

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

BRUNA RAFAELA ANDRADE DE SANTANA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL  
PELO MÉTODO DE TRANSESTERIFICAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SÃO CRISTÓVÃO (SE)

2023

BRUNA RAFAELA ANDRADE DE SANTANA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL  
PELO MÉTODO DE TRANSESTERIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado  
ao Departamento de Engenharia Química  
como requisito parcial à obtenção do título de  
bacharel em Química Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Leite Quintela

SÃO CRISTÓVÃO (SE)

2023

BRUNA RAFAELA ANDRADE DE SANTANA

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELO  
MÉTODO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pelo Departamento de Engenharia Química da  
Universidade Federal de Sergipe em 16 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Leite Quintela  
(Universidade Federal de Sergipe)

---

Prof. Dr. João Baptista Severo Júnior  
(Universidade Federal de Sergipe)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Jaqueline Rego da Silva Rodrigues  
(Universidade Federal de Sergipe)

## RESUMO

Os combustíveis fósseis são fontes esgotáveis de energia. Além disso, são combustíveis com um grande potencial poluidor, o que tem provocado discussões sobre biocombustíveis e, principalmente, biodiesel. Esse combustível renovável é considerado uma fonte de energia “limpa” por ser produzido através de óleos vegetais ou de gordura animal e, por sua queima não liberar gases do efeito estufa em quantidades significativas. As características do biodiesel muito se assemelham às do diesel de petróleo, tornando-o um substituto promissor para o diesel. Entretanto, é um combustível com alto custo das matérias primas e do processo de produção. Com o intuito de obter um panorama geral a respeito do seu desenvolvimento mundial nos últimos cinco anos, foi realizada uma análise bibliométrica do processo de produção de biodiesel pelo método de transesterificação. A bibliometria permitiu determinar as áreas de estudo, as instituições e os países que mais se interessaram em realizar pesquisas sobre esse assunto, além das matérias primas e dos catalisadores mais utilizados na transesterificação para produzir esse biocombustível. A partir da base de dados *Web of Science*, foi possível obter as publicações em artigos sobre “biodiesel” e “transesterificação” desde o ano de 2019. Com isso, percebeu-se que dos países onde foram realizadas as pesquisas, 88 artigos correspondiam a Índia, seguido da China, com 69 artigos. O Brasil encontra-se em sétima posição, com 17 artigos. A instituição de ensino que mais realizou essas publicações é a National Institute of Technology, da Índia, sendo que as áreas de estudos que mais contribuíram foram a de Combustíveis (27%), acompanhada da Engenharia (22%) e da Química (12%). Analisando os componentes da reação de transesterificação mais citados nos artigos, verificou-se que dos tipos de fontes de triglicérides utilizados, os óleos vegetais estiveram presentes em 76% deles, possuindo um foco nos óleos de cozinha residual, em 18% dos casos. Já o álcool que mais esteve presente nas reações de transesterificação foi o metanol, um derivado de petróleo. Mais pesquisas têm sido realizadas sobre os catalisadores heterogêneos, mais especificamente sobre o óxido de cálcio. Várias são as pesquisas produzidas sobre a reação de transesterificação para o processo de produção de biodiesel, porém, mais estudos devem ser realizados visando a substituição do álcool derivado de petróleo por outro cuja origem seja mais favorável ao meio ambiente e independente de combustíveis fósseis. Dessa forma, será possível obter um biocombustível econômico e ambientalmente viável.

**PALAVRAS – CHAVE:** Transesterificação; Biodiesel; Análise Bibliométrica.

## ABSTRACT

Fossil fuels are exhaustible sources of energy. Furthermore, they are fuels with a great polluting potential, which has provoked discussions about biofuels and, mainly, biodiesel. This renewable fuel is considered a “clean” energy source because it is produced using vegetable oils or animal fat and, when burned, it does not release greenhouse gases at specific points. The characteristics of biodiesel are very similar to those of petroleum diesel, making it a promising substitute for diesel. However, it is a fuel with high raw material and production process costs. In order to obtain a general overview of its global development over the last five years, a bibliometric analysis of the biodiesel production process using the transesterification method was carried out. Bibliometrics made it possible to determine the areas of study, institutions and countries that were most interested in carrying out research on this subject, in addition to the raw materials and events most used in transesterification to produce this biofuel. From the Web of Science database, it was possible to obtain publications in articles on “biodiesel” and “transesterification” since 2019. As a result, it can be seen that of the countries where the research was carried out, 88 articles corresponded to India, followed by China, with 69 articles. Brazil is in seventh position, with 17 articles. The educational institution that made the most of these publications is the National Institute of Technology, in India, and the areas of study that developed the most were Fuels (27%), followed by Engineering (22%) and Chemistry (12%). Analyzing the components of the transesterification occurrence most reported in the articles, it is clear that of the types of triglyceride sources used, vegetable oils are present in 76% of them, with a focus on residual cooking oils in 18% of cases. The alcohol that was most present in the transesterification reactions was methanol, a petroleum derivative. More research was carried out on the heterogeneous cases, more specifically on calcium oxide. There is a lot of research carried out on the occurrence of transesterification for the biodiesel production process, however, more studies should be carried out involving the replacement of petroleum-derived alcohol with another whose origin is more environmentally friendly and independent of fossil fuels. In this way, it will be possible to obtain an economical and environmentally viable biofuel.

**KEY WORDS:** Transesterification; Biodiesel; Bibliometric Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reação global para o craqueamento primário de triglicerídeos.....	17
Figura 2 - Reações do craqueamento secundário de triglicerídeos: descarboxilação (A) e descarbonilação (B).....	18
Figura 3 - Reação de esterificação.....	19
Figura 4 - Modelo de transesterificação.....	20
Figura 5 - Etapas reacionais envolvidas na transesterificação de tri-acilglicerídeos.....	21
Figura 6 - Fluxograma do processo de produção do biodiesel via transesterificação.....	22
Figura 7 - Reação de Saponificação.....	24
Figura 8 - Principais áreas de estudo que se destacam na produção de artigos sobre a produção de biodiesel via transesterificação.....	32
Figura 9 - Principais instituições que se destacam na produção de artigos sobre transesterificação na produção de biodiesel.....	33
Figura 10 - Principais países que se destacam na produção de artigos sobre transesterificação na produção de biodiesel.....	34
Figura 11 - Tipos de fontes de triglicerídeos para produção de biodiesel via transesterificação.....	35
Figura 12 - Principais óleos vegetais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.....	36
Figura 13 - Principais gorduras animais utilizadas na produção de biodiesel via transesterificação.....	37
Figura 14 - Principais microalgas utilizadas na produção de biodiesel via transesterificação.....	38
Figura 15 - Principais fontes alternativas de triglicerídeos utilizadas na produção de biodiesel via transesterificação.....	39
Figura 16 - Principais álcoois empregados na produção de biodiesel via transesterificação.....	40
Figura 17 - Tipos de catalisadores utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.....	41
Figura 18 - Catalisadores homogêneos mais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.....	42

Figura 19 - Catalisadores heterogêneos mais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.....	43
Figura 20 - Catalisadores enzimáticos mais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.....	44

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1. BIODIESEL .....	12
2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL.....	13
2.3. MÉTODOS DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL .....	15
2.3.1. Misturas binárias com o petrodiesel.....	15
2.3.2. Microemulsão.....	16
2.3.3. Craqueamento (pirólise).....	17
2.3.4. Esterificação.....	18
2.3.5. Transesterificação .....	20
2.4. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A TRANSESTERIFICAÇÃO .....	25
2.4.1. Razão molar óleo/ álcool.....	25
2.4.2. Catalisadores .....	25
2.4.3. Tempo e temperatura da reação.....	27
2.4.4. Teor de água.....	27
2.5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA .....	28
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1. ESCOLHA DA BASE DE DADOS .....	29
3.2. ESTRATÉGIA DE BUSCA NA BASE DE DADOS .....	29
3.3. EMPREGO DE RESTRIÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS.....	29
3.4. EXTRAÇÃO, ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS .....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
4.1. ÁREAS DE ESTUDO.....	31
4.2. PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA SOBRE A TEMÁTICA .....	32
4.3. PAÍSES QUE SE DESTACAM NA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA .....	33
4.4. PRINCIPAIS MATÉRIAS PRIMAS.....	34
4.4.1. Fonte de Triglicerídeos.....	34
4.4.2. Álcoois .....	39
4.5. CATALISADORES .....	40
4.5.1. Catalisadores homogêneos .....	41
4.5.2. Catalisadores heterogêneos .....	42
4.5.3. Catalisadores enzimáticos .....	44
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>47</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser um tema bastante discutido na atualidade, as discussões sobre biodiesel tiveram origem há muitos anos atrás. Por volta do ano de 1895, Rudolf Diesel, criador do motor de ciclo diesel, e Henry Ford perceberam que óleos vegetais podiam ser utilizados como combustíveis (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006). Diesel, inclusive, menciona no último capítulo do seu livro “Combustíveis Líquidos” que óleos vegetais vinham sendo utilizados como combustíveis com bastante sucesso. Isso porque ele testou o óleo de amendoim num motor de ciclo diesel em 1900, na Exposição de Paris. Um motor que foi projetado para trabalhar com um derivado do petróleo estava funcionando devidamente com um óleo vegetal (KNOTHE, 2006a). Entretanto, devido ao avanço dos combustíveis derivados de petróleo, a substituição pelos óleos vegetais não se desenvolveu na época (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006).

Por receio de que, em algum momento, houvesse o esgotamento dos derivados de petróleo, os Estados Unidos começou a incentivar o uso de biocombustíveis, na Segunda Guerra Mundial. Diversos testes com diferentes óleos (óleo de caroço de algodão, óleo de milho) e, inclusive, a mistura com o diesel convencional foram realizados (KNOTHE, 2006a). Essa visão sobre o esgotamento das fontes não renováveis de energia é discutida até hoje. Além disso, estima-se que a demanda global de energia deverá dobrar até 2050 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021a). Isso quer dizer que haverá a necessidade de aumentar, também, a produção de energia e, conseqüentemente, aumentará o uso de combustíveis não renováveis, o que ambientalmente não é recomendado.

A queima de derivados de petróleo, de gás natural e de carvão mineral libera muitos gases. Os principais são o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e, em especial, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esses gases são conhecidos como “Gases do Efeito Estufa” (GEE). Naturalmente, eles são extremamente necessários para a vida na Terra, para que haja o aquecimento controlado do planeta e, assim, possibilite a existência de seres vivos. O problema surge quando a emissão dos GEE é descontrolada. Com o início da Revolução Industrial, a partir da segunda metade do século XIX, a temperatura média global aumentou  $1,1^\circ\text{C}$ . Desde então, o aquecimento global vem ocorrendo num ritmo acelerado. Em 2015, estimava-se que a temperatura do planeta aumentasse  $4,5^\circ\text{C}$ , em relação aos tempos pré-industriais, até o final do século XXI (VEIGA, 2021). Atualmente, essa previsão é de  $2,6^\circ\text{C}$ ,

graças a acordos mundiais que visam o controle da emissão de poluentes (ASSOCIATED PRESS, 2022). Um grande avanço, mas ainda existe um alto índice de poluição.

Motivados por esses fatores, tem crescido a procura por biocombustíveis. Eles são uma forma de gerar energia “limpa”, com menos emissão de poluentes. Por isso, tem surgido o interesse em combustíveis oriundos de plantas ou de resíduos orgânicos, como é o caso do biodiesel (CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020). Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), o biodiesel é um dos biocombustíveis líquidos mais utilizados no Brasil (SECRETARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2021a). Embora ele apresente propriedades semelhantes às do óleo diesel convencional, é um combustível que possui um alto custo, originado por diversos fatores que afetam no preço do produto final (CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020). Devido a isso, várias pesquisas são realizadas em busca de meios que possam baratear esse combustível renovável.

Dentre os métodos existentes, a transesterificação é a rota tecnológica mais utilizada na produção de biodiesel. Isso ocorre porque a mistura de ésteres de ácidos graxos formada é a que apresenta mais características semelhantes às do diesel de petróleo (GERIS *et al*, 2007). Ela acontece pela reação de triglicerídeos, provenientes de óleos vegetais e de gordura animal, e álcool, produzindo glicerol e uma mistura de ésteres, denominada de biodiesel. O álcool são, na maioria dos casos, de cadeia curta, sendo o principal o metanol, por causa do seu custo e dos bons resultados apresentados (BARROS, JARDINE, 2021b). Por ser uma reação com cinética lenta, há a necessidade do uso de catalisadores ou de condições especiais para diminuir o tempo de reação (KHAN *et al*, 2021). Os catalisadores podem ser homogêneos, heterogêneos, enzimáticos ou nanocatalisadores (CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020), havendo a preferência pelos catalisadores homogêneos básicos, principalmente o hidróxido de sódio (NaOH), por ser utilizado em pouca quantidade e por apresentar um bom rendimento a um baixo custo (BARROS, JARDINE, 2021b).

Um pesquisador ou um cientista quando realizam seus projetos, geralmente, divulgam o seu trabalho. Essa divulgação pode ser através de capítulos de livros, de livros e de artigos científicos, mas também de teses e dissertações, de eventos científicos (YOSHIDA, 2010). Uma análise bibliométrica, ou também chamada de bibliometria, permite analisar, através da quantidade de projetos científicos publicados a respeito de um determinado tema, algumas informações específicas, como quantos artigos foram publicados nos últimos tempos, quais países mais tem investido em pesquisas sobre algum assunto, quem mais tem contribuído para essas pesquisas: instituições acadêmicas ou empresas, dentre outras (SOARES *et al*, 2016). A bibliometria possibilita analisar a evolução e o desenvolvimento, por meio de métodos

quantitativos, de uma determinada área do conhecimento (LIMA, 2021). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise bibliométrica sobre a produção de biodiesel pelo método da transesterificação, de forma a obter um panorama sobre esta área do conhecimento nos últimos cinco anos. Sendo mais específico ao assunto, foi possível determinar os países e as instituições que mais pesquisam sobre o tema, as matérias-primas mais utilizadas e os tipos de catalisadores que têm sido mais empregados na produção de biodiesel. Com isso, foram identificadas as principais tendências referentes ao desenvolvimento dos estudos científicos sobre a produção desse biocombustível nos últimos anos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Os biocombustíveis são combustíveis oriundos de biomassa que pode substituir, total ou parcialmente, os combustíveis fósseis (SECRETARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2021a). Esse é um assunto bastante debatido, nos últimos tempos, por ser uma alternativa promissora para a substituição dos combustíveis derivados de petróleo e de gás natural, que provém de uma fonte de energia poluidora e esgotável.

O aquecimento global é o aumento da temperatura média do planeta, tanto dos oceanos quanto da camada de ar próxima à superfície. Esse fenômeno pode acontecer naturalmente ou devido às ações do homem. Têm-se discutido muito sobre esse tema, nos últimos anos, por causa da velocidade do aumento da temperatura da Terra e dos desastres naturais associados. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão das Nações Unidas, existe uma confirmação, de 90%, de que o aumento da temperatura do planeta é em decorrência de atividades humanas (PEREIRA).

Dentre as principais atividades poluidoras, causadoras do aquecimento global, estão a queima de combustíveis não renováveis (PEREIRAB). Depois da Revolução Industrial, a quantidade de combustíveis fósseis carbonizados aumentou e em um ritmo muito acelerado, como relata uma pesquisa da Agência Internacional de Energia (IEA). Nela mostra que as emissões de CO<sub>2</sub>, que eram de 2,0 gigatoneladas (Gt) durante a Segunda Revolução Industrial (1900) foram para 24,6Gt um século depois e para 36,8Gt em 2022 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2023). Isso mostra que mais Gases do Efeito Estufa estão sendo liberados e, conseqüentemente, provocando o aumento da temperatura média global gerando, assim, várias alterações climáticas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA).

Mesmo com o aumento dos desastres naturais provocados pela intensa emissão de GEE no planeta, os combustíveis fósseis ainda são as principais fontes energéticas utilizadas no mundo. Cerca de 81,1% da matriz energética do mundo são de derivados do petróleo, de carvão mineral e de gás natural (JÚNIOR, 2022), o que é preocupante já que são fontes esgotáveis de energia. Além dessas desvantagens, os combustíveis não renováveis possuem uma intensa variação dos preços. O preço do petróleo é determinado tanto pela oferta e demanda dela no mundo, quanto pela situação geopolítica do país produtor (OKU, 2020).

Estados Unidos, Arábia Saudita, Rússia, Canadá, China, Iraque, Emirados Árabes Unidos, Brasil, Irã e Kuwait. Esses são os dez maiores produtores de petróleo do mundo. É possível perceber que metade desses países é pertencente ao Oriente Médio. Como é sabida,

essa é uma região de intensos conflitos e guerras, que afetam os preços do barril de petróleo (ALBUQUERQUE, 2022). Isso porque pode diminuir a oferta, como também afetar a demanda. Para agravar ainda mais a situação, a Rússia decretou guerra à Ucrânia no último ano. Sendo um dos maiores exportadores de “ouro negro” para o mundo e, em especial, para a Europa, a interrupção da oferta aumentaria, e muito, o preço desse produto. Mesmo evitando um embate direto com a Rússia, o mundo pode sentir, no dia-a-dia, os altos preços do petróleo (ZANATTA, 2022).

Procurando solucionar as questões ambientais e diminuir a dependência energética, os cientistas têm se dedicado a encontrar formas de melhor substituir os combustíveis fósseis por biocombustíveis. Eles podem ser de primeira, de segunda, de terceira e de quarta geração. Os de primeira geração são aqueles combustíveis produzidos a partir de origens vegetais, como é o caso do etanol, do biodiesel e do biogás. Os de segunda geração são de origens vegetais não comestíveis, ou seja, bagaço, casca, a exemplo do etanol celulósico. Os de terceira geração são provenientes de origens vegetais de rápido crescimento (microalgas), como o etanol e o biodiesel. Por fim, os de quarta geração, que possuem um enfoque na retirada de carbono da atmosfera. Eles são fabricados a partir de origens vegetais como árvores modificadas geneticamente (RAÍZEN, 2021).

Dentre os principais biocombustíveis existentes, é possível destacar o biodiesel. Esse combustível renovável tem sido alvo de muitas pesquisas por ser um possível substituto para o diesel de petróleo.

## 2.1. BIODIESEL

O biodiesel tem como definição ser um combustível de queima limpa e tem como matérias-primas principais óleos vegetais ou gorduras animais (VEILLETTE, 2017). Esses óleos ou gorduras necessitam reagir com um álcool, geralmente, metanol ou etanol, para que possa produzir uma mistura de ésteres e glicerol. Os ésteres produzidos é o biodiesel. Em seguida, ele deve ser purificado para que possa ser ajustado aos padrões de comercialização e de funcionamento, regulamentado pelas agências reguladoras, num motor ciclo diesel (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS, 2020).

