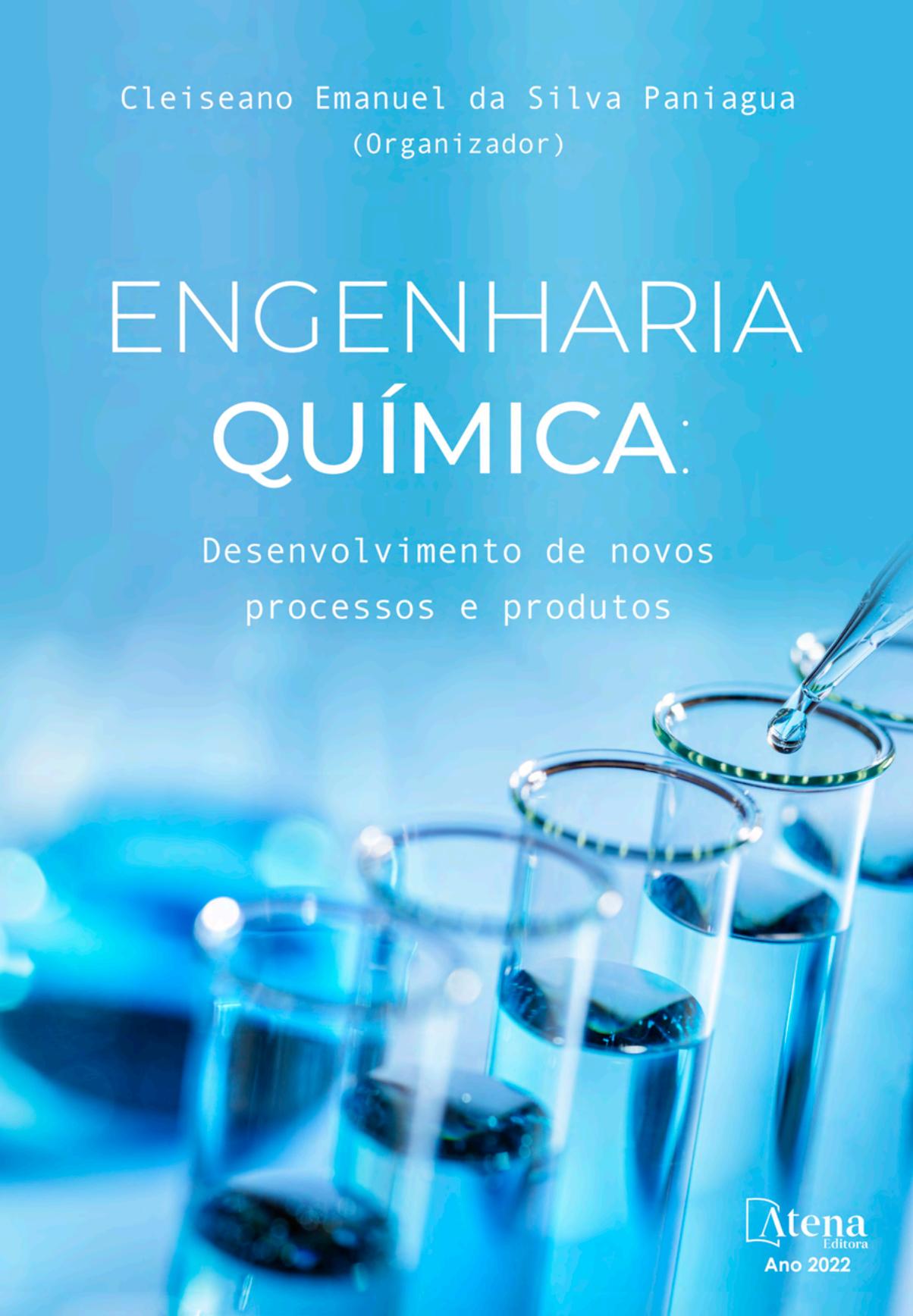


Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



Atena  
Editora  
Ano 2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0198-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.988221306>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos” é constituído por nove capítulos de livros que apresentaram estudos aplicados a diferentes segmentos industriais e ambientais.

O primeiro capítulo avaliou as propriedades e capacidade de escoabilidade de materiais pulverulentos a base de celulose e lactose na fabricação de medicamentos na forma de comprimidos ou cápsulas, os resultados foram satisfatórios e possibilita a substituição da lactose pela celulose. O segundo trabalho avaliou o processo de cavitação no canal do bico injetor ao se substituir o tipo de combustível em motores que operam a diesel, a viscosidade do combustível e a pressão de injeção foram os fatores que mais influenciaram na cavitação. O terceiro capítulo avaliou diferentes modificações químicas no óleo de soja refinado a partir da reação de inúmeras reações com o intuito de melhorar as características lubrificantes, obtendo-se um lubrificante biodegradável a partir do óleo de soja. O capítulo 4 apresenta o estudo da incorporação do extrato de frutos – cupuaçu – e do mesocarpo do coco de babaçu a fim de conferir atividade antioxidante para biofilmes com potencial utilização em biopolímeros.

