, D. (2019). Synthesis Parameters of Biodiesel From Frying Oils Wastes. *International Journal of Renewable Energy Development*, 8(1).
- Talavari, R., Hosseini, S., & Moradi, G. R. (2021). Low-cost biodiesel production using waste oil and catalyst. *Waste Management & Research*, 39(2), 250-259.
- Thirugnanasambandham, K., Shine, K., Aziz, H. A., & Gimenes, M. L. (2017). Biodiesel synthesis from waste oil using novel microwave technique: Response surface modeling and optimization. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(7), 636-642.
- Yusuff, A. S., & Owolabi, J. O. (2019). Synthesis and characterization of alumina supported coconut chaff catalyst for biodiesel production from waste frying oil. *South African Journal of Chemical Engineering*, 30, 42-49.
- Yusuff, A. S., & Popoola, L. T. (2019). Optimization of biodiesel production from waste frying oil over alumina supported chicken eggshell catalyst using experimental design tool. *Acta Polytechnica*, 59(1), 88-97.
- Yusuff, A. S., Adeniyi, O. D., Olutoye, M. A., & Akpan, U. G. (2018). Development and Characterization of a Composite Anthill Chicken Eggshell Catalyst for Biodiesel Production from Waste Frying Oil. *International Journal of Technology*, 1, 1-11.
- Yusuff, A. S., Bhonsle, A. K., Bangwal, D. P., & Atray, N. (2021). Development of a barium-modified zeolite catalyst for biodiesel production from waste frying oil: Process optimization by design of experiment. *Renewable Energy*.
- Yusuff, A. S., Gbadamosi, A. O., & Popoola, L. T. (2021). Biodiesel production from transesterified waste cooking oil by zinc-modified anthill catalyst: Parametric optimization and biodiesel properties improvement. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 104955.
- Zempulski, D. A., Trentini, C. P., Milinsk, M. C., Alves, H. J., & da Silva, C. (2020). Continuous Transesterification Reaction of Residual Frying Oil with Pressurized Ethanol Using KF/Clay as Catalyst. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(5), 1900315.