## 2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL

É sabido que o biodiesel é um bom combustível pelo fato de ser renovável. Isso porque há uma redução das emissões de gases poluentes na atmosfera, além de parte deles ser captado durante o crescimento das plantas (fotossíntese). A sua queima libera, comparado ao diesel de petróleo, menos moléculas dos principais gases de exaustão, ou seja, são menos moléculas, principalmente, de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) que, como foi abordado anteriormente, a emissão em excesso tem provocado um desequilíbrio ambiental (aquecimento global) (KNOTHE, 2006b). Além disso, é uma combustão livre de compostos sulfurados, que é uma substância bastante tóxica, prejudicial tanto para o ambiente, quanto para os seres vivos (RAIZER *et al*, 2021). Essa redução tem uma exceção. Há um aumento na emissão de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Só que esse problema do aumento dessas emissões pode ser resolvido com a utilização de aditivos ou modificação do motor (VEDANA, 2006).

Outra vantagem é a grande quantidade de matérias-primas renováveis que podem ser utilizadas. O biodiesel é formado pela reação de triglicerídeos e álcool (metílico ou etílico, normalmente). Esses triglicerídeos podem ser óleos vegetais, gordura animal, óleos residuais (óleo de fritura, por exemplo) e, há a pesquisa da produção, também, através de microalgas (BIODIESELBR, 2014a, LIMA, 2021). Os óleos vegetais podem ter diversas origens. Eles podem ser de algodão, de amendoim, de soja, de babaçu, de mamona, de milho, de palma (dendê), dentre outros. Atualmente, cerca de 80% do biodiesel fabricado no Brasil é oriundo do óleo de soja (BIODIESEL BRASIL, 2018). Com isso, há certa dependência por essa oleaginosa, o que é preocupante. A soja é um alimento e é utilizada, também, na fabricação do farelo de soja (para rações), do óleo de soja, de bebidas (leite de soja, por exemplo) (NASCIMENTO, 2010; DAMIANI, 2023). Então, existe a preocupação de essa matéria-prima ser destinada, em sua maioria, para a produção de biodiesel e afetar na oferta de alimentos. Mesmo gordura animal e óleo residual sendo opções, mas acabam não sendo bons métodos pois são fontes de alto teor de ácidos graxos livres e necessitam de um preparo antes da produção, o que encarece o processo. Por esses motivos, o governo tem incentivado a produção por outras matérias-primas, como algodão e palma, que são uma aposta para um futuro próximo (BIODIESELBR, 2014a). Esse receio não é somente nacional. Pesquisas estão sendo realizadas, em diversos países, para utilizar microalgas como matéria-prima. Ela tem se mostrado uma boa alternativa aos óleos vegetais devido à sua alta produtividade por unidade de área e por não competir com a produção de alimentos (FRANCO *et al*, 2013).

O glicerol, ou também chamado de glicerina, é um subproduto de alto valor agregado gerado pela reação de produção de biodiesel. Ele pode ser utilizado bruto ou refinado, nas indústrias químicas ou farmacêuticas, como matéria-prima na produção de bioquímicos (MARX, 2016), como única fonte de carbono para a produção de produtos químicos de alto valor, podendo ser utilizado na fabricação de ração animal e adubo, por exemplo (CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020). Como o processo de produção de biodiesel é de alto custo, parte dele é custeado pela comercialização do glicerol e, assim, não ser tão refletido no mercado consumidor. Entretanto, os altos incentivos do governo pela produção do biocombustível levam a fabricação, também, de uma grande quantidade de glicerina. Com uma grande oferta, ela desvaloriza no mercado, perde valor e, conseqüentemente, decaem as vendas. Assim, o glicerol não tem como custear a parcela dos gastos com a produção desse combustível renovável e o preço acaba sendo refletido para os consumidores. Por isso, existem vários estudos sendo realizados para evitar de isso acontecer, seja alterando o agente transesterificante e, assim, produzindo um outro subproduto de alto valor, seja buscando novos métodos de produção (MARX, 2016). Dessa forma, fará com que o biocombustível não seja atingido pela desvalorização do glicerol.

O biodiesel é tido, também, como um bom substituinte para o diesel de petróleo. Isso porque eles são combustíveis semelhantes, o que faz com que não precise de uma adaptação ou regulação no sistema de injeção dos motores. Além do benefício de ser biodegradável e não tóxico. Esse biocombustível apresenta propriedades físico-químicas que o tornam vantajoso em relação ao diesel convencional. O alto ponto de fulgor torna o transporte, o manuseio e o armazenamento mais seguros. Uma excelente lubricidade (KNOTHE, 2006b), para lubrificar e evitar o desgaste prematuro de partes mecânicas dos motores a compressão (MATTOS, 2012). Por fim, um alto número de cetano (NC = 60). Um NC com um valor elevado, desde que seja menor/ igual a 60 é o ideal, pois proporciona uma queima muito melhor do combustível e, conseqüentemente, um bom desempenho do motor (BIODIESELBR.COM, 2006b). Ainda obedecendo a essa comparação, todavia, há algumas desvantagens. O biodiesel possui uma baixa estabilidade à oxidação, ou seja, ele tem uma tendência de reagir com o oxigênio do ar à temperatura ambiente. Necessita, por isso, do uso de aditivos para que atinja o tempo mínimo de 8 horas de estabilidade e possa, assim, ser comercializado (MOURA *et al*, 2016). Uma alta viscosidade que causa a má atomização dentro da câmara de combustão, ocasionando uma combustão incompleta, e facilitando, inclusive, a formação de incrustações e de depósitos no motor, o que afeta o seu funcionamento (KNOTHE, 2006b). Um alto custo na sua produção leva muitos países a utilizarem legislações específicas e de marcos regulatórios para

implementar uma isenção fiscal e estimular o seu uso. Pelo mesmo motivo, incentiva pesquisas por matérias-primas e por tecnologias de produção com um menor investimento.

## 2.3. MÉTODOS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Combustíveis altamente viscosos podem gerar problemas nos motores de ciclo diesel, como foi discutido no item 2.2. Dessa forma, alguns métodos são utilizados para que possa diminuir a viscosidade dos óleos vegetais. Misturas binárias com o diesel de petróleo, microemulsão (mistura co-solvente), craqueamento (pirólise), esterificação e transesterificação são alguns desses métodos (GERPEN, KNOTHE, 2006c).

### 2.3.1. Misturas binárias com o petrodiesel

Misturas binárias com o petrodiesel condizem na junção do biodiesel ao diesel de petróleo. Assim como a introdução do etanol à gasolina, essa é uma mistura que tem por objetivo diminuir as emissões de poluentes prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (VERDÉLLO, 2023). No Brasil, desde 2004, essa mistura é comercializada nas bombas de combustíveis. Pequenas porcentagens de biodiesel são inseridas ao diesel. Entretanto, se tornou obrigatório, somente, em 2008, quando entrou em vigor no artigo 2º da Lei 11.097/ 2005, a introdução de 2% (B2) de biodiesel no petrodiesel (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2020). Ao longo dos anos, essa porcentagem tem aumentado. Em abril deste ano (2023), inclusive, esse índice aumentou de 10% (B10) para 12% (B12). O governo brasileiro tem o objetivo de ampliar esse percentual para 15% (B15) até 2026. Com essa medida, é possível gerar empregos e investimentos na área de biocombustíveis e, principalmente, diminuir as importações, além de reforçar a ideia de transição energética no país (SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL, 2023b). Entretanto, é preciso atentar na qualidade do biodiesel utilizado, pois como ele é um líquido ainda mais viscoso que o diesel, pode provocar problemas no motor. Esse é o motivo das críticas do setor de transportes com o aumento da quantidade do biocombustível no diesel de petróleo, o receio de que haja a formação de borra no motor e possa danificá-lo. Por isso, ele deve obedecer aos padrões de qualidade estabelecidos pelas agências reguladoras e, assim, fazer com que não gere prejuízos à operação dos motores e dos equipamentos (VERDÉLLO, 2023).

### 2.3.2. Microemulsão

Emulsões são sistemas instáveis onde há a interação entre dois líquidos imiscíveis ou quase imiscíveis. (ZANIN, 2001, *apud* SILVA, 2015) Nas microemulsões, as gotículas dessa interação possuem um tamanho menor que 0,1µm. (OLIVEIRA *et al*, 2004) Contudo, a diferença entre elas não se resume ao diâmetro das gotículas. Ao misturar um líquido orgânico com um composto tensoativo e água, há a formação de uma emulsão com aspecto leitoso-turvo. Passado algum tempo, comprovando a sua instabilidade em conservar as características iniciais, essa mistura se divide em duas fases. Hoar e Schulman (1943) perceberam que, ao adicionar álcool a essa mistura, a emulsão passa a se apresentar com um aspecto transparente e termodinamicamente estável, o que, anos mais tarde, foi associado à microemulsão (SILVA *et al*, 2015).

As microemulsões são constituídas por uma fase polar, uma fase apolar, um surfactante e, em alguns casos, por um co-surfactante. Para compor a fase apolar utiliza-se o óleo vegetal, a principal matéria-prima para a produção do biodiesel. O tamanho da cadeia carbônica desse óleo interfere na distribuição do co-surfactante na interface óleo/ água e, também, nas características das microemulsões. A água (fase polar) apresenta uma estrutura molecular semelhante ao formato de uma gaiola. Sua cavidade pode reter solutos de tal forma a não romper as ligações do oxigênio com o hidrogênio, além de poder se adaptar para acomodar os diferentes tamanhos do soluto. Em soluções concentradas, há uma modificação na estrutura, provocando variações nas propriedades volumétricas, como viscosidade e densidade. O surfactante, também chamado de composto tensoativo, é um composto químico com comportamento anfifílico, ou seja, reage tanto com substâncias polares, como a água, quanto apolares, como o óleo (SILVA, *et al*, 2015). Os mais utilizados são os álcoois de cadeia longa (ORSI, 2021). Eles conseguem unir as fases polar e apolar, através da formação de uma camada filme molecular ordenada entre as faces de óleo e água, com o objetivo de reduzir a tensão interfacial e superficial. Já o co-surfactante reduz ainda mais essas tensões, contribuindo para a formação e a estabilidade termodinâmica das microemulsões. Além disso, torna fluida a camada filme, impedindo que haja uma elevação da viscosidade do sistema e, aumenta a solubilidade das fases polar e apolar por ter característica anfifílica (SILVA *et al*, 2015).

O processo de produção do biocombustível através da microemulsão é uma das principais formas de resolver o problema da viscosidade elevada dos óleos vegetais. Acontece através da junção da fase apolar, óleo vegetal com elevada viscosidade, e da fase polar, água e, até mesmo álcool, com a mistura de surfactante e co-surfactante, sob agitação (LENG *et al*,

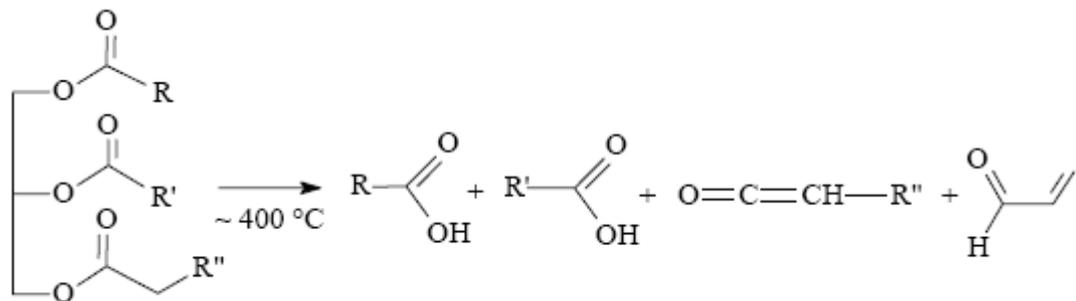
2015; ATTAPHONG *et al*, 2023). O biocombustível microemulsificado será com uma viscosidade menor do que apresentava inicialmente, permitindo o uso em motores diesel (PINTO *et al*, 2005). Entretanto, o uso contínuo dele pode gerar problemas mecânicos ao veículo. Eles podem apresentar falhas na injeção, formação de resíduos de carbono e combustão incompleta (ORSI, 2021).

### 2.3.3. Craqueamento (pirólise)

Os óleos vegetais e a gordura animal, principais matérias-primas para a produção de biodiesel, são compostos majoritariamente por triacilgliceróis (TAG), também conhecidos por triglicerídeos. Eles são, basicamente, ésteres de ácidos graxos com glicerol (ou glicerina) e são o principal alvo da pirólise (KNOTHE, 2006b). Diferentemente dos outros dois processos, este já ocorre através de reações químicas. Ele vai produzir uma mistura de hidrocarbonetos, cetonas, aldeídos e ácidos carboxílicos. Por isso, o combustível produzido é chamado de ecodiesel, já que não se enquadra nas diretrizes que caracterizam o biodiesel.

Este método consiste em craquear, em partir em pedaços menores, as moléculas de triglicerídeos, podendo ser realizado de duas formas: craqueamento térmico ou craqueamento catalítico. No térmico, os óleos vegetais ou a gordura animal são submetidos a uma temperatura de ordem de 400°C. Ao atingir essa temperatura, as ligações dos TAG se quebram em moléculas menores, formando um líquido com propriedades físico-químicas muito semelhantes às do diesel derivado do petróleo. Esse é um processo realizado em duas etapas, sendo que na etapa primária, as ligações carbono-oxigênio se rompem e formam ácidos carboxílicos, como é possível visualizar na Figura 1.

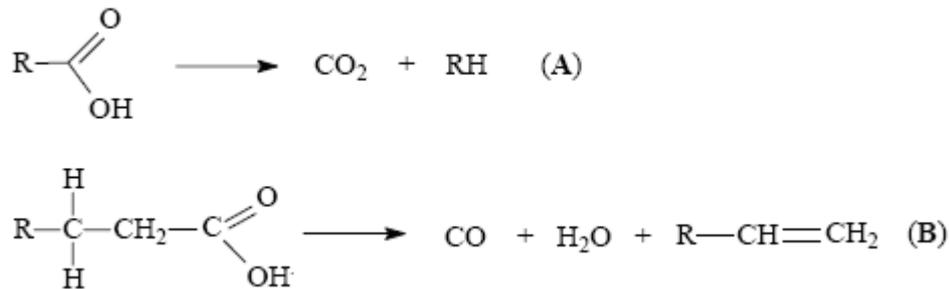
Figura 1 - Reação global para o craqueamento primário de triglicerídeos



Fonte: JARDINE, BARROS (2021a)

Em seguida, na etapa secundária, os ácidos carboxílicos formados são desoxigenados, ocorrendo de duas formas simultaneamente: descarboxilação e descarbonilação. Na descarboxilação (A), os ácidos carboxílicos formam  $\text{CO}_2$  e alcanos lineares, enquanto que, na descarbonilação (B), eles resultam em  $\text{CO}$ , água e alcenos terminais, como ilustrado na Figura 2 (BARROS, JARDINE, 2021a).

Figura 2 - Reações do craqueamento secundário de triglicerídeos: descarboxilação (A) e descarbonilação (B)



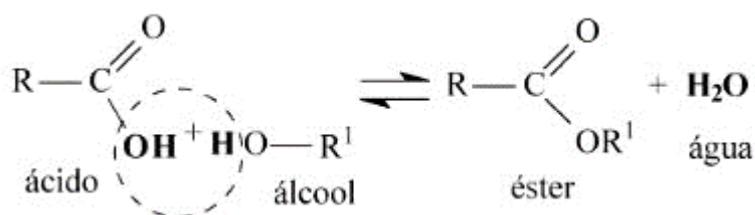
Fonte: JARDINE, BARROS (2021a)

O uso de catalisadores na produção fará com que uma dessas formas simultâneas (descarboxilação ou descarbonilação) seja priorizada. Eles vão otimizar o processo, já que podem favorecer uma das rotas reacionais, alterando a composição dos produtos finais. Dessa forma, estão sendo utilizados e desenvolvidos catalisadores para que possam melhorar os processos, eliminando os produtos oxigenados, que aumentam a acidez e, conseqüentemente, prejudicam o desempenho do motor. O emprego dos catalisadores provoca, também, a diminuição do consumo de energia, o que torna menor os custos da produção. Alguns dos que apresentam um melhor desempenho na seletividade das rotas reacionais são o óxido de alumínio, os óxidos de silício, os óxidos de molibdênio, o níquel suportado em alumina, as zeólitas ácidas, o ácido fosfórico suportado em sílica, a alumina dopada com óxidos metálicos (estanho e zinco) e vários outros constituídos à base de sílica. Já a alumina é um catalisador pouco seletivo, porém reduz a acidez final dos produtos devido a sua estrutura porosa e superfície levemente ácida. Por isso, só é utilizada na etapa secundária (BARROS, JARDINE, 2021a).

#### 2.3.4. Esterificação

A reação de esterificação, também conhecida como Esterificação de Fischer, consiste na reação entre um ácido carboxílico e um álcool, formando éster e água. (Figura 3).

Figura 3 - Reação de esterificação



Fonte: MAGALHÃES, [s.d.]

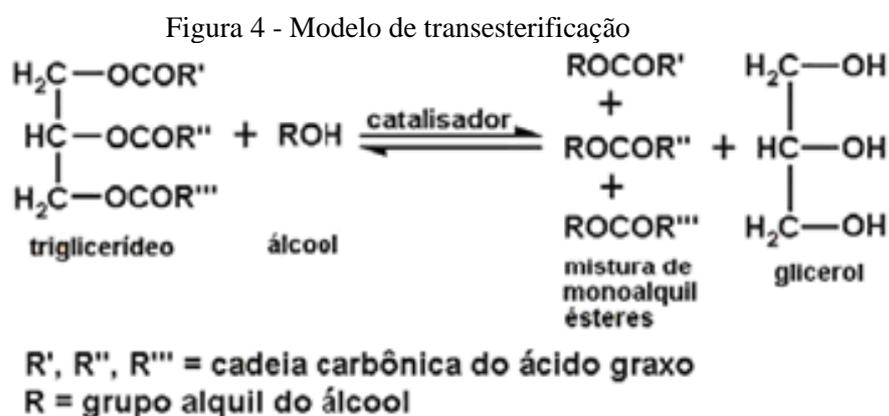
O ácido carboxílico e o álcool são reagentes que não conseguem interagir devidamente e se converter em éster e água. A má interação entre os reagentes faz com que surja uma camada filme entre eles, dificultando a transferência de massa e, conseqüentemente, demorando para gerar os produtos necessários. Essa transferência só melhora caso haja a diminuição da espessura da camada filme, que acontece se a reação for deslocada para a direita (KHAN *et al*, 2021). O ponto de equilíbrio da reação controla a quantidade de produtos formado e o desequilíbrio provocado, seja pelo excesso de reagente, neste caso, o álcool, seja pela subtração de subproduto, a água, aumentará o rendimento da reação (SOLOMONS, FRYHLE, 2000).