O capítulo 5 realizou uma análise bibliográfica de catalisadores e suas propriedades que viabilizam reações de transesterificação heterogênea a fim de obter biocombustíveis. Já o capítulo 6 realizou um estudo apresentando a importância da Espectroscopia Raman como técnica de caracterização de óxidos com propriedades catalíticas. O capítulo 7 apresentou um estudo de desenvolvimento de uma planta pirolítica de baixo custo utilizando resíduos de colheita de Eucalipto como biomassa para a combustão. O capítulo 8 apresentou uma técnica de conversão integral de gás metano em gás carbônico em um reator de leito fixo. Por fim, o estudo de potencialidade de biorremediação utilizando a biomassa de *Chlorella Vulgaris* em processos de tratamento de águas residuárias.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE FLUXO DE MISTURAS DE EXCIPIENTES FARMACÊUTICOS**

Marlen Ussifati Rocha

Rodrigo Condotta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213061>

### **CAPÍTULO 2..... 11**

#### **AVALIAÇÃO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO EM INJETORES DO CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL: MODELAGEM E SIMULAÇÃO**

Luís Felipe Nunes Truta

Boniek Evangelista Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213062>

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **PREPARAÇÃO DE POTENCIAIS BIOLUBRIFICANTES A PARTIR DE MODIFICAÇÕES QUÍMICAS NO ÓLEO DE SOJA REFINADO**

Paulo Roberto de Oliveira

Ana Flávia de Oliveira

Patrick Rodrigues Batista

Carlos Itsuo Yamamoto

Francisco de Assis Marques

Palimécio Gimenes Guerrero Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213063>

### **CAPÍTULO 4..... 37**

#### **INFLUÊNCIA DO MESOCARPO DE COCO BABAÇU NA FORMAÇÃO DE BIOFILMES ADITIVADOS COM COMPOSTOS ANTIOXIDANTES – CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*)**

Meyrelle Figueiredo Lima

Dennys Correia da Silva

Audirene Amorim Santana

Harvey Alexander Villa Vélez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213064>

### **CAPÍTULO 5..... 44**

#### **CATALISADORES QUE VIABILIZAM A TRANSESTERIFICAÇÃO HETEROGÊNEA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA**

Priscila Pereira Silva

Thaina Firmino Voltolini

Evandro Roberto Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213065>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
ESPECTROSCOPIA RAMAN <i>IN SITU</i> OU OPERANDO NO ESTUDO DE REAÇÕES CATALISADAS POR ÓXIDOS	
Diego Rodrigues de Carvalho Rômulo Batista Vieira Luelc Souza da Costa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>74</b>
CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTA PIROLÍTICA DE BAIXO CUSTO EM ESCALA LABORATORIAL PARA PROCESSAMENTO TÉRMICO	
Victor Hugo Andreis Sebben Fabiano Perin Gasparin Lúcia Allebrandt da Silva Ries	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>86</b>
GENERALIZED INTEGRAL TRANSFORM TECHNIQUE APPLIED IN METHANE REFORMING PROCESS WITH CARBON DIOXIDE IN FIXED BED REACTOR	
Josiel Lobato Ferreira Emerson Cardoso Rodrigues Dilson Nazareno Pereira Cardoso Wenderson Gomes dos Santos Romero Moreira de Oliveira Bruno Maués Farias João Nazareno Nonato Quaresma Emanuel Negrão Macêdo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>106</b>
BIOREMEDIATION POTENTIAL OF <i>Chlorella vulgaris</i> (CHLOROPHYCEAE) IN CASSAVA-PROCESSING WASTEWATERS	
Verónica de Medeiros Carla Cristina Almeida Loures Conceição Fernandes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>112</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>113</b>

## CATALISADORES QUE VIABILIZAM A TRANSESTERIFICAÇÃO HETEROGÊNEA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

*Data de aceite: 01/06/2022*

*Data de submissão: 11/04/2022*

### **Priscila Pereira Silva**

Engenharia Química, Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro  
Uberaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/5638976958537764>

### **Thaina Firmino Voltolini**

Engenharia Química, Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro  
Uberaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/9309774371053781>

### **Evandro Roberto Alves**

Engenharia de Alimentos, Universidade Federal  
do Triângulo Mineiro  
Uberaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/7142325592005603>

**RESUMO:** Atualmente a obtenção de matrizes energéticas variadas é uma necessidade fundamental devido às instabilidades econômicas, sociais e climáticas, havendo grande demanda pela substituição dos recursos fósseis por fontes renováveis. O biodiesel é um combustível renovável que pode substituir o óleo diesel poluente derivado do petróleo, cuja obtenção é por meio da reação de transesterificação catalisada. A crescente demanda mundial por biodiesel resultou na necessidade da redução de custos de produção e o interesse de aprimorar sua cadeia produtiva, a fim de tornar todo o processo mais sustentável. Deste modo, a

procura por catalisadores heterogêneos mais eficientes e que possam ser reciclados após a catálise tem sido avaliada. Diversos compostos catalíticos ativos utilizados na transesterificação têm sido estudados, tais como zeólitas, resinas de troca iônica, bases orgânicas, hidróxidos duplos lamelares, óxidos e sais inorgânicos e também catalisadores obtidos por fontes naturais, como dolomita, casca de ovo e escamas de peixe. Parâmetros reacionais como tempo, temperatura, porcentagem de catalisador e rendimento foram analisados nesta revisão bibliográfica que avaliou dezessete trabalhos analisados, a fim de identificar as propriedades, aplicações e desempenho dos catalisadores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodiesel, biocombustíveis, catalisador, sustentabilidade.

### CATALYSTS THAT ENABLE HETEROGENEOUS TRANSESTERIFICATION: A LITERATURE REVIEW

**ABSTRACT:** Currently, obtaining varied energy matrices is a fundamental need due to economic, social and climatic instabilities, with a great demand for the replacement of fossil resources by renewable sources. Biodiesel is a renewable fuel that can replace the polluting diesel oil derived from petroleum, which is obtained through the catalyzed transesterification reaction. The growing worldwide demand for biodiesel resulted in the need to reduce production costs and the interest in improving its production chain, in order to make the entire process more sustainable. Thus, the search for more efficient

heterogeneous catalysts that can be recycled after catalysis has been evaluated. Several active catalytic compounds used in transesterification have been studied, such as zeolites, ion exchange resins, organic bases, lamellar double hydroxides, inorganic oxides and salts and also catalysts obtained from natural sources, such as dolomite, eggshell and fish scales. Reaction parameters such as time, temperature, percentage of catalyst and yield were analyzed in this bibliographical review that evaluated seventeen analyzed works, in order to identify the properties, applications and performance of the catalysts.

**KEYWORDS:** Biodiesel, biofuels, catalyst, sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

O consumo crescente de combustíveis fósseis aumenta a liberação de gases tóxicos gerados durante a sua combustão, causando impactos ambientais significativos como aquecimento o global, poluição do ar, chuva ácida, dentre outros danos que prejudicam o meio ambiente e a saúde humana (VIEGAS; RAMOS; FERNANDES, 2018). A busca por biocombustíveis que amenizem esses impactos é relevante por preservar o planeta e melhorar a qualidade de vida (CORDEIRO et al., 2011). Além dos problemas ambientais, a instabilidade econômica apresentada no cenário atual levou ao aumento do preço do petróleo bruto e a dependência do dólar impactou diretamente o custo dos combustíveis fósseis, afetando serviços que utilizam essa fonte de energia, tais como os fretes, que tiveram reajustes significativos desde o início da pandemia ocasionada pelo Covid-19 (FERREIRA; VIEIRA, 2019). O biodiesel é um produto biodegradável derivado de biomassa renovável que não apresenta toxicidade e pode ser utilizado em motores a diesel, sendo considerado um substituto eficiente para o diesel derivado do petróleo. A substituição reduz os índices de gases tóxicos produzidos durante a combustão como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e materiais particulados (RAMOS et al., 2008).

O biodiesel pode ser obtido por meio da reação de transesterificação, também denominada de alcoólise, ou pela esterificação de ácidos graxos livres, utilizando um catalisador homogêneo ou heterogêneo, o qual pode ser ácido, básico ou enzimático. A transesterificação ocorre na presença de um catalisador, triglicerídeos (óleos vegetais ou animais) com um álcool de cadeia simples (metanol ou etanol). Os produtos da reação são o éster (biodiesel) e o glicerol. A via mais comum de obtenção do biodiesel industrial é a transesterificação catalítica homogênea alcalina utilizando hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) ou hidróxido de potássio ( $\text{KOH}$ ) como catalisador. Sua viabilidade depende de baixos teores de ácidos graxos livres no óleo utilizado, a fim de evitar o consumo do catalisador e de baixa umidade no material graxo. Entretanto, a maior dificuldade do processo homogêneo é a etapa de purificação do biodiesel, em função dos monoésteres e da glicerina estarem contaminados com sais e sabões e também devido ao catalisador estar na mesma fase líquida da solução. O catalisador deve ser neutralizado para ser descartado de forma adequada. Todas essas etapas envolvem várias operações unitárias que encarecem o

custo de produção (CORDEIRO et al, 2011).