Esta reação é caracterizada, além da baixa conversão, pela taxa lenta de reação. A cinética lenta, provocada pela má interação entre o ácido carboxílico e o álcool, faz com que seja necessário o uso de artifícios para aumentar a velocidade da mesma. Ela pode ser uma reação de esterificação térmica não-catalisada. Nessa forma de reação, o álcool é submetido a condições sub/ supercríticas, provocando, assim, a diminuição da energia de ativação e, devido à alta temperatura, aumentando as colisões entre as moléculas dos reagentes. Ela também pode ser catalisada por catalisadores homogêneos ácidos, heterogêneos ácidos ou enzimáticos (KHAN *et al*, 2021).

O método mais utilizado, em produções em larga escala, para melhorar a cinética da reação é por meio do uso de catalisadores homogêneos ácidos. Esse tipo de catalisador gera resíduos tóxicos, contudo são os que apresentam mais baixo custo, com diversas opções disponíveis no mercado. Além disso, eles se dispersam uniformemente na reação e fornecem taxas de reação rápidas. O catalisador ácido age como doador de prótons para o ácido carboxílico, deixando-o em condições ideais para o ataque nucleofílico rápido do álcool (KHAN *et al*, 2021). Ele deve ser um ácido forte e estar em altas concentrações. Estando diluído, apresentará excesso de água, colocando-se em condições ideais para a reação inversa à de esterificação (hidrólise do éster), a qual desloca-se a reação para a esquerda, para a formação de produtos não desejados (SOLOMONS, FRYHLE, 2000).

### 2.3.5. Transesterificação

O biodiesel é definido, quimicamente, como sendo uma mistura de “Monoésteres alquílicos de ácidos graxos (ésteres graxos) que podem ser obtidos por esterificação de ácidos graxos ou por transesterificação de óleos e gorduras (triglicerídeos).” (MENEGHETTI *et al*, 2013). A transesterificação, dentre todos os métodos citados neste trabalho, é o mais conhecido e utilizado na produção de biodiesel. Essa reação, como é demonstrada na Figura 4, ocorre da seguinte forma:



Fonte: Racazeski et al (2006)

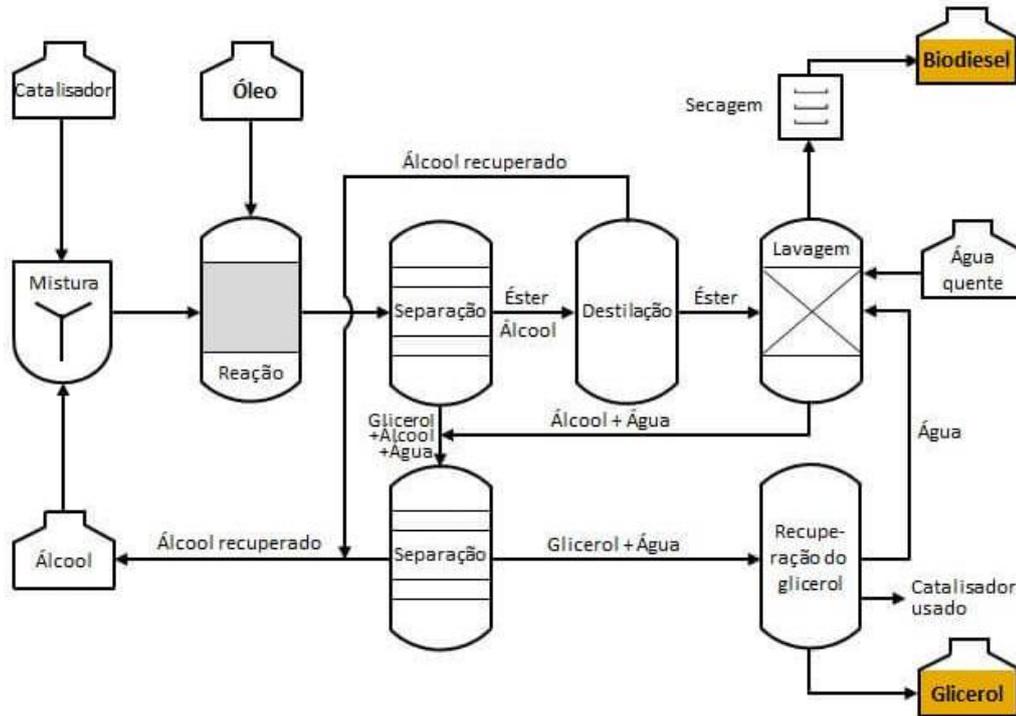
Alcoólise, como também é chamada a reação de transesterificação, é uma reação de um éster com um álcool formando um segundo éster e um outro álcool. De maneira geral, o triglicerídeo reage com o agente transesterificante, o álcool e, com o auxílio de um catalisador, produz moléculas menores de ésteres, os alquilésteres, e glicerol (ou glicerina). O agente transesterificante é um álcool de preferência primário, sendo o mais utilizado o metanol por ser o de mais alto rendimento com o menor custo. Entretanto, os ésteres etílicos de ácidos graxos são mais atrativos pelo ponto de vista estratégico e ambiental, pois além de ser de baixa toxicidade, é um combustível totalmente livre de petróleo (MENEGHETTI *et al*, 2013).

A reação de transesterificação é uma reação reversível. Então, mesmo teoricamente possuindo uma estequiometria 1:3, sendo três de álcool para cada mol de óleo, há a necessidade de excesso de álcool. Isso ocorre para que a reação seja deslocada no sentido dos produtos e, assim, promova um maior rendimento em ésteres. Esta é uma reação que ocorre em três etapas, de maneira gradual, consecutiva e reversível. Antes de gerar o glicerol, há a formação de dois intermediários, o diacilglicerídeo e o monoacilglicerídeo, como consta na Figura 5 (MENEGHETTI *et al*, 2013).



fora dos parâmetros de qualidade, poderá ocasionar problemas mecânicos para os veículos que o utilizarem. Por isso, tanto o glicerol quanto o biodiesel, após a reação, passam pelo processo de purificação. Todo o processo de produção de biodiesel é demonstrado no fluxograma a seguir (Figura 6).

Figura 6 - Fluxograma do processo de produção do biodiesel via transesterificação



Fonte: OLIVEIRA (2021).

A matéria-prima, quando chega na indústria, é preparada para a extração do óleo. Ele é refinado e desidratado para, em seguida, receber o álcool e o catalisador já misturados. Com isso, tem-se a origem de uma mistura com dois produtos de densidades diferentes. O produto da fase menos densa é o biodiesel em sua forma mais bruta. Já o da fase mais densa é a glicerina ainda com presença de diversas impurezas. Centrífugas ou decantadores têm a função de separar esses dois líquidos. A glicerina com resquícios de álcool e de água é encaminhada, então, para a etapa de recuperação do agente transesterificante. O álcool recuperado segue para reutilização no processo e a glicerina bruta segue para a etapa de destilação, onde ela é purificada. Quando purificada, ela possui diversas utilidades, desde fármacos, cosméticos e produtos de higiene a alimentos e bebidas, além de servir como matéria-prima para fabricação de monômeros e, consequentemente, de polímeros (PALHA, SILVA, 2020). Em relação ao produto principal, o biodiesel, após a separação, é destilado para a recuperação do álcool utilizado. Logo em

seguida, conduzido para a etapa de purificação. Nessa etapa, um dos métodos utilizados é a lavagem do biocombustível com solução aquosa de ácido sulfúrico, com o objetivo de romper as moléculas de carboxilatos de metais alcalinos e, assim, formando sais de sulfato (VIEIRA *et al*, 2018), o que neutraliza o catalisador básico (BARROS, JARDINE, 2021b). Em seguida, o biodiesel segue para lavagem com água quente para torná-lo límpido (VIEIRA *et al*, 2018). É nessa etapa onde serão removidas as impurezas presentes e onde irá ajustá-lo às exigências das agências reguladoras para, enfim, ser comercializado.

A presença de impurezas gera diversos problemas ao veículo. As principais delas estão listadas na Tabela 1, assim como as consequências ao motor do veículo que podem ser ocasionadas.

Tabela 1 - Principais impurezas do biodiesel e falhas causadas nos motores ciclo diesel

Contaminação	Efeito	Falha
Metanol livre	Corrosão do alumínio e do zinco Diminuição do ponto de fulgor	Corrosão
Catalisador (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> )	Produção de partículas sólidas	Entupimento dos injetores
Água dissolvida no biodiesel	Formação de ácidos graxos	Entupimento dos filtros
Água livre em misturas	Corrosão de todas as partes metálicas Proliferação de bactérias Aumento da condutividade elétrica	Corrosão e formação de depósitos
Glicerina livre, mono e diacilglicerídeos	Corrosão de metais não ferrosos Entupimento dos filtros de celulose Sedimentação em partes móveis	Entupimento dos filtros e coqueificação nos injetores
Ácidos graxos livres	Geração de calor excessivo nas bombas Maior tensão entre componentes	Falhas nas bombas e baixa atomização do combustível
Impurezas sólidas	Problemas de lubrificidade	Reduzido tempo de serviço
Ácidos corrosivos (fórmico e acético)	Corrosão de todas as partes metálicas	Corrosão
Produtos de polimerização	Formação de depósitos	Entupimento dos filtros Formação de depósitos

Fonte: FACCINI (2008)

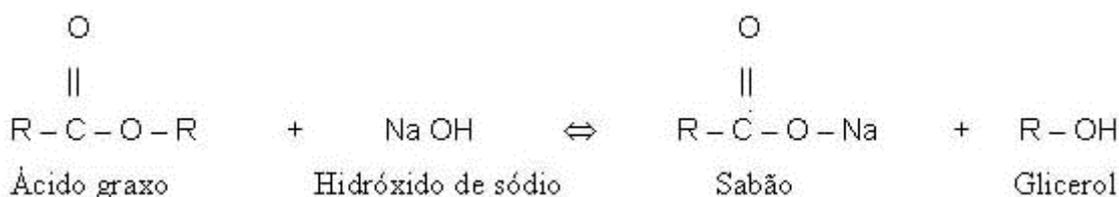
A reação de transesterificação ocorre com o auxílio de um catalisador, que pode ser homogêneo, heterogêneo, enzimático ou um nanocatalisador. Os dois últimos, contudo, se enquadram nos catalisadores heterogêneos, mas são estudados separadamente por apresentarem características especiais. Os enzimáticos e os nanocatalisadores englobam as vantagens tanto dos catalisadores homogêneos quanto dos heterogêneos (RIBEIRO, SOUZA, 2011). Além disso, o tamanho reduzido dos nanocatalisadores, fazem com que eles desempenhem melhor a sua função. Os catalisadores enzimáticos são os que têm mostrado uma maior eficácia em contornar os problemas apresentados pelos outros tipos de catalisadores. Entretanto os mais utilizados são os catalisadores homogêneos básicos, como hidróxido de sódio e hidróxido de potássio. Isso se deve a um alto rendimento em um curto espaço de tempo e a um menor custo

(CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020). Contudo, uma das principais desvantagens desse tipo de catalisador é a saponificação.

Saponificação é como é chamada a reação da produção de sabão. Ela é percebida devida a formação de emulsão estável, que é a presença de um líquido em outro, não miscível, através de bolhas (CASTRO, 2015). Isso acontece porque o catalisador reage com os ácidos graxos livres (AGL) presentes nos óleos vegetais/ gordura animal, originando o sabão. Para a produção do biocombustível, essa é uma reação indesejada, pois consome o catalisador, afeta no rendimento do produto final, além de necessitar, ao final do processo, de uma etapa de separação adicional para remover as impurezas catalíticas, o que aumenta, ainda mais, o custo final (BARROS, JARDINE, 2021b; CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020). Além do catalisador homogêneo básico, uma agitação intensa durante a reação no reator também influencia para a formação de emulsão. Uma forma de conter esse problema é a utilização de álcool anidro, já que a água é um dos agentes causadores das reações paralelas de saponificação (BARROS, JARDINE, 2021b).

Nos óleos vegetais e na gordura animal, há a presença de triglicerídeos, como vem sendo discutido ao longo deste trabalho, mas também de ácidos graxos livres (AGL). Nos óleos vegetais alimentícios, o teor de AGL presente é entre 2% e 7%, enquanto na gordura animal, esse valor pode variar entre 5% e 30% (GERPEN, KNOTHE, 2006c). Deve conter na matéria-prima, no máximo, 3% de AGL para que não haja tantos efeitos colaterais durante a reação (BARROS, JARDINE, 2021b). Isso se deve ao fato de os ácidos graxos livres reagirem com o catalisador alcalino formando sabão e água, como é demonstrado na Figura 7 (GERPEN, KNOTHE, 2006c).

Figura 7 - Reação de Saponificação



Fonte: ALVES, [s.d.]

Quando essa concentração é maior que 3% (BARROS, JARDINE, 2021b), os sabões dificultam a separação das fases biodiesel e glicerol, além de contribuírem para a formação de emulsões durante a lavagem aquosa (GERPEN, KNOTHE, 2006c). Para esses casos, é realizado um pré-tratamento da matéria-prima, antes de ir para a reação de transesterificação, que vai reduzir os níveis de AGL através da reação de esterificação (GERPEN, KNOTHE, 2006c).

## 2.4. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A TRANSESTERIFICAÇÃO

Existem alguns parâmetros que afetam a reação de transesterificação. A razão molar óleo/ álcool, o tipo e a quantidade do catalisador, o tempo e a temperatura da reação e o teor de água são alguns desses fatores.

### 2.4.1. Razão molar óleo/ álcool

Na reação de transesterificação, a proporção óleo/ álcool é de três mols de álcool para cada mol do triglicerídeo utilizado. Dessa forma, a reação se encontra em equilíbrio. Por isso, utiliza-se álcool em excesso para que haja um desequilíbrio na reação e ela seja deslocada em direção aos produtos e, assim, a maior parte dos triglicerídeos sejam convertidos na mistura de ésteres e em glicerol. O excesso de álcool, contudo, ocasionará problemas na separação dos produtos gerados. Isso acontece porque haverá uma maior miscibilidade entre as fases mais e menos densa (BERNARDO, 2014/ 2015).

### 2.4.2. Catalisadores

“Um catalisador ideal fornece alta taxa reacional, cinética aprimorada, facilidade de manuseio, produção mínima de resíduos, separabilidade do produto final e reciclabilidade.” (KHAN *et al*, 2021). Eles atuam diminuindo a energia do estado de transição da reação, consequentemente, reduzindo também a energia de ativação (OKECHUKWUA *et al*, 2022). Como já foi comentado no item 2.3.5, os catalisadores utilizados na reação de transesterificação podem ser homogêneos, heterogêneos, enzimáticos ou um nanocatalisador.

Os catalisadores homogêneos referem-se àqueles que se apresentam no mesmo estado físico dos reagentes (OKECHUKWUA *et al*, 2022). Eles podem ser ácidos ou básicos, sendo esse o mais comum (KOH ou NaOH). Eles apresentam uma alta atividade que leva a um alto rendimento do processo em um curto período de tempo. Somado a isso, apresentam condições moderadas de reação, além de, geralmente, reduzirem o custo. A grande desvantagem é que são bastante sensíveis à presença de ácidos graxos livres e água, fazendo com que haja a reação do catalisador com os AGLs numa reação de saponificação. Com os catalisadores homogêneos ácidos, a reação não apresenta problemas com saponificação, permitindo o uso de matérias-

primas com alto índice de ácidos graxos livres. Entretanto, por serem utilizados ácidos fortes, como o ácido sulfúrico, há um risco maior de corrosão e de contaminação, uma necessidade de uma proporção molar óleo: álcool maior, além de apresentar uma cinética de reação mais lenta (RUPOLO, 2022).

Diferentemente dos catalisadores homogêneos (CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020), os heterogêneos podem ser reutilizados, regenerados e operados em processos contínuos. Eles são ecologicamente corretos, não corrosivos, recicláveis, apresentam uma maior vida útil e menos problemas no descarte, o que torna o biodiesel produzido ainda mais sustentável. Ao contrário do hidróxido de sódio e hidróxido de potássio, os catalisadores heterogêneos não são sensíveis à presença de AGL e de água. O uso de catalisadores heterogêneos têm sido uma boa opção nas reações de transesterificação, porque possuem uma alta seletividade. Além disso, o processo de produção de biodiesel ocorre com menos operações unitárias, com etapas de separação e de purificação menos complexas, além de não ser necessário a neutralização do catalisador. Entretanto, o maior obstáculo apresentado, é por eles serem menos eficazes que catalisadores homogêneos básicos. Eles necessitam, também, de uma alta proporção molar álcool: óleo e dificultam as transferências de massa nos sistemas de reação multifásica, o que prejudica as taxas reacionais (CHOZHAVENDHAN *et al*, 2020). Os principais tipos de catalisadores heterogêneos são óxidos metálicos, zeólitas, argilas, bases orgânicas, complexos metálicos, sais inorgânicos e resinas de troca iônica, sendo as que possuem sítios básicos de Lewis os mais eficazes para as reações de produção de biodiesel (RUPOLO, 2022).

As lipases são o tipo de enzimas utilizado na produção de biodiesel. As enzimas possuem uma alta eficiência catalítica, conseguem formar produtos altamente puros, permitem uma fácil separação do glicerol do biocombustível, podem ser utilizadas com soluções aquosas ou químicas, podem operar em condições amenas de temperatura e pressão. Além disso, não há corrosão dos equipamentos, já que não precisam de temperatura e de pressão extremas para operar, o gasto de energia é menor e, raramente ocorrem reações colaterais que levem ao desperdício com a formação de subprodutos (GAMBA, 2009). Por isso, elas vêm ganhando espaço como biocatalisadores nas reações de transesterificação, na produção de biodiesel. Contudo, elas são sensíveis e desativam a pequenas variações de temperatura e de pH, além de possuir uma baixa taxa de reação (RUPOLO, 2022) e um alto custo de aquisição, o que dificulta a sua implementação nas indústrias (GAMBA, 2009).

Os nanocatalisadores são catalisadores com, pelo menos, uma de suas dimensões de ordem nanométrica ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ). Eles foram projetados, átomo por átomo, para apresentarem propriedades únicas, propriedades existentes, somente, no estado nanométrico, como os efeitos

de superfície e eletrônico. O efeito de superfície tem relação com o tamanho da partícula. Quanto menor é a partícula, maior é a necessidade de átomos para cobrir a superfície do material. Já o efeito eletrônico se refere a modificações na estrutura eletrônica de um material, tomando como base o tamanho da partícula. À medida que o tamanho da partícula é reduzido, a estrutura de bandas eletrônicas vai desaparecendo e os níveis de energia vão se tornando discretos. Isso atribui singularidade a esses catalisadores. Dessa forma, ajustando as dimensões da partícula (efeito de superfície) e o grau de carregamento da partícula (efeito eletrônico), permite-se manipular a atividade e a seletividade do catalisador. Todas essas características possibilitam o uso em novas aplicações da indústria química. Contudo, o preparo e a caracterização desses materiais para os tornarem originais, apresentam dificuldades, somado ao alto custo associado, de forma a dificultar o seu uso em processos industriais (RIBEIRO, SOUZA, 2011).

#### **2.4.3. Tempo e temperatura da reação**

O tempo e a temperatura da reação apresentam um grande impacto na reação de transesterificação. Com o aumento da temperatura, maior a interação entre os triglicerídeos com o álcool e, conseqüentemente, há uma maior taxa de conversão. Analogamente, a diminuição da temperatura leva a uma menor taxa de reação. Entretanto, a temperatura a ser utilizada deve ser próxima do ponto de ebulição do álcool. Isso porque acima do seu ponto de fusão começa a surgir bolhas, que afetam a reação (HUSSAIN et al. 2021) e, conseqüentemente, apresentam um menor rendimento (MEHER *et al*, 2006). As altas temperaturas provocam o aumento da taxa de conversão, sendo a reação realizada, então, em um curto espaço de tempo (OKECHUKWUA, 2022). No primeiro momento, a reação é lenta por causa da mistura dos reagentes. À medida que o tempo passa, a conversão ocorre rapidamente (FERRARI *et al*, 2005). Muito tempo de reação, porém, não quer dizer um bom rendimento, já que começa o processo inverso, o de hidrólise do éster (BASTOS *et al*, 2020).

#### **2.4.4. Teor de água**

Uma matéria prima com um alto teor de água é prejudicial para as reações de transesterificação. Fonte de triglicerídeos com uma umidade maior que 0,25% (VIEIRA et al, 2017) provoca reações paralelas de formação de sabão, além de consumir e de reduzir a eficiência do catalisador utilizado (BARROS, JARDINE, 2021). Os ácidos graxos presentes

nos óleos vegetais e na gordura animal reagem com a água, formando sais de ácidos graxos. Eles dificultam as etapas de separação, de lavagem e de purificação dos produtos gerados (VIEIRA *et al*, 2017).

## 2.5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Bibliometria vem da junção das palavras “biblion”, do grego, que significa livro, e “metricus”, do latim, ou mesmo “ metrikos”, do grego, que significa mensuração (BUFREM, PRATES, 2005). Bibliometria, também conhecida como análise bibliométrica, corresponde a mensurações de livros, sendo essa a sua primeira definição. Com o passar o tempo, esse termo foi utilizado com diferentes sentidos (BUFREM, PRATES, 2005). Atualmente, a análise bibliométrica tem sido utilizada para colocar, em números, dados obtidos de produções científicas. A partir dela se consegue mensurar informações como a quantidade de artigos publicados por determinado país, quantas publicações foram realizadas por determinado autor, ou sobre algum tema específico, quantos artigos foram publicados naquele ano. Dessa forma, consegue-se ter uma visão geral sobre o que está sendo analisado.

Existem três leis que regulam os estudos bibliométricos: Lei de Lotka, Lei de Bradford e Lei de Zipf (BUFREM, PRATES, 2005). A primeira, também denominada de Lei do Quadrado Inverso, tem como referência a produtividade dos autores, identificando em um conjunto de documentos científicos, quantos deles correspondem a um determinado autor (VANTI, 2005). A segunda, ou Lei da Dispersão, permite identificar a relevância de determinado periódico num conjunto de produções científicas,. Por último, a Lei de Zipf (Lei do Mínimo Esforço) condiz com a frequência de aparecimento de uma ou mais palavras relacionando-a a determinado tema ou disciplina (CORDEIRO, 2009) .

A bibliometria é subdividida em descritiva e avaliativa (CORDEIRO, 2009). A área descritiva aborda os aspectos quantitativos, ou seja, a produtividade científica em determinada área geográfica, por autor e por tema (ÍÑIGUEZ *et al*, 2006; ÍÑIGUEZ-RUEDA *et al*, 2008; LINIERS, 1998). Já a avaliativa, corresponde à avaliação da atividade científica tendo como base os dados quantitativos. Para organizar essas informações, faz-se o uso de softwares e de técnicas estatísticas (LINIERS, 1998). Sendo assim, consegue-se visualizar de uma forma ampla o que está acontecendo no meio científico em termos de publicações.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. ESCOLHA DA BASE DE DADOS

Base de dados é uma espécie de biblioteca destinada para revistas científicas e seus respectivos artigos. Essas publicações passam por um processo de seleção para que possam ser inseridas, o que as tornam de qualidade, creditáveis e confiáveis (COSTA, 2020). A base de dados escolhida para o presente trabalho foi a *Web of Science (WoS)*, que engloba publicações das revistas mais conceituadas no mundo (BIBLIOTECA COMUNITÁRIA UFSCar, 2022). É uma base onde se realiza, regularmente, análises dos materiais científicos (CRUZ, 2012), além de ser bastante utilizada em análises bibliométricas pela grande quantidade de publicações científicas no acervo e pela sua confiabilidade (MA *et al.*, 2018).

#### 3.2. ESTRATÉGIA DE BUSCA NA BASE DE DADOS

O acesso para a base de dados *Web of Science* se deu através do portal de periódicos Periódicos CAPES, acessada através da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). No campo de busca, coloca-se as palavras-chave relativas ao tema discutido. No caso deste trabalho, foram inseridos os termos “biodiesel” AND “transesterification”. As palavras “Biodiesel” e “transesterification” foram postas entre aspas para que os resultados apresentados contenham essas palavras no documento listado. Já o operador booleano “AND” foi utilizado para que tanto a palavra “biodiesel” quanto a palavra “transesterification” estejam presentes nos materiais científicos, simultaneamente.

#### 3.3. EMPREGO DE RESTRIÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

O Periódicos CAPES permite que filtros sejam utilizados para tornar a pesquisa mais adequada aos objetivos do estudo proposto. Ele possibilita, dentro da base de dados utilizada, escolher onde deseja encontrar as palavras-chave inseridas no campo de busca, seja em todos os campos, no título, em tópicos (no título, no resumo, nas palavras-chave), o intervalo de datas que os artigos foram publicados, os tipos de publicações (artigos, artigos de conferência,

capítulos de livros, etc.), por exemplo. As restrições que foram utilizadas neste trabalho foram para obter artigos (tipo de documento), publicados nos últimos cinco anos (intervalo de datas), que tivessem “biodiesel” e “transesterification” no título do documento.

### 3.4. EXTRAÇÃO, ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Após selecionadas as restrições citadas anteriormente, o portal de periódicos gerou, como resultado uma lista de artigos, os quais foram individualmente analisados, permitindo obter as informações essenciais para a análise bibliométrica. Os dados coletados foram organizados em planilhas no software Microsoft Excel 2016. Nele, foi possível efetuar os cálculos e produzir os gráficos que serão discutidos posteriormente.

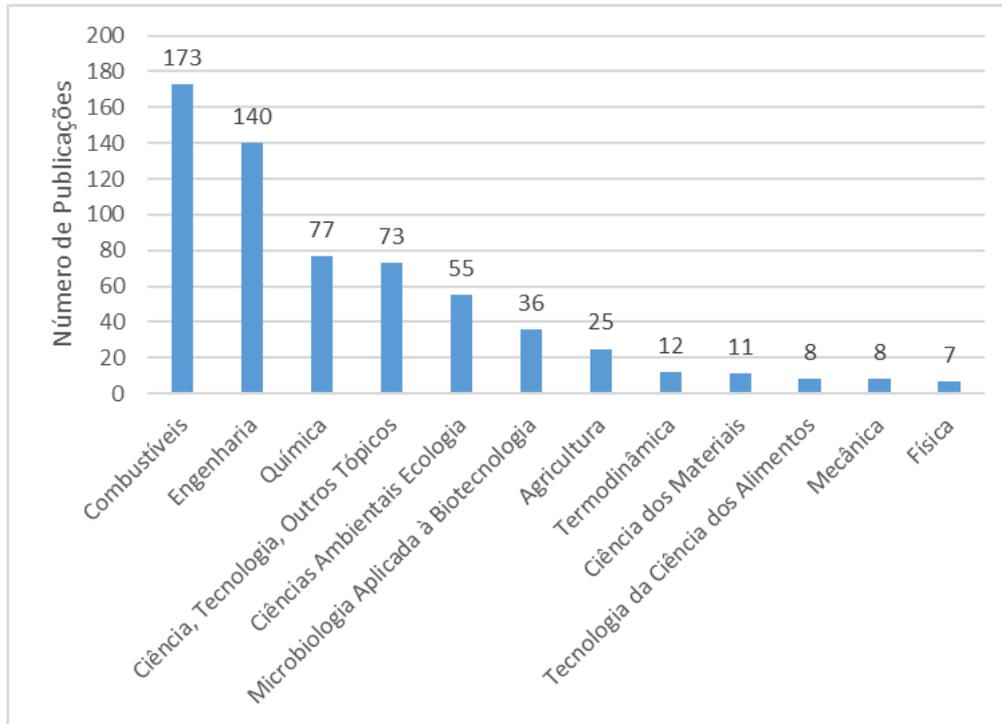
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das buscas e das restrições explicadas no item 3, obteve-se o resultado de 373 artigos publicados. Dentre esses, mesmo utilizando o filtro para gerar apenas artigos, foram encontrados oito artigos de revisão. Além disso, três não possuíam as informações específicas focos do presente trabalho e um era a respeito de uma nova forma de fabricação de biodiesel. Logo, foram avaliados um total de 361 artigos. Com a análise deles, foi possível o levantamento de informações como o tipo e a fonte de triglicerídeos (óleos vegetais, gordura animal, microalgas), o álcool (metanol, etanol, butanol), o tipo e o catalisador utilizado (homogêneo, heterogêneo). Somado a isso, foram identificadas as áreas de pesquisa, as afiliações dos autores e os países a eles relacionados. Com essas informações, foi possível estabelecer um panorama acerca das pesquisas sobre o método de transesterificação para a produção de biodiesel nos últimos cinco anos.

### 4.1. ÁREAS DE ESTUDO

Os arquivos obtidos como resultados no Web of Science a respeito da produção de biodiesel pelo método de transesterificação são provenientes de várias áreas de estudo. Com 26 áreas de atuação, a de maior destaque é a de Combustíveis, equivalendo a 27% do total de artigos, seguida de Engenharia, com 22%, e de Química, com 12%. Essas áreas contribuem com a busca e desenvolvimento de novos métodos, ou de aprimoramento dos já existentes, para essa fonte de energia renovável, como forma de popularizar esse biocombustível. A Figura 8 apresenta o número de publicações sobre produção de biodiesel via transesterificação para as principais áreas de estudo relacionadas ao tema.

Figura 8 - Principais áreas de estudo que se destacam na produção de artigos sobre a produção de biodiesel via transesterificação.

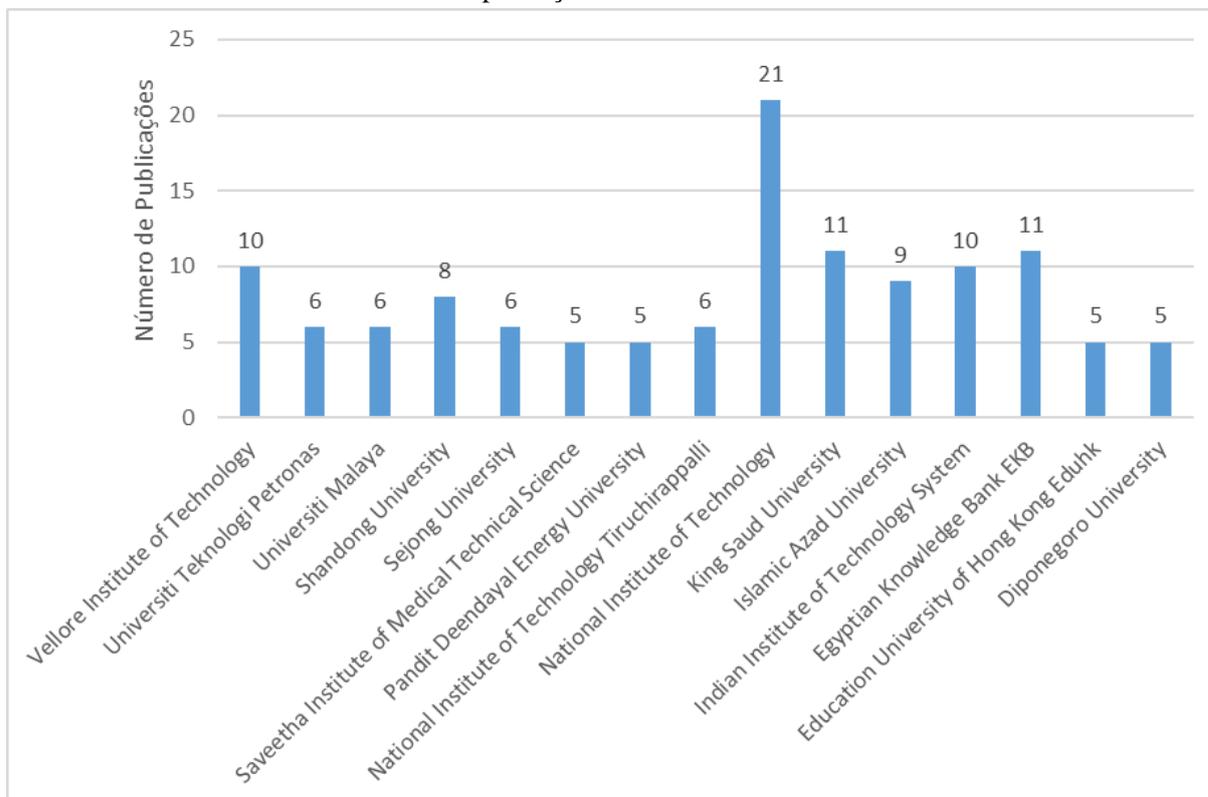


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

## 4.2. PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA SOBRE A TEMÁTICA

Cerca de 200 instituições foram identificadas nos estudos que buscam desenvolver ou melhorar a produção de biodiesel via transesterificação. As pesquisas existentes procuram alternativas que apresentem um maior rendimento a um baixo custo e com menor emissão de poluentes, seja substituindo as matérias-primas, o catalisador ou modificando as condições da reação. A National Institute of Technology (Índia) foi a instituição com maior número de publicações de artigos científicos sobre esse tema, com 21 produções científicas nos últimos cinco anos. Para a construção do gráfico (Figura 9), foram considerados as instituições com, pelo menos, cinco publicações.

Figura 9 - Principais instituições que se destacam na produção de artigos sobre transesterificação na produção de biodiesel.

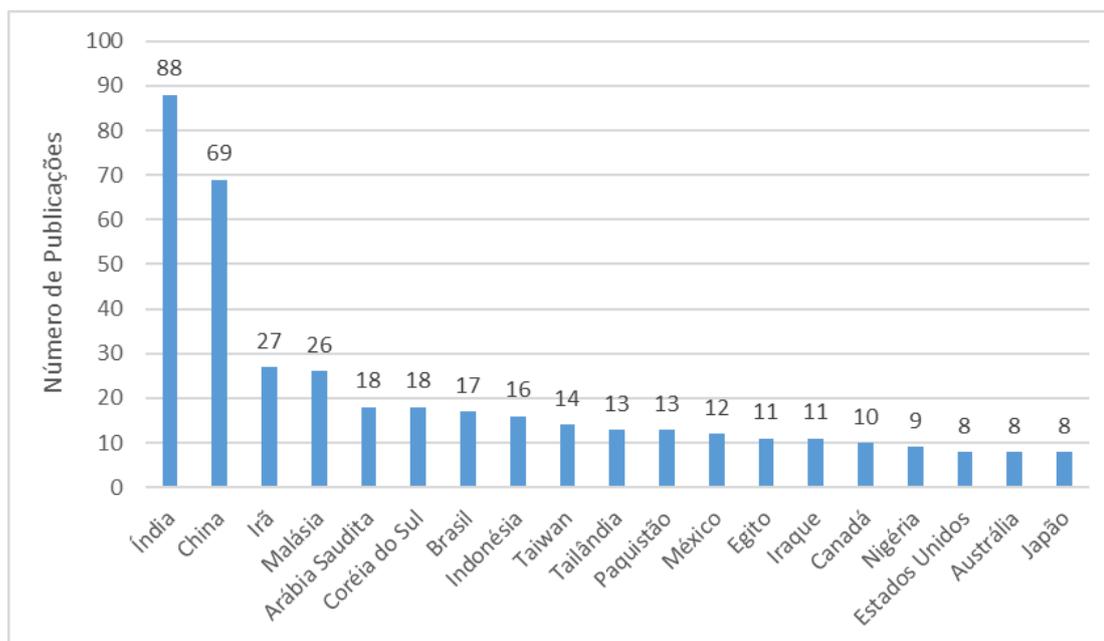


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

### 4.3. PAÍSES QUE SE DESTACAM NA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

A partir dos artigos obtidos com a busca realizada no Web of Science, foi possível identificar quais países possuem um maior número de publicações sobre o tema. Foi identificado que em 67 países foram realizados estudos acerca da produção de biodiesel pelo método de transesterificação. A Índia e a China foram os países destaques, com 88 e com 69 publicações, respectivamente. Estados Unidos, Brasil, Indonésia, China e Alemanha são os cinco maiores produtores de biodiesel do mundo entre os anos 2011 e 2020, segundo o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) (MAFRA, 2022). Desses, apenas a Alemanha publicou menos de oito artigos científicos, limite mínimo estipulado para a ilustração dos dados na Figura 10.

Figura 10 - Principais países que se destacam na produção de artigos sobre transesterificação na produção de biodiesel.



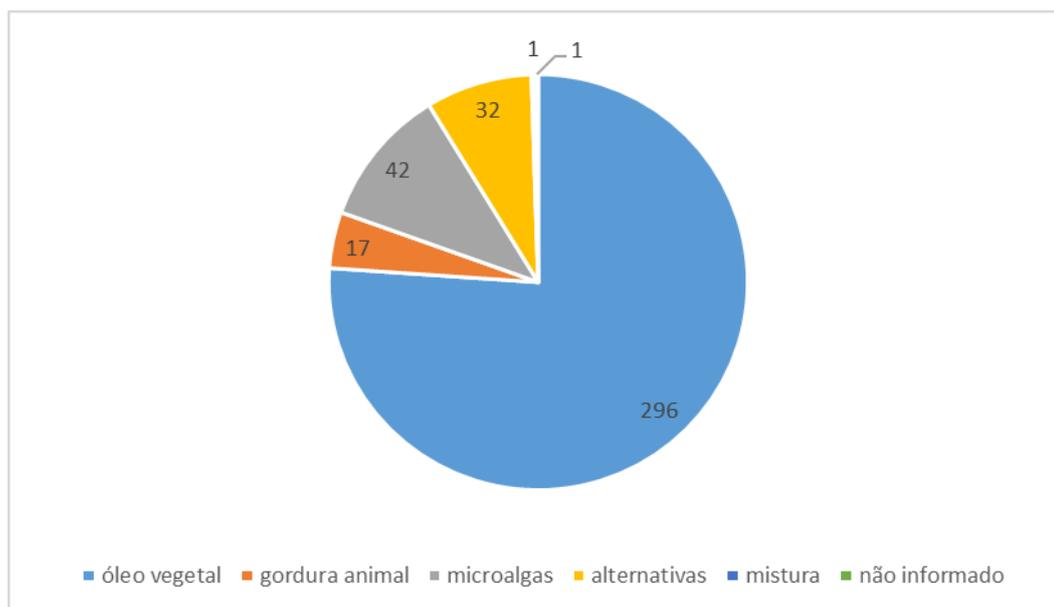
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

## 4.4. PRINCIPAIS MATÉRIAS PRIMAS

### 4.4.1. Fonte de Triglicerídeos

A reação de transesterificação utiliza como matérias-primas a fonte de triglicerídeos e o agente transesterificante. A fonte de triglicerídeos pode ser óleo vegetal, gordura animal, microalgas ou, como foi classificado neste trabalho, alternativas. Na categoria “alternativas”, estão leveduras, fungos, insetos ou larvas e, até mesmo, lodo de esgoto. Analisando os resultados obtidos, identificou-se que 296 artigos utilizavam de óleos vegetais como fonte de triglicerídeos, 17, de gordura animal, 42, de microalgas, 32, de alternativas e, em um dos artigos, não informada a fonte utilizada, como ilustrado na Figura 11. É importante destacar que, no Brasil, os óleos vegetais foram o principal alvo das pesquisas relatadas nos artigos. Muitas das publicações analisadas fizeram experimentos com mais de uma matéria-prima como fonte de triglicerídeos, podendo ser testadas, em uma mesma pesquisa, um óleo vegetal e uma microalga, por exemplo, ou uma mistura deles, como foi o caso do óleo proveniente da mistura da borra de café residual com a microalga *Chlorella pyrenoidosa* (ABOMOHRA et al, 2021).

Figura 11 - Tipos de fontes de triglicerídeos para produção de biodiesel via transesterificação.

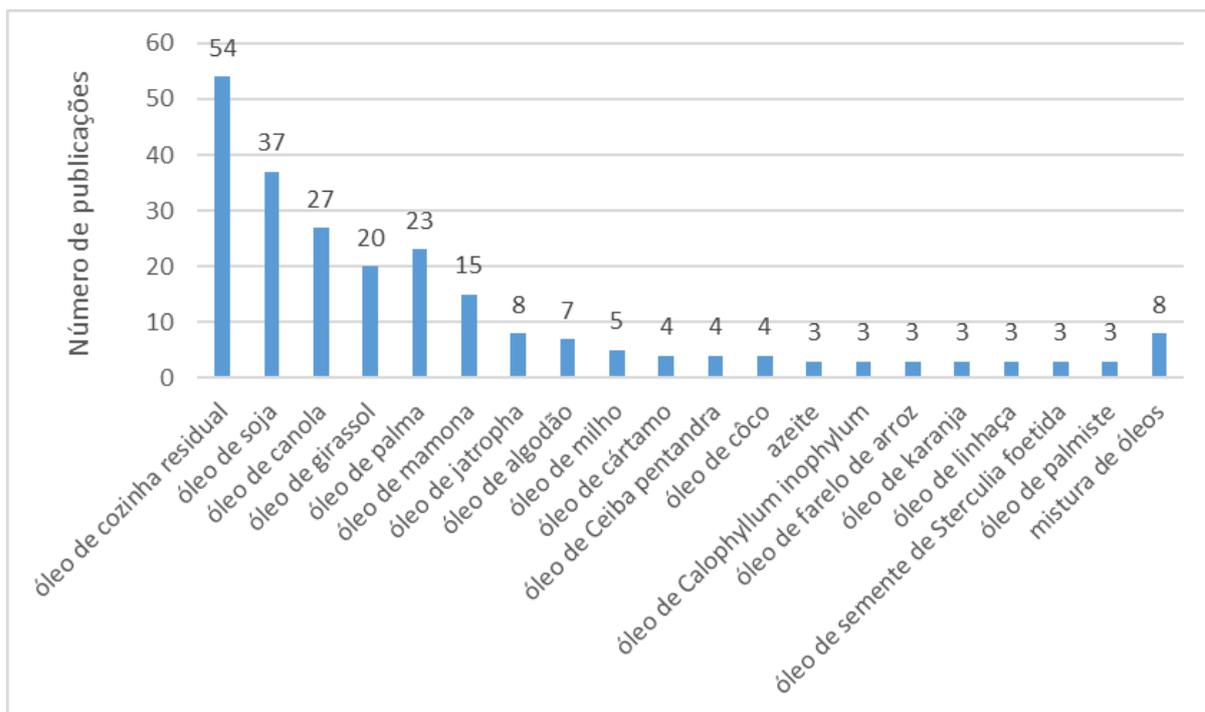


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

Como é possível perceber através da Figura 11, nos últimos cinco anos, as pesquisas tiveram como foco maior os óleos vegetais. Diversos foram os óleos testados, com destaque para os óleos de cozinha residuais, seguidos pelo óleo de soja, óleo de canola, óleo de girassol, óleo de palma e óleo de mamona (Figura 12). Os óleos de cozinha residuais têm apresentado bons resultados como matéria prima na produção de biodiesel. Isso porque eles têm sido um bom substituinte para os óleos vegetais refinados de alto custo, além de ser um óleo não-comestível, o que permite que não haja competitividade com a alimentação humana (RASHID *et al*, 2017).

95% do biodiesel produzido atualmente têm como origem óleos comestíveis. Óleos como de soja, de girassol e de canola competem com fontes alimentares, fazendo com que haja o aumento do preço desse tipo de oleaginosa. Por isso, muito tem se investido em óleos não-comestíveis, como os de sementes de nim, de karanja, de jatropha, de mahua, de linhaça, de mamona. A semente de nim possui em torno de 39,7% de óleo, além de sua planta crescer rapidamente e ter uma vida produtiva longa, entre 150 e 200 anos, e ser resistente à seca e a altas e baixas temperaturas. A planta de nim madura produz até 50kg de frutos por ano (ONUKWULI *et al*, 2020). A semente de karanja possui componentes tóxicos, o que faz com que não seja um óleo comestível. Ela contém por volta de 25 a 39% de óleo, sendo adequada para a produção de biodiesel (PATEL, SANKHAVARA, 2020). No Brasil, entretanto, o óleo de soja continua sendo a principal matéria prima para produção de biodiesel (MANZONI, BARROS, 2021), inclusive nas pesquisas, estando presente em cinco dos treze artigos.

Figura 12 - Principais óleos vegetais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.

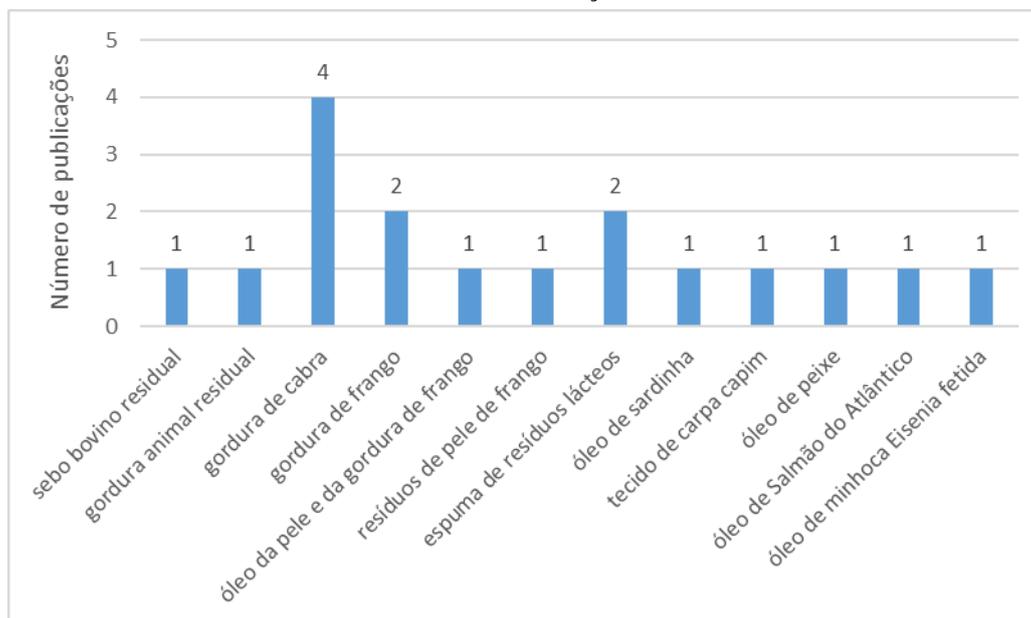


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

Oito artigos utilizaram misturas de óleos com o objetivo de combinar as características presentes nas matérias-primas. A exemplo do artigo “Biodiesel production by transesterification of a mixture of pongamia and neem oils”, onde foi relatado o uso da mistura dos óleos de nim e de karanja para juntar a grande produtividade do nim, cerca de 700.000 toneladas ao ano, com a capacidade da karanja de se desenvolver em qualquer solo (VINAYAKA *et al*, 2021).

Outro tipo de fonte de triglicerídeos encontrado nos artigos publicados foi a gordura animal. Mesmo apresentando um alto índice de ácidos graxos livres, as gorduras animais têm sido estudadas como forma de substituir os óleos vegetais na produção de biodiesel. Isso porque os óleos vegetais geram uma competitividade com o mercado alimentício e, também, provocam degradações do solo e desmatamentos para que haja o plantil do vegetal (ROICK *et al*, 2021; VIMALA *et al*, 2018), além de a gordura animal ser uma matéria prima mais rentável (RASOULI, ESMAEILI, 2019). Dentre os artigos pesquisados, a gordura de cabra (Figura 13) é a que tem sido mais testada ultimamente, com estudos relacionados em quatro publicações. Não foram encontrados artigos sobre a produção de biodiesel utilizando gordura animal como matéria prima no Brasil, nos últimos cinco anos.

Figura 13 - Principais gorduras animais utilizadas na produção de biodiesel via transesterificação.

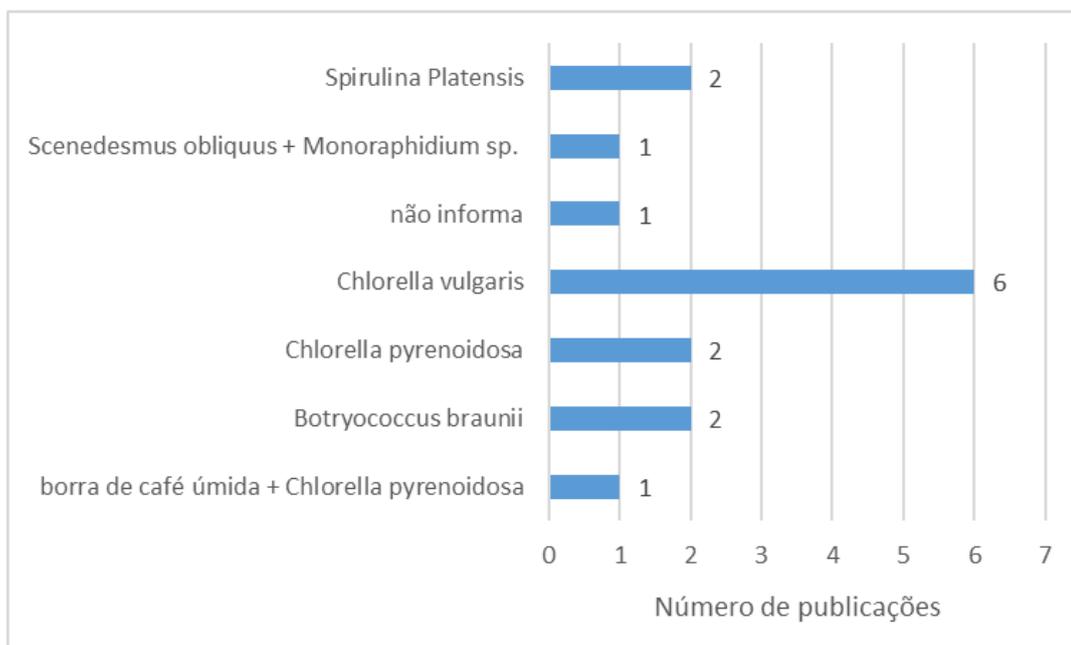


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

Uma matéria prima que tem sido foco dos cientistas é a microalga. Por ser uma fonte com alto teor lipídico (BALDEV et al, 2021), que se desenvolve rapidamente em um espaço de tempo limitado (AHMAD *et al*, 2023) e que não compete com o mercado alimentício (SINGH, GU, 2010) é uma fonte de triglicerídeos muito promissora. Dentre os tipos de fontes de triglicerídeos, ela foi a segunda com maior número de citações em artigos, ocupando essa posição, também, em artigos brasileiros, com um total de três publicações. Várias microalgas foram testadas, sendo as mais utilizadas destacadas na Figura 14. A espécie *Chlorella vulgaris* foi a que se sobressaiu por estar em seis artigos.

A *Chlorella pyrenoidosa*, além de ter participado de experimentos como matéria-prima principal da reação, foi também avaliada misturada com borra de café úmida. O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, cerca de nove milhões de toneladas no mundo por ano. Essa quantidade produz mais de 99% de borra de café úmida (PARK *et al*, 2018). Essa borra, normalmente, é descartada de forma inadequada, provocando impactos ambientais negativos (YANG et al, 2017), mas ela pode ser reaproveitada, nas reações de produção de biodiesel, por conter entre 10% e 15% de óleo bruto (AL-HAMMARE *et al*, 2012; PHIMSEN *et al*, 2016). Ela foi misturada com a microalga *Chlorella pyrenoidosa* como forma de otimizar a reação e, assim, melhorar o rendimento da mistura de ésteres gerada (ABOMOHRRA *et al*, 2021).

Figura 14 - Principais microalgas utilizadas na produção de biodiesel via transesterificação.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

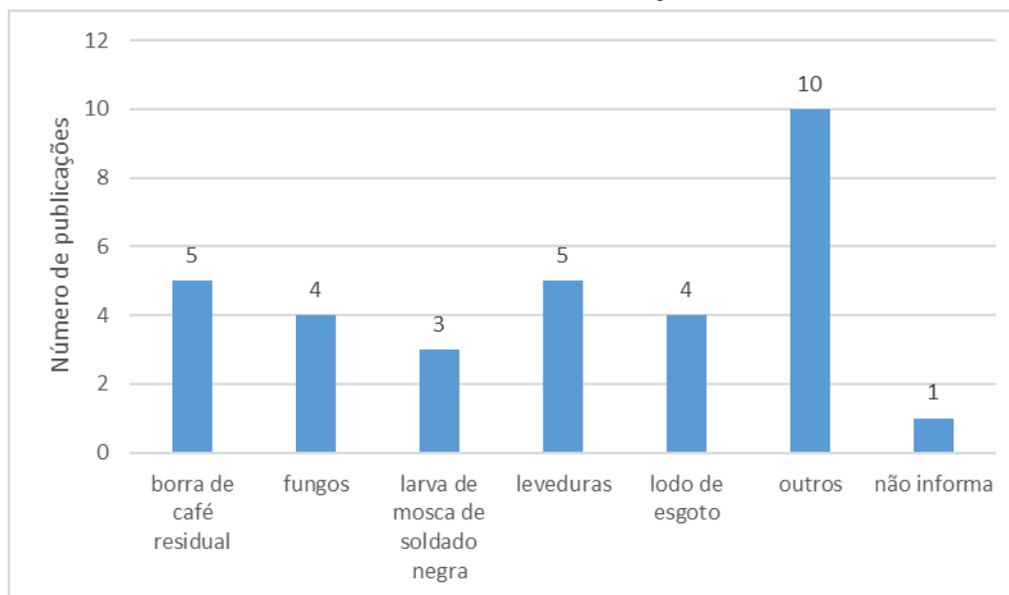
A mistura de *Scenedesmus obliquus* e *Monoraphidium sp.* também teve um destaque na imagem acima. Ela foi utilizada com o objetivo de testar a eficiência de nanopartículas magnéticas e de líquidos iônicos na extração de lipídios de microalgas em uma mistura, como foi afirmado por Egesa e Plucinski (2022). Esses métodos procuram reduzir os custos da colheita de microalgas (BOLI *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2021) e extrair, eficientemente, os lipídios presentes (EGESA, PLUCINSKI, 2022).

Outra classificação discutida foi a denominada de “alternativas”. Nela, estão as fontes de lipídios que não se encaixam em nenhuma dos tipos discutidos anteriormente. Além da borra de café residual, fonte de triglicerídeos já discutida, vale ressaltar as leveduras (cinco artigos) e o lodo de esgoto (quatro artigos), como mostra a Figura 15.

As leveduras são microorganismos oleaginosos classificados pela quantidade de lipídios presentes em relação ao seu peso seco. A quantidade de lipídios presentes nelas pode variar de 30% a 50% de sua biomassa seca, o que a torna interessante como fonte de triglicerídeos (SITEPU *et al.*, 2014). Já o lodo de esgoto utilizado nas pesquisas é o chamado de lodo secundário (HATAMI *et al.*, 2021) Ele é produzido em grande quantidade todos os anos, nas Estações de Tratamento de Água (ETA) (DAI, 2012). Nas ETA's, há o lodo primário, composto por gorduras flutuantes e sólidos em suspensão, proveniente da etapa de sedimentação/ flotação no início do processo, e o lodo secundário, que é rico em materiais orgânicos (ZHU *et al.*, 2017). Essa lama secundária, normalmente, passa por um longo

tratamento antes de serem depositados nos aterros sanitários, sendo que ela pode ser reaproveitada por apresentar um alto índice de lipídios em sua composição (ZHU *et al*, 2018). O processo de tratamento do lodo equivale a 50-60% do custo do tratamento de água residuais (KROISS, 2004; SPINOSA *et al*, 2011).

Figura 15 - Principais fontes alternativas de triglicerídeos utilizadas na produção de biodiesel via transesterificação.

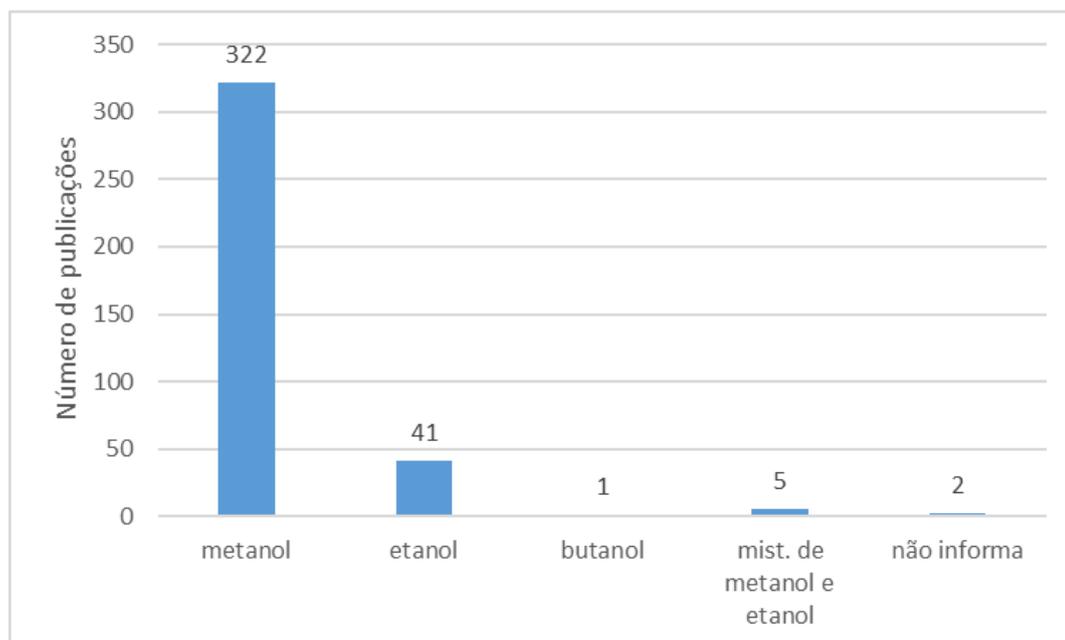


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

#### 4.4.2. Álcoois

Os álcoois de maior preferência numa reação de transesterificação são os de cadeia curta, com um ou dois carbonos. Como consta na literatura, o metanol é o álcool que melhor se adequa à essa reação pelo fato de ter um alto rendimento a um baixo custo (MENEGHETTI *et al*, 2013). De acordo com as informações obtidas nos artigos analisados, ele esteve presente em 322 publicações (Figura 16), podendo ter sido o único agente transesterificante testado naquele material ou em conjunto com outros álcoois. No Brasil, o metanol também liderou o ranking dos principais álcoois empregados na produção de biodiesel via transesterificação, mesmo sendo o segundo maior produtor de etanol do mundo (VIDAL, 2022), estando presente em onze dos dezessete artigos brasileiros. O metanol também esteve em misturas com o etanol, em cinco casos. Essa é uma forma utilizada de aumentar o rendimento do biodiesel gerado e diminuir o tempo de separação entre as fases (SILVA *et al*, 2015). Dois dos artigos não informaram o álcool utilizado nos experimentos.

Figura 16 - Principais álcoois empregados na produção de biodiesel via transesterificação.



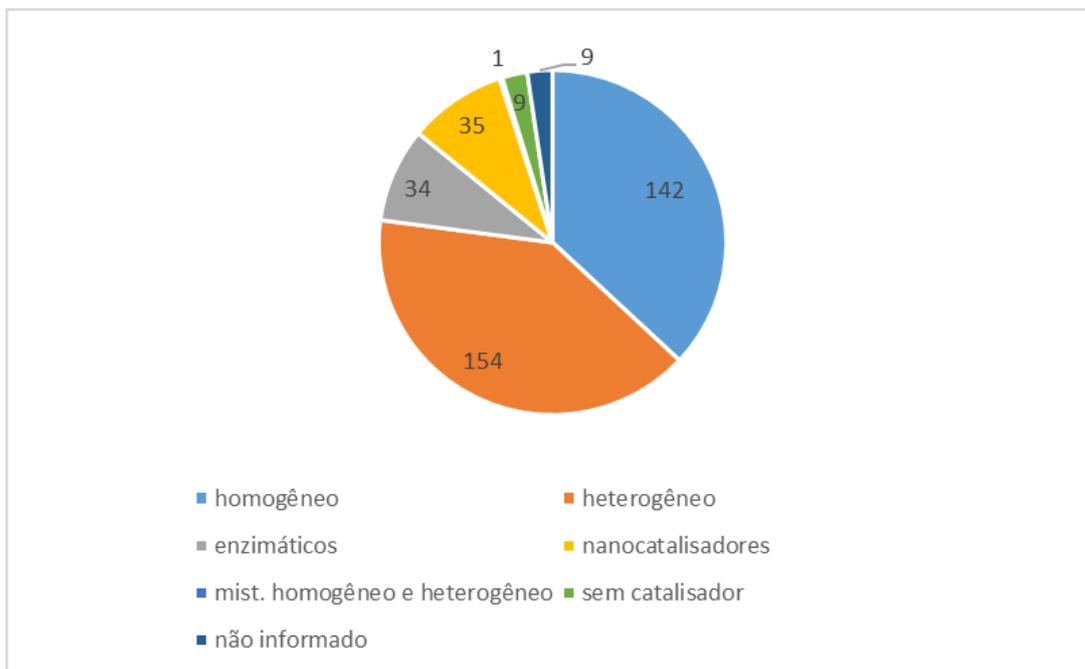
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

## 4.5. CATALISADORES

Como foi abordado anteriormente, os catalisadores pode ser homogêneos, heterogêneos, enzimáticos ou nanocatalisadores. Esses dois últimos pertencem aos catalisadores heterogêneos, mas devido às singularidades de suas características, são estudados separadamente. É possível analisar a respeito da pesquisa relacionada ao tipo de catalisadores mais utilizados em reações de transesterificação nos últimos cinco anos na Figura 17.

Mesmo os catalisadores homogêneos sendo muito utilizados nas reações de produção de biodiesel, por normalmente apresentarem uma alta taxa de conversão (ONUKWULI *et al*, 2020), houve um menor número de estudos empregando esses catalisadores nos últimos cinco anos. Isso possivelmente ocorreu devido à grande variedade de materiais que podem ser adequadamente utilizados, o que leva a baixos custos de produção (NADEEM *et al*, 2021). Em relação aos artigos brasileiros, foi obedecido ao que se espera a literatura, possuindo um maior número de publicações com o uso de catalisadores homogêneos na reação de produção de biodiesel via transesterificação.

Figura 17 - Tipos de catalisadores utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.

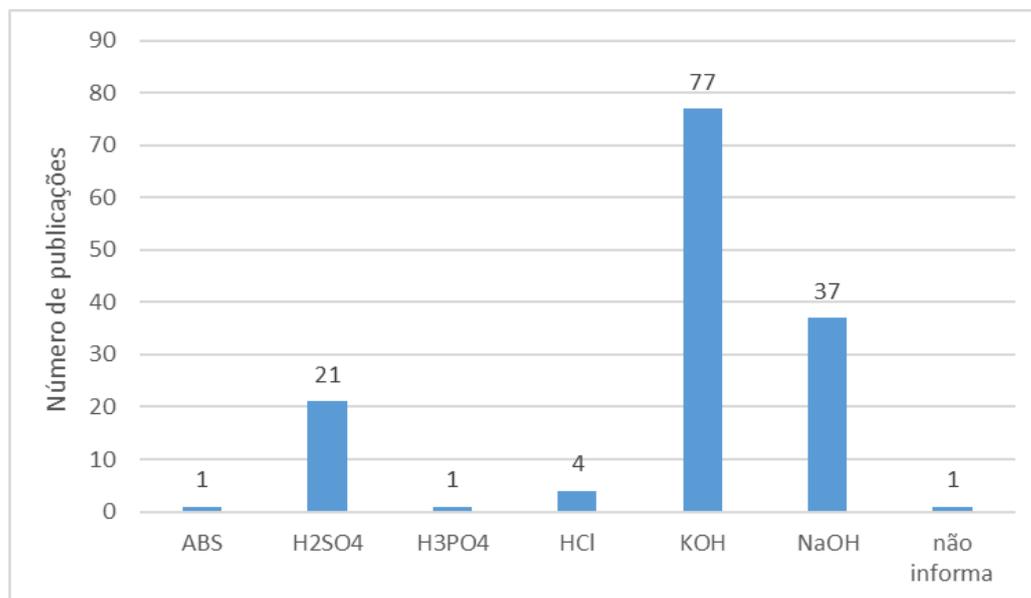


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

#### 4.5.1. Catalisadores homogêneos

Os catalisadores homogêneos podem ser ácidos ou básicos. Como consta na literatura, os mais utilizados são os de caráter básico. Dentre eles, o hidróxido de sódio (NaOH) é o que mais se destaca por necessitar de pequenas quantidades e por apresentar um bom rendimento a um baixo custo (BARROS, JARDINE, 2021b). É possível analisar que os catalisadores básicos estiveram presentes em 114 artigos, enquanto os ácidos, foram em, apenas, 27, conforme ilustrado na Figura 18. O hidróxido de potássio (KOH), entretanto, tem sido o catalisador homogêneo mais utilizado nas pesquisas, nos últimos cinco anos, sendo citado em 77 diferentes artigos, diferentemente da prevalência comumente relatada na literatura para o hidróxido de sódio, sendo o que mais apareceu, inclusive, em publicações brasileiras. O ácido 4-dodecilbenzeno sulfônico (ABS) e o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) estiveram presentes em, somente, uma publicação. Em um dos artigos relacionados, não houve a especificação do catalisador homogêneo utilizado.

Figura 18 - Catalisadores homogêneos mais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.



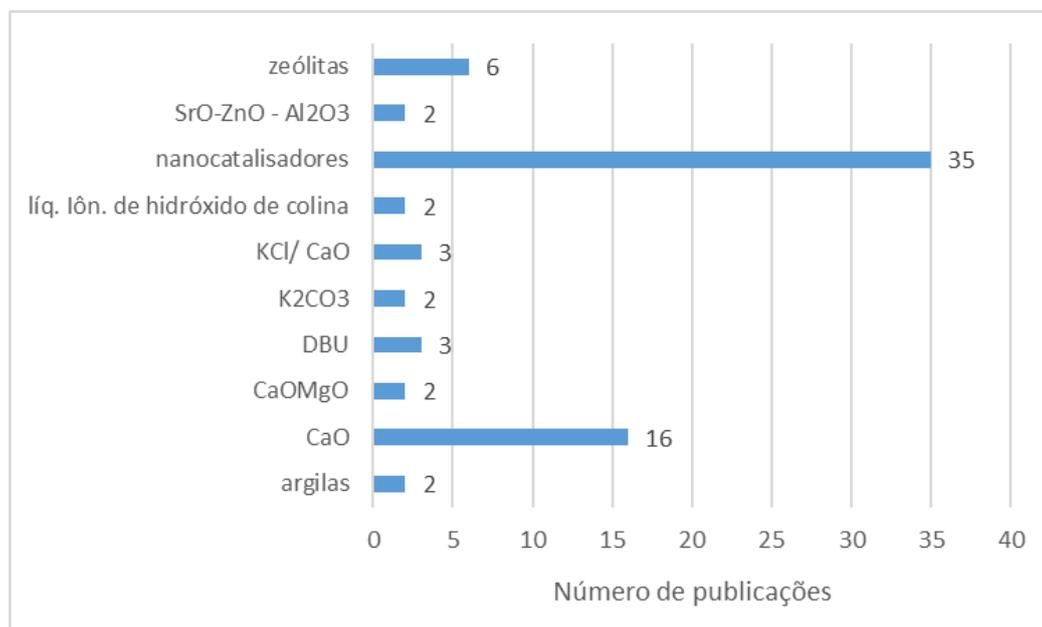
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

#### 4.5.2. Catalisadores heterogêneos

A maior quantidade e, também, a maior variabilidade de catalisadores utilizados nas reações de transesterificação abordadas nos artigos foram de catalisadores heterogêneos. Isso é devido a grande diversidade de materiais que podem ser utilizados como catalisadores, a exemplo de cascas de ovo, sabugo de milho, resíduos, zeólita e argilas.

O óxido de cálcio (CaO) foi o catalisador heterogêneo mais citado (16 artigos) nas reações de transesterificação descritas nos artigos. Ele é um catalisador com um caráter básico elevado, pouco solúvel em metanol e que apresenta um baixo custo de produção, quando sintetizados a partir do carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) ou como hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) (KOUZU, HIDAKA, 2012). Entretanto, os sítios ativos de CaO são envenenados da presença de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e ficam cobertos de água, na presença de umidade, inativando-o. Além de haver a lixiviação das suas partículas (GRANADOS et al, 2007). Por isso, ele deve ser utilizado com um suporte. O suporte vai aumentar a área superficial do catalisador, pois as partículas de óxido de cálcio ficarão dispersas em seus poros (ZABETI et al, 2009). O cloreto de potássio (KCl) e o óxido de magnésio (MgO) foram as combinações mais utilizadas, estando presente em três e em dois artigos, respectivamente. Os outros catalisadores com óxidos de cálcio suportados foram alocados em “outros” devido a sua grande variedade.

Figura 19 - Catalisadores heterogêneos mais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

1,8-diazabicyclo[5.4.0]undec-7-eno (DBU) é um solvente “verde” que apresenta, também, propriedades catalíticas. Esse solvente pode alternar entre as formas polar e apolar, além de possuir uma baixa toxicidade e uma alta eficiência de extração (DU *et al*, 2013), ao mesmo tempo que possui um caráter alcalino elevado e promove a solubilidade entre a fonte de triglicerídeos e o álcool (BAO *et al*, 2015). Por isso, ele tem sido eficiente nas reações de transesterificação (CHAMOLA *et al*, 2019).

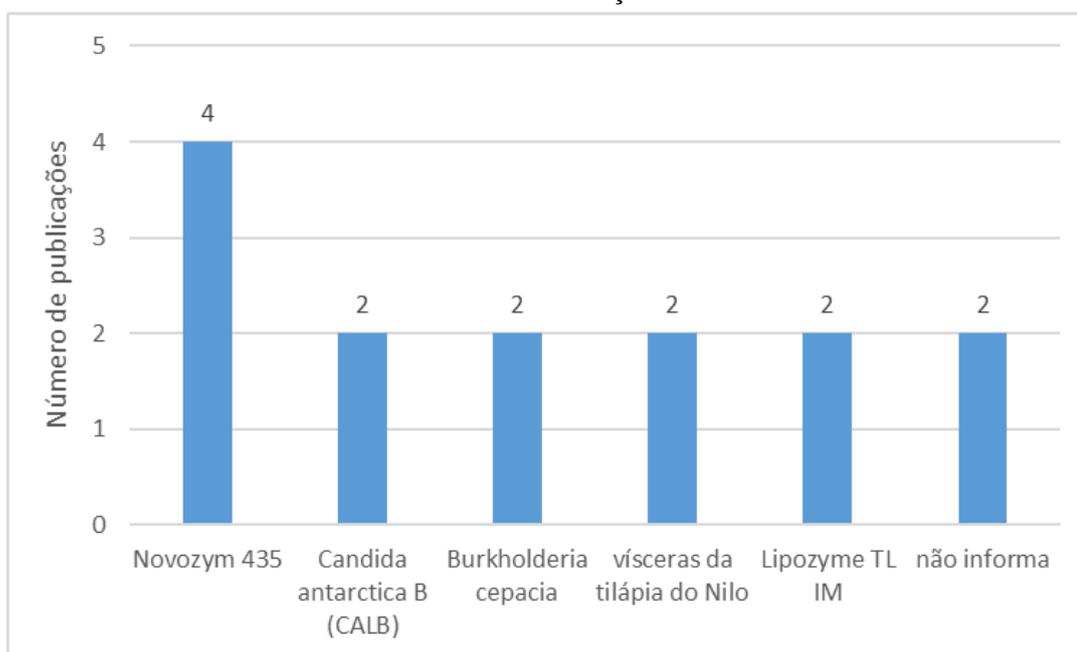
O hidróxido de colina é um líquido iônico “verde”. Os líquidos iônicos são compostos por cátions e por ânions que atuam como co-solventes e como catalisadores. Diferentemente dos líquidos iônicos antigos, as novas versões são biodegradáveis (PHROMPHITHAK *et al*, 2020). Além disso, apresentam facilidade no preparo, baixo custo, alta pureza, somada a uma baixa toxicidade, sendo assim, cotados para serem utilizados na produção de biodiesel (TROTER *et al*, 2016).

Os nanocatalisadores, além das zeólitas e das argilas, são uma classificação dos catalisadores heterogêneos. Os seu tamanho reduzido faz com que os níveis de energia não sejam evidentes e que eles consigam melhor envolver os materiais, os tornando únicos (RIBEIRO, SOUZA, 2011). Eles estão presentes em 35 publicações, apresentando uma grande variedade de catalisadores e, por isso, estão dispostos em uma única coluna, na Figura 19.

### 4.5.3. Catalisadores enzimáticos

As pesquisas sobre os catalisadores enzimáticos vêm evoluindo ao longo dos anos. Isso porque eles conseguem contornar as desvantagens apresentadas pelos catalisadores homogêneo e heterogêneo, os mais utilizados, como foi possível visualizar na Figura 17. As lipases mais testadas e relatadas nos artigos científicos estão dispostas na Figura 20.

Figura 20 - Catalisadores enzimáticos mais utilizados na produção de biodiesel via transesterificação.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023).

A lipase de *Candida antarctica B* (CALB) é uma das enzimas mais utilizadas na literatura. Isso acontece por elas serem estáveis, além de ser de fácil manuseio, devido a sua estrutura. Dentre os artigos que tratam sobre catalisadores enzimáticos, essa lipase esteve presente em dois deles, como indicado na Figura 20. A imobilização dessa enzima faz com que suas características sejam otimizadas. A CALB imobilizada é a lipase denominada de Novozym 435 (N435). Com isso, ela se torna uma enzima reutilizável, ativa, além de melhor desempenhar as atividades como bio-catalisador. A N435 é a lipase mais citada nos artigos obtidos nesta pesquisa, com quatro publicações (ORTIZ *et al*, 2019). Dois dos artigos estudados não informam a lipase utilizada.

## 5. CONCLUSÃO

Devido ao aquecimento global, provocado pela grande emissão de poluentes na atmosfera, e o uso disseminado de combustíveis não renováveis, fontes de energia “limpa” vêm sendo pesquisadas e testadas para substituir os combustíveis fósseis no mundo. O biodiesel é um dos biocombustíveis mais cotados para essa substituição por apresentar características semelhantes ao do diesel de petróleo, minimizando prejuízos em termos energéticos. Entretanto, o seu alto custo tem dificultado a sua popularização. Com isso, pesquisas estão sendo realizadas de forma a desenvolver rotas de produção com menor custo.

De forma a obter um panorama geral sobre como tem se desenvolvido, no mundo, as pesquisas a respeito da produção de biodiesel, mais especificamente, pelo método de transesterificação, foi realizada, no presente trabalho, uma análise bibliométrica sobre esse tema, com base nos artigos publicados nos últimos cinco anos. A presente pesquisa permitiu constatar que tem sido grande o interesse por essa rota tecnológica. A busca por matérias primas que sejam mais viáveis econômica e ambientalmente tem se intensificado por todo o mundo. Dentre os 67 países que tem realizado pesquisas sobre o tema, destacam-se a Índia e a China, sendo National Institute of Technology a instituição de pesquisa com maior número de publicações. O Brasil é um dos países que se destacam no desenvolvimento de pesquisas sobre este biocombustível. Ele está entre os dez países que mais fazem pesquisas sobre a reação de transesterificação para a produção de biodiesel, na frente, inclusive de países como os Estados Unidos da América e da Indonésia, grandes produtores de biodiesel no mundo.

As três principais áreas de estudo que mais se interessam por esse tema são de Combustíveis, de Engenharia e de Química. São áreas que conseguem unir o grande conhecimento específico sobre o biodiesel e suas rotas tecnológicas e o ramo de fontes de energia. Esses e outros conhecimentos levaram a experimentos com várias matérias primas e com diversos catalisadores a fim de desenvolver processos que promovam a transesterificação com alto rendimento a um baixo custo.

Através do artigos disponíveis pela base de dados *Web of Science*, foi possível identificar as fontes de triglicerídeos, os agentes transesterificantes e os tipos de catalisadores mais utilizados. Dentre os resultados obtidos com a pesquisa, identificou-se que os óleos vegetais ainda são o principal tipo de fonte de triglicerídeos utilizados nas reações de transesterificação para produção do biodiesel, com o destaque para os óleos de cozinha residuais. Dessa forma, é possível reduzir o decarte inadequado dessa matéria-prima e

reaproveitá-la como fonte lipídica. O agente transesterificante, ou álcool, mais utilizado ainda tem sido o metanol, por apresentar um bom rendimento e por ser um álcool de baixo custo. No que diz respeito aos catalisadores, mesmo os alcalinos sendo os que apresentam um melhor rendimento, (destacando-se o hidróxido de potássio), são os catalisadores heterogêneos que têm sido alvo de mais investigações. O óxido de cálcio tem sido testado de diversas formas para melhor desempenhar a função de catalisador. Vale ressaltar a importância dos catalisadores enzimáticos e dos nanocatalisadores, que também têm sido alvo de muitas pesquisas nos últimos cinco anos.

Os maiores produtores de biodiesel do mundo, mesmo a maioria possuindo mais de oito artigos publicados, não são os maiores pesquisadores sobre novas formas de obtenção de biodiesel. Estados Unidos, Brasil, Indonésia, China e Alemanha poderiam ser os maiores pesquisadores nessa área por melhor conhecerem sobre o processo de produção desse biocombustível, já que sabem das dificuldades envolvidas. As publicações do Brasil, inclusive, tratam, em sua maioria, de pesquisas com os mesmos reagentes que mais utiliza diariamente, óleo de soja e metanol.

O Brasil é o maior produtor de soja e o segundo maior produtor de etanol do mundo. Graças a isso, há uma tendência de o óleo de soja ser a principal matéria prima para a produção de biodiesel via transesterificação, juntamente com o etanol. Entretanto, não é o que acontece nas pesquisas. O óleo de soja esteve presente em um maior número de artigos, mas foi o metanol, derivado de petróleo, que foi o foco das publicações brasileiras, contrariando o que é esperado na produção de um biocombustível sustentável, principalmente de um grande produtor de um álcool de origem biodegradável.

Foi possível perceber no estudo realizado que a produção de biodiesel ainda não é totalmente livre de matérias-primas não renováveis. A fonte de triglicerídeos e o catalisador presentes em um maior número de publicações são provenientes de resíduos, seja de óleo de cozinha ou de cascas de ovos, por exemplo, podendo haver o reaproveitamento. No entanto, o álcool mais utilizado é derivado do petróleo, um insumo de origem fóssil, tornando o biocombustível produzido ainda dependente de fontes não renováveis. Mais pesquisas ainda devem ser realizadas com o objetivo de substituir o agente transesterificante, para assim tornar o biodiesel produzido uma fonte de energia integralmente “limpa”.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOMOHR, A. E.; ZHENG, X.; WANG, Q.; HUANG, J.; EBAID, R.. Enhancement of biodiesel yield and characteristics through in-situ solvo-thermal co-transesterification of wet microalgae with spent coffee grounds. **Bioresource Technology**, v. 323, p. 126-640, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel#:~:text=A%20obrigatoriedade%20veio%20no%20artigo,em%20to do%20o%20territ%C3%B3rio%20nacional](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel#:~:text=A%20obrigatoriedade%20veio%20no%20artigo,em%20to do%20o%20territ%C3%B3rio%20nacional). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

AHMAD, M. I.; SENUSI, W.; BINHWEEL, F.; ALSAADI, S.. Optimization of base catalytic transesterification toward maximum biodiesel yield from *Azolla filiculoides* macroalgae feedstock. **Industrial Crops & Products**, v. 197, p. 115-590, 2023.

ALBUQUERQUE, D. **Os 10 maiores produtores de petróleo do mundo** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://socioficial.com.br/maiores-produtores-de-petroleo-do-mundo/](https://socioficial.com.br/maiores-produtores-de-petroleo-do-mundo/). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

AL-HAMAMRE, Z. FOERSTER, S.; HARTMANN, F.; KRÖGER, M.; KALTSCHMITT, M.. Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. **Fuel**, v. 96, p. 70-76, 2012.

ALVES, L. A.. **Reação de Saponificação** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://brasilecola.uol.com.br/quimica/reacao-saponificacao.htm](https://brasilecola.uol.com.br/quimica/reacao-saponificacao.htm). Arquivo capturado em 02 de setembro de 2023.

ASSOCIATED PRESS. **COP 27: o que ficou de dentro e o que ficou de fora do acordo** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://g1.globo.com/meio-ambiente/cop-27/noticia/2022/11/20/cop-27-o-que-ficou-de-dentro-e-o-que-ficou-de-fora-do-acordo.ghtml](https://g1.globo.com/meio-ambiente/cop-27/noticia/2022/11/20/cop-27-o-que-ficou-de-dentro-e-o-que-ficou-de-fora-do-acordo.ghtml). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

ATTAPHONG C.; MORAWAN, N.; SARIKPRUECK, P.; CHAROENSAENG, A.; KHAODHIAR, S.. Phase stability, fuel properties, and diesel engine performance of palm-oil-based microemulsion biofuels. **AOCS**, v. 23, p. 335-344, 2023.

BALDEV, E.; MUBARAK ALI, D.; ARIVALAGAN, P.; NOORUDDIN, T.. Wastewater as an economical and ecofriendly green medium for microalgal biofuel production. **Fuel**, v. 294, p. 120-484, 2021.

BAO, J.; LIU, Y.; PARNAS, R.; LIANG, B.; LU, H.. Inter-solubility of product systems in biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil with switchable solvent DBU/ methanol. **RSC Adv.**, v. 5, p. 8311-8317, 2015.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G.. **Craqueamento** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/craqueamento](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/craqueamento). Arquivo capturado em 14 de maio de 2023.(a)

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G.. **Transesterificação** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/transesterificacao](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/transesterificacao). Arquivo capturado em 02 de setembro de 2023.(b)

BASTOS, R. R. C.; CORRÊA, A. P. da L.; LUZ, P. T. S. da; FILHO, G. N. da R.; ZAMIAN, J. R.; CONCEIÇÃO, L. R. V. da.. Optimization of biodiesel production using sulfonated carbon-based catalyst from an amazona agro-industrial waste. **Energy Conversion and Management**, v. 205, p. 112-457, 2020.

BERNARDO, J. da S.; JUNIOR, W. P de O.; FAGUNDES, F. P.. Otimização das variáveis reacionais no processo de obtenção do biodiesel de soja. **Revista Tecnologia & Informação**, v. 2, n. 1, p. 7-17, nov. 2014/ fev. 2015.

BIBIOTECA COMUNITÁRIA UFSCar. **Web of Science** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.bco.ufscar.br/servicos-informacoes/web-of-science](https://www.bco.ufscar.br/servicos-informacoes/web-of-science). Arquivo capturado em 05 de novembro de 2023.

BIODIESEL BRASIL. **Soja: a principal matéria-prima do biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://biodieselbrasil.com.br/soja-a-principal-materia-prima-do-biodiesel/](https://biodieselbrasil.com.br/soja-a-principal-materia-prima-do-biodiesel/). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

BIODIESELBR.COM. **Matéria-Prima para Biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.biodieselbr.com/plantas/oleaginosas/index](https://www.biodieselbr.com/plantas/oleaginosas/index). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023. (a)

BIODIESELBR.COM. **Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.biodieselbr.com/biodiesel/especificacoes/biodiesel-propriedades-fisicas-quimicas#:~:text=N%C3%BAmero%20de%20Cetano&text=O%20%C3%ADndice%20de%20cetano%20m%C3%A9dio,o%20pr%C3%B3prio%20%C3%B3leo%20diesel%20mineral](https://www.biodieselbr.com/biodiesel/especificacoes/biodiesel-propriedades-fisicas-quimicas#:~:text=N%C3%BAmero%20de%20Cetano&text=O%20%C3%ADndice%20de%20cetano%20m%C3%A9dio,o%20pr%C3%B3prio%20%C3%B3leo%20diesel%20mineral). Arquivo capturado em 26 de abril de 2023. (b)

BOLI, E.; SAVVIDOU, M.; LOGOTHETIS, D.; LOULI, V.; PAPPA, G.; VOUTSAS.. Magnetic harvesting of marine algae *Nannochloropsis* oceânica. **Separation Science and Technology**, v. 56, p. 730-737, 2021.

BUFREM, L.; PRATES, Y.. O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação. **Ciência da Informação**, v. 34, n. 2, p.9-25, 2005.

CASTRO, R. M. L. de. **Emulsão: Uma Revisão Bibliográfica**. 2014. 58 f. Monografia (Bacharel em Farmácia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2014.

CHAMOLA, R.; KHAN, M. F.; RAJ, A.; VERMA, M.; JAIN, S.. Response surface methodology based optimization of in situ transesterification of dry algae with methanol, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaOH. **Fuel**, v. 239, p. 511-520, 2019.

CHOZHAVENDHAN, S.; SINGH, M. V. P.; FRANSILA, B.; KUMAR, R. P.; DEVI, G. K.. A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 1-2, p. 1-6, 2020.

CORDEIRO, M. P.. Bibliometria e análise de redes sociais: possibilidades metodológicas para a psicologia social da ciência. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 2, n. 1, p. 23-33, 2009.

COSTA, L.. **Entenda o que são bases de dados e portais periódicos, e a importância deles para sua formação acadêmica** [on line]. Disponível na internet via [www.url](http://www.url): Entenda o que são bases de dados e portais de periódicos e a importância deles para sua formação acadêmica - Biblioteca Unifor. Arquivo capturado em 05 de novembro de 2023.

CRUZ, J. C. **Evolução tecnológica das rotas de gaseificação e pirólise de materiais lignocelulósicos: um estudo bibliométrico**. 2012. 113f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

DAI, X. H.. The current state and consideration on urban sewage sludge disposal in China. **Water Wastewater Eng.**, v. 38, n. 2, p. 1-5, 2012.

DAMIANI, J.. **Soja e seus derivados** [on line]. Disponível na internet via [www.url](http://www.url): [https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2023/02/13/soja-e-seus-derivados#:~:text=A1%C3%A9m%20destes%2C%20existe%20a%20farinha,soja\)%2C%20okara%20e%20endamme](https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2023/02/13/soja-e-seus-derivados#:~:text=A1%C3%A9m%20destes%2C%20existe%20a%20farinha,soja)%2C%20okara%20e%20endamme). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

DIAS, C. da S.. **Estudo da obtenção e emissões gasosas de microemulsões combustíveis de óleo de babaçu**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA, Brasil, 2010.

DU, Y.; SCHUUR, B.; SAMORÌ, C.; TAGLIAVINI, E.; BRILMAN, D. W. F.. Secondary amines as switchable solvents for lipid extraction from non-broken microalgae. **Bioresour. Technol.**, v. 149, p. 253-260, 2013.

EGESA, D.; PLUCINSKI, P.. Efficient extraction of lipids from magnetically separated microalgae using ionic liquids and their transesterification to biodiesel. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Mudanças climáticas e Transição energética** [on line]. Disponível na internet via [www.url](http://www.url): <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia#:~:text=Os%20principais%20GEE%20emitidos%20na,em%20maior%20volume%20nessas%20emiss%C3%B5es>. Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

Enhancement of biodiesel yield and characteristics through in-situ solvo-thermal co-transesterification of wet microalgae with spent coffee grounds. **Bioresource Technology**, v. 323, p.1-11, 2021.

FACCINI, C. S.. **Uso de adsorventes na purificação de biodiesel de óleo de soja**. 2008. 68f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil, 2008.

FERRARI, A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel from soybean: characterization and consumption in energy generator. **Química Nova**, v. 28, p. 19-23, 2005.

FRANCO, A. L. C. LÔBO, I. P.; CRUZ, R. S. de; TEIXEIRA, C. M. L. L.; NETO, J. A. A.; MENEZES, R. S.. **Biodiesel de microalgas: avanços e desafios** [on line]. Química Nova, v. 36. N. 3, p. 437-448, 2013. Disponível na internet via [www.url](http://www.url): <https://www.scielo.br/j/qn/a/tgQT4yYWsDmdJJ7J86Y49JL/?lang=pt#>. Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

GAMBA, M.. **Produção de Biodiesel através de Catálise Enzimática em Líquido Iônico**. 2009. 55 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil, 2009.

GERIS, R.; SANTOS, N. A. C. dos; AMARAL, B. A.; MAIA, I. de S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M.. Biodiesel de soja – Reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**. v. 30, n. 5, p. 1369-1373, 2007.

GERPEN, J. V.; KNOTHE, G.. Produção de Biodiesel – Princípios da Reação de Transesterificação. In: KNOTHE, G.; KRAHI, J.; GERPEN, J. V.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**, chap. 4, Editora Bluncher, 2006. p. 24-45. (c)

GRANADOS, M. L.; POVES, M. D. Z.; ALONSO, D. M.. Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 73, n. 3-4, p. 317-326, 2007.

HATAMI, B.; EBRAHIMI, A.; EHRAMPOUSH, M. H.; SALMANI, M. H.; DALVAND, A.; PIRMORADI, N.; ANGELIDAKI, I.; FOTIDIS, I. A.; MOKHTARI, M.. Recovery of intermittent cycle extended aeration system sludge through conversion into biodiesel by in-situ transesterification. **Renewable Energy**, v. 163, p. 56-65, 2021.

HUSSAIN, F.; ALSHAHRANI, S.; ABBAS, M. M.; KHAN, H. M.; JAMIL, A.; YAQOOB, H.; SOUDAGAR, M. E. M.; IMRAN, M.; AHMAD, M.; MUNIR, M.. Waste Animal Bones as Catalysts for Biodiesel Production; A Mini Review. **Catalysts**, v. 11, n. 630, p. 1-15, 2021.

ÍÑIGUEZ, L.; MUÑOZ, J.; PEÑARANDA, M. C.; MARTINEZ, L. M.. La psicología social en España: estructuras de comunidades. **REDES – revista hispana para el análisis de redes sociales**, v. 10, n. 3, p. 1- 23, 2006.

ÍÑIGUEZ-RUEDA, L.; MARTINEZ-MARTINEZ, L. M.; MUÑOZ-JUSTICIA, J. M.; PEÑARANDA-COLERA, M. C.; SAHÚN-PADILLA, M. A.; ALVARADO, J. G.. The Mapping of Spanish Social Psychology through its conferences: a bibliometric perspective. **The Spanish Journal of Psychology**, v. 11, n. 1, p. 137-158, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 Emissions in 2022** [on line]. Disponível na internet via [www.url](http://www.url): <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>. Arquivo capturado em 25 de março de 2023.(b)

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook – Sumário Executivo** [on line]. 2021. Disponível na internet via [www.url](http://www.url): [https://iea.blob.core.windows.net/assets/3e47fbf0-312d-4eae-9eb7-6d72af3434b5/WEO2021\\_ES\\_BrazilianPortuguese.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/3e47fbf0-312d-4eae-9eb7-6d72af3434b5/WEO2021_ES_BrazilianPortuguese.pdf). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.(a)

JÚNIOR, F. “**Série Energia**”: **Mais de 80% da matriz energética vêm de recursos fósseis** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-mais-de-80-da-matriz-energetica-vem-de-recursos-fosseis/](https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-mais-de-80-da-matriz-energetica-vem-de-recursos-fosseis/). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

KHAN ACADEMY. **Tipos de catalisadores** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/chem-kinetics/arrhenius-equation/a/types-of-catalysts#:~:text=Um%20catalisador%20%C3%A9%20uma%20subst%C3%A2ncia,ou%20mudan%C3%A7a%20do%20seu%20mecanismo](https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/chem-kinetics/arrhenius-equation/a/types-of-catalysts#:~:text=Um%20catalisador%20%C3%A9%20uma%20subst%C3%A2ncia,ou%20mudan%C3%A7a%20do%20seu%20mecanismo.). Arquivo capturado em 02 de setembro de 2023.

KHAN, Z.; JAVED, F.; SHAMAIR, Z.; HAFEEZ, A.; FAZAL, T.; ASLAM, A.; ZIMMERMAN, W. B.; REHMAN, F.. Current developments in esterification reaction: A review on process and parameters. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. v. 103, p. 80-101, 2021.

KNOTHE, G.. A História dos Combustíveis Derivados de Óleos Vegetais. In: KNOTHE, G.; KRAHI, J.; GERPEN, J. V.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**, chap. 2, Editora Bluncher, 2006. p. 5-18. (a)

KNOTHE, G.. Introdução. In: KNOTHE, G.; KRAHI, J.; GERPEN, J. V.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**, chap. 1, Editora Bluncher, 2006. p. 1-3. (b)

KOUZU, M.; HIDAKA, J.. Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: A review. **Fuel**, v. 93, p. 1-12, 2012.

KROISS, H.. What is the potential for utilizing the resources in sludge? **Water Sci Technol J Int Assoc Water Pollut Res**, v. 49, n. 10, p. 1-10, 2004.

LENG, L.; YUAN, X.; ZENG, G.; WANG, H.; HUANG, H.; CHEN, X.. The comparison of oxidative thermokinetics between emulsion and microemulsion diesel fuel. **Energy Conversion and Management**, v. 101, p. 364-370, 2015.

LI, X.; LIU, B.; LAO, Y.; WAN, P.; MAO, X.; CHEN, F.. Efficient magnetic harvesting of microalgae enabled by surface-initiated formation of iron nanoparticles. **Chemical Engineering Journal**, v. 408, p. 127-252, 2021.

LIMA, C. C.. **Análise Bibliométrica do Emprego de Microalgas na Produção de Biodiesel**. 2021.64 f. Monografia (Bacharelado em Química Industrial), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil, 2021.

LINIERS, M. C. R.. **Bibliometría y ciencias sociales** [on line]. Disponível na internet via [www.url: http://clio.rediris.es/clionet/articulos/bibliometria.htm](http://clio.rediris.es/clionet/articulos/bibliometria.htm).. Arquivo capturado em 06 de novembro de 2023.

MA, X.; GAO, M.; GAO, Z.; WANG, J.; ZHANG, M.; MA, Y.; WANG, Q.. Past, current, and future research on microalga-derived biodiesel: a critical review and bibliometric analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 11, p. 10596-10610.

MAFRA, E.. **Dia Internacional do Biodiesel: como o sustentável biocombustível é produzido** [on line]. Disponível na internet via [www.url:https://forbes.com.br/forbesagro/2022/08/dia-internacional-do-biodiesel-como-o-sustentavel-biocombustivel-e-produzido/](http://www.url:https://forbes.com.br/forbesagro/2022/08/dia-internacional-do-biodiesel-como-o-sustentavel-biocombustivel-e-produzido/). Arquivo capturado em 07 de novembro de 2023.

MAGALHÃES, L.. **Esterificação** [on line]. Disponível na internet via [www.url:https://www.todamateria.com.br/esterificacao/](http://www.url:https://www.todamateria.com.br/esterificacao/). Arquivo capturado em 14 de maio de 2023.  
MARX, S.. Glycerol-free biodiesel production through transesterification: a review. **Fuel Processing Technology**. v. 151, p. 139-147, 2016.

MANZONI, L. P.; BARROS, T. D.. **Matérias-primas** [on line]. Disponível na internet via [www.url:https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/socioeconomia/biodiesel/custos-e-rentabilidade/materias-primas](http://www.url:https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/socioeconomia/biodiesel/custos-e-rentabilidade/materias-primas). Arquivo capturado em 19 de novembro de 2023.

MATTOS, C. V. L. de. **Estudo da Correlação das Propriedades do Diesel, Biodiesel e suas Blendas com a Lubricidade** [on line]. 2012. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil, 2012. Disponível na internet via [www.url:https://lume.ufrgs.br/handle/10183/70940](http://www.url:https://lume.ufrgs.br/handle/10183/70940). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

MEHER,L.C.; DHARMAGADDA, V. S. S.; NAIK, S.N. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1392-1397, 2006.

MENEGHETTI, S. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C.. **A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url:https://qnint.s bq.org.br/qni/popup\\_visualizarConceito.php?idConceito=66&semFrame=1](http://www.url:https://qnint.s bq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=66&semFrame=1). Arquivo capturado em 02 de setembro de 2023.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO; SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA. **Biodiesel** [on line], Editora Ideal, Brasília, 2006. Disponível na internet via [www.url:http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cartilha\\_biodiesel.pdf](http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cartilha_biodiesel.pdf). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

MOURA, N. N.; DUTRA, R. B. C.; SOARES, I. P.. **Avaliação da estabilidade oxidativa do B100 com o uso de aditivos comerciais e extrativos** [on line]. In: III ENCONTRO DE

NASCIMENTO, L. L. do. **Soja: alimentação e saúde e novos usos** [on line]. Disponível na internet via [www.url:https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18123381/soja-alimentacao-e-saude-e-novos-usos#:~:text=A%20soja%20C3%A9%20tradicionalmente%20utilizada,t%C3%AAm%20fei to%20seu%20consumo%20crescer](http://www.url:https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18123381/soja-alimentacao-e-saude-e-novos-usos#:~:text=A%20soja%20C3%A9%20tradicionalmente%20utilizada,t%C3%AAm%20fei to%20seu%20consumo%20crescer). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

OKECHUKWUA, O. D.; JOSEPH, E.; NONSO, U. C.; KENECHI, N.. Improving heterogeneous catalysis for biodiesel production process. **Cleaner Chemical Engineering**. v. 3, p. 1-10, 2022.

OKU, S. H.. **Relações entre o preço do petróleo e das energias renováveis**. 2020. 88f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Petróleo), Universidade de São Paulo, Santos-SP, Brasil, 2020.

OLIVEIRA, A. G.; SCARPA, M. V.; CORREA, M. A.; CERA, L. F. R.; FORMARIZ, T. P.. Microemulsões: estrutura e aplicações como sistema de liberação de fármacos. **Química Nova**, v. 27, n. 1, p. 131-138, 2004.

OLIVEIRA, F. **Como é o processo de produção de biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.sustenare.com.br/como-e-o-processo-de-producao-de-biodiesel/](https://www.sustenare.com.br/como-e-o-processo-de-producao-de-biodiesel/). Arquivo capturado em 05 de novembro de 2023.

ONUKWULI, D. O.; UMEUZUEGBU, J. C.; UDE, C. N.; NWOBIOKOYE, C. C.. Homogeneous catalyzed transesterification of neem seed oil to biodiesel and its kinetic modeling. **In the Field**, v. 15, p. 392-403, 2021.

ORSI, H. M.. **Tecnologias de Produção de Biodiesel: Uma Revisão**. 2021. 46 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, 2021.

ORTIZ, C.; FERREIRA, M. L.; BARBOSA, O.; SANTOS, J. C. S. dos; RODRIGUES, R. C.; BERENQUER-MURCIA, A.; BRIAND, L. E.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.. Novozym 435: the “perfect” lipase immobilized biocatalyst?. **Catalysis Science & Technology**, v. 9, p. 2380-2420, 2019.

PALHA, M. L. A. P. F.; SILVA, S. P. R. da. **Potencial aproveitamento da glicerina gerada na cadeia produtiva do biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://ubrabio.com.br/2020/02/20/potencial-aproveitamento-da-glicerina-gerada-na-cadeia-produtiva-do-biodiesel/](https://ubrabio.com.br/2020/02/20/potencial-aproveitamento-da-glicerina-gerada-na-cadeia-produtiva-do-biodiesel/). Arquivo capturado em 23 de setembro.

PARK, J.; KIM, B.; SON, J.; LEE, J. W.. Solvo-thermal in situ transesterification of wet spent coffee grounds for the production of biodiesel. **Bioresour. Technol.**, v. 249, p. 494-500, 2018.

PATEL, R. L.; SANKHAVARA, C. D.. Investigation of performance and emissions of diesel engine run on biodiesel produced from karanja oil in a single-step transesterification process using heterogeneous catalyst (lithium-impregnated calcium oxide). **Biofuels**, v. 11, n. 4, p. 421-430, 2020.

PEREIRA, J.. **As mudanças climáticas** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/reducao\\_de\\_impactos2/clima/mudancas\\_climaticas2/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/). Arquivo capturado em 06 de novembro de 2023.

PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 3., 2016. Brasília. **Anais...** 2016, p. 196-202. Disponível na internet via [www.url: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151153/1/III-EnPI-2016-198-204.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151153/1/III-EnPI-2016-198-204.pdf). Arquivo capturado em 26 de abril de 2023.

PHIMSEN, S.; KIATKITTIPONG, W.; YAMADA, H.; TAGAWA, T.; KIATKITTIPONG, K.; LAOSIRIPOJANA, N.; ASSABUMRUNGRAT, S.. Oil extracted from spent coffee grounds for bio-hydrotreated diesel production. **Energy Convers. Manage**, v. 126, p. 1028-1036, 2016.

PHROMPHITHAK, S.; MEEPOWPAN, P.; SHIMPALEE, S.; TIPPAYAWONG, N.. Transesterification of palm oil into biodiesel using ChOH ionic liquid in a microwave heated continuous flow reactor. **Renewable Energy**, v. 154, p. 925-936, 2020.

PINTO, A. C.; GUARIEIRO, L. L. N.; REZENDE, M. J. C.; RIBEIRO, N. M.; TORRES, E. A.; LOPES, W. A.; PEREIRA, P. A. P.; ANDRADE, J. B.. Biodiesel: na overview. **Journal Brazilian Chemical Society**, v. 16, p. 1313-1330, 2005.

RACACZESKI, C. C.; ZANCANARO, D.; ALZANI, A.; FERREIRA, E. A. **Biodiesel, um combustível em expansão**. Synergismus scyentifica UTFPR, Pato Branco, v. 1, n. 1- 4, p. 324-330, 2006.

RAIZER, C. H.; ROZO, L. A.; PORTO, L. P.; VIEIRA, F. M.; MOCKAITIS, G.. **Produção de Biocombustíveis no Brasil: Vantagens e Desvantagens** [on line]. XXIX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, Campinas, Brasil, 2021. Disponível na internet via [www.url: https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2021P18896A36404O5277.pdf](https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2021P18896A36404O5277.pdf). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

RASHID, I. M.; ATIYA, M. A.; HAMEED, B. H.. Production of biodiesel from waste cooking oil using cao-egg shell waste derived heterogeneous catalyst. **Int. J. Sci. Res.**, v. 6, n. 11, p. 94-103, 2017.

RASOULI, H.; ESMAEILI, H.. Characterization of MgO nanocatalyst to produce biodiesel from goat fat using transesterification process. **Biotech**, v. 9, n. 429, p. 1-11, 2019.

RIBEIRO, N. F. P.; SOUZA, M. M. V. M.. **Nanocatálise: aspectos fundamentais e aplicações** [on line]. Disponível na internet via [www.url: http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-76542011000600010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542011000600010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt). Arquivo capturado em 12 de outubro de 2023.

ROICK, C.; TN, K. O.; DIANKANUA, N.; GORIMBO, J.. Non-edible feedstock for biodiesel production. In: INAMUDDIN, I.; AHAMDE, M. I.; BODDULA, R.; REZAKAZEMI, R. (eds). **Biodiesel Technology and Applications**, 1 ed., chap. 10, Scrivener Publishing, 2021.

RULKENS, W.; XU, G. R.; DIJK, L. V.. Sustainable and innovative production: a review, **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 61, p. 473-500, 2016.

RUPOLO, W. **Catalisadores Heterogêneos no Processo de Transesterificação para Produção de Biodiesel: Uma Revisão Sistemática**. 2022. 46 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química), Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu-SC, Brasil, 2022.

SECRETARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Brasil avança no setor de biocombustíveis** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/07/brasil-avanca-no-setor-de-biocombustiveis#:~:text=Os%20biocombust%20s%C3%A3o%20derivados%20de,%20e%20emiss%C3%A3o%20de%20poluentes..](https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/07/brasil-avanca-no-setor-de-biocombustiveis#:~:text=Os%20biocombust%20s%C3%A3o%20derivados%20de,%20e%20emiss%C3%A3o%20de%20poluentes..) Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL. **Governo oficializa ampliação da mistura de biodiesel no diesel vendido no país** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2023/03/governo-oficializa-ampliacao-da-mistura-de-biodiesel-no-diesel-vendido-no-pais](https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2023/03/governo-oficializa-ampliacao-da-mistura-de-biodiesel-no-diesel-vendido-no-pais). Arquivo capturado em 09 de maio de 2023.

SILVA, J. D. F. da; SILVA, Y. P. da; PIATNICKI, C. M. S.; BÖCKEL, W. J.; MENDONÇA, C. R. B.. Microemulsões: Componentes, características, potencialidades em química de alimentos e outras aplicações. **Química Nova**. v. 38, n. 9, p. 1196-1206, 2015.

SILVA, J. F. da R.; SILVA, L. S. de A.; SILVA, D. D. da; CONCEIÇÃO, M. M. da;

SOUZA, A. G. da; Otimização da síntese do biodiesel de girassol utilizando misturas de metanol e etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., 2015, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2015, p. 1-10.

SINGH, J.; GU, S.. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2596-2610, 2010.

SITEPU, I. R.; GARAY, L. A.; SESTRIC, R.. Oleaginous yeasts for biodiesel: current and future trends in biology and production. **Biotechnol Adv**, v. 32, n. 7, p. 1336-1360, 2014.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; CALMON, J. L.; CASTRO, L. O. C. O.. **Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science** [on line]. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 175-185, jan./ mar. 2016. Disponível na internet via [www.url: https://www.scielo.br/j/ac/a/7CmZ3n8FT8R5g93DkW5kzMJ/abstract/?lang=pt#](https://www.scielo.br/j/ac/a/7CmZ3n8FT8R5g93DkW5kzMJ/abstract/?lang=pt#). Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

SOLOMONS, G.; FRYHLE, C.. **Química Orgânica**, v. 2. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 474 p.  
solutions for sewage sludge management. **Water**, v. 3, n. 2, p. 702-717, 2011.

SPINOSA, L.; AYOL, A.; BAUDEZ, J. C.; CANZIANI, R.; JENICEK, P, LEONARD, A.; TIMES DE SUSTENTABILIDADE E COMUNICAÇÃO CORPORATIVA DA RAÍZEN. **Biocombustíveis: afinal, quais são as suas vantagens** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.raizen.com.br/blog/biocombustiveis](https://www.raizen.com.br/blog/biocombustiveis). Arquivo capturado em 05 de novembro de 2023.

TROTTER, D. Z.; TODOROVIC, Z. B.; DOKIC-STOJANOVIC, D. R.; STAMENKOVIC, O. S.; VELJKOVIC, V. B.. Application of ionic liquids and deep eutectic solvents in biodiesel

VANTI, N. A. P.. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.

VEDANA, U.. **As Desvantagens do Biodiesel** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2006/biodieseldesvantagens/#:~:text=Emiss%C3%B5es%20de%20NOx%3A%20De%20todas,do%20ar%20em%20S%C3%A3o%20Paulo.2006](https://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2006/biodieseldesvantagens/#:~:text=Emiss%C3%B5es%20de%20NOx%3A%20De%20todas,do%20ar%20em%20S%C3%A3o%20Paulo.2006). Arquivo capturado em 19 de abril de 2023.

VEIGA, E. **Em melhor cenário, temperatura global pode subir 1,5°C em duas décadas, diz IPCC** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/em-melhor-cenario-temperatura-global-pode-subir-1-5c-em-duas-decadas-diz-ipcc/](https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/em-melhor-cenario-temperatura-global-pode-subir-1-5c-em-duas-decadas-diz-ipcc/).

Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

VEILLETTE, M.; GIROIR-FENDLER, A.; FAUCHEUX, N.; HEITZ, M.. Esterification of free fatty acids with methanol to biodiesel using heterogeneous catalysts: From model acid oil to microalgae lipids. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, p. 101-109, 2017.

VERDÉLLO, A. **Mistura de biodiesel ao diesel passa a ser de 12% a partir de abril – Medida vai elevar em 2 centavos o preço para o consumidor** [on line]. Disponível na internet via [www.url: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-03/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-ser-de-12-partir-de-abril#:~:text=A%20mistura%20de%20biodiesel%20no,e%20%C3%A0%20sa%C3%BAde%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o](https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-03/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-ser-de-12-partir-de-abril#:~:text=A%20mistura%20de%20biodiesel%20no,e%20%C3%A0%20sa%C3%BAde%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o). Arquivo capturado em 09 de maio de 2023.

VIDAL, M. de F.. Agroindústria – Etanol. **Caderno Setorial ETENE**, n. 237, p. 1-16, 2022.

VIEIRA, J. S. C.; SOUSA, T. L.; ROSAS, L. S.; LIMA, A. L.; RONCONI, C. M.; MOTA, C. J. A.. Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais contendo alto teor de ácidos graxos livres. **Química Nova**, v. 41, n. 1, p. 10-16, 2018.

VIMALA, T.; SAMUNDESWARI, S.. Flame sensor implementation in distinct fields using cloud technology. **Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.**, v. 8, p. 357-367, 2018.

VINAYAKA, A. S.; MAHANTY, B.; ELDON, R. R.; BEHERA, S. K.. Biodiesel production by transesterification of a mixture of pongamia and neem oils. **Biofuels**, v. 12, n. 2, p. 187-195, 2021.

YANG, C. C.; HUNG, C. F.; CHEN, B. H.. 2017. Preparation of coffee oil-algae oil-based nanoemulsions and the study of their inhibition effect on UVA-induced skin damage in mice and melanoma cell growth. **Int. J. Nanomedicine**, v. 12, p. 6559-6580, 2017.

YOSHIDA, N. D.. Análise Bibliométrica: Um Estudo Aplicado à Previsão Tecnológica. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 2, n. 1, p. 52-84, 2010.

ZABETI, M.; DAUD, W. M. A. W.; AROUA, M. K.. Optimization of the activity of CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst for biodiesel production using response surface methodology. **Applied Catalysis A: General**, v. 366, n. 1, p. 154-159, 2009.

ZANATTA, P. **Entenda por que o preço do petróleo disparou com a guerra entre Ucrânia e Rússia** [on line]. Disponível na internet via [www.url:](https://www.cnnbrasil.com.br/economia/entenda-por-que-o-preco-do-petroleo-disparou-com-a-guerra-entre-ucrania-e-russia/)

<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/entenda-por-que-o-preco-do-petroleo-disparou-com-a-guerra-entre-ucrania-e-russia/>. Arquivo capturado em 25 de março de 2023.

ZHU, F.; DONG, Y.; WU, X.; QI, J.; WANG, J.; LIU, G.. Comparison of biodiesel yield of three processes using sewage sludge as feedstock and byproduct characteristics by in situ transesterification. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 21, p. 406-414, 2019.

ZHU, F.; WU, X.; ZHAO, L.; LIU, X.; QI, J.; WANG, X.; WANG, J.. Lipid profiling in sewage sludge. **Water Research**, v. 116, p. 149-158, 2017.