Os catalisadores heterogêneos não são corrosivos e apresentam vantagens como menor dificuldade de descarte no meio ambiente, facilidade de serem separados do produto final em comparação com catalisadores líquidos, proporciona maior rentabilidade ao processo reacional e, em alguns casos, possuem maior vida útil em relação aos homogêneos (LIU et al, 2008). Diante destas considerações, diversas pesquisas sobre o uso de catalisadores heterogêneos objetivando a transesterificação em escala industrial mais eficiente, econômica e ambientalmente correta têm sido realizadas. A natureza dos sítios ácidos ou básicos presentes nestes sólidos possibilitam sua atividade catalítica o que vai determinar seu potencial como catalisador (CORDEIRO et al, 2011). Desta maneira, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os seguintes catalisadores heterogêneos: zeólitas, resinas de troca iônica, bases orgânicas, hidróxidos duplos lamelares, óxidos e sais inorgânicos e catalisadores obtidos por fontes naturais. A análise dos parâmetros reacionais foi importante para determinação das condições de operação e possibilidade de replicação, e foi realizada uma proposta experimental dando continuidade nas pesquisas sobre esse tema.

## 2 | METODOLOGIA

Nesta revisão bibliográfica foram selecionados artigos científicos e teses publicadas em periódicos, totalizando 17 trabalhos, a partir da busca no banco de dados do Google Acadêmico do período entre 2008 e 2021. Estes trabalhos se referem aos diversos tipos de potenciais catalisadores utilizados em reações de transesterificação, levando em consideração a temperatura, o tempo reacional, a razão molar (RM) de metanol e óleo, a agitação do sistema, a porcentagem de catalisador em relação ao peso do óleo e a avaliação de seus rendimentos. Assim, foi possível comparar a influência dos catalisadores estudados na obtenção do biodiesel e a viabilidade de produção industrial, levando em consideração a duração do processo e os custos envolvidos.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de uma análise dos artigos publicados sobre a reação de produção do biodiesel via heterogênea foi possível identificar as principais estruturas catalíticas testadas. São elas: zeólitas, resinas de troca iônica, bases orgânicas, hidrotalcitas, óxidos e sais inorgânicos e catalisadores obtidos a partir de fontes naturais como a casca de ovo e escama de peixe.

### **Zeólitas**

As zeólitas são um grupo de minerais que apresentam adsorção reversível de água e possuem capacidade de troca iônica. São aluminossilicatos hidratados naturais e sintéticos de estrutura tridimensional, cuja composição é de átomos de silício e alumínio ligados

por átomos de oxigênio dispostos em unidades tetraédricas de silício-oxigênio ( $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ) e tetraedros de alumínio-oxigênio ( $[\text{AlO}_4]^{5-}$ ) arranjados em uma estrutura cristalina (SOUZA, 2018). No entanto, o termo zeólitas vem sendo empregado para qualquer estrutura tridimensional que possui átomos tetraedricamente coordenados (átomos T) uns aos outros através de átomos de oxigênio compartilhados, onde o limite de densidade estrutural seja inferior a 21 átomos T por 1000 Å (CORDEIRO et al, 2011). As zeólitas normalmente são sintetizadas na forma sódica a partir da reação de sais, como  $\text{Na}^+$  e uma fração desses cátions na estrutura final funcionarão como cátions de compensação. A referida estrutura apresenta acidez de Bronsted e Lowry e acidez de Lewis, sendo que a quantidade de sítios ácidos está relacionada à razão Si:Al. Quanto mais Al estiver presente na estrutura e maior a quantidade de cátions de compensação, maior será o número de sítios ácidos, sendo que estes conferem o efeito catalítico ao mineral (MORENO; RAJAGOPAL, 2009). Além disso, esses materiais são frequentemente utilizadas em processos industriais que envolvam catálise ácida, como catalisador ácido heterogêneo em reações de transesterificação a partir de óleos vegetais (CARDOSO et al, 2020). Seus sítios básicos ocorrem devido a ponte  $\text{Si}(\text{OH})\text{Al}$  e a permuta de hidrogênios por metais alcalinos e/ou alcalino-terrosos. Para se intensificar os sítios catalíticos básicos utiliza-se a impregnação de óxidos desses metais alcalinos e alcalino-terrosos (CORDEIRO et al, 2011).

A zeólita Ba/USY que é impregnada com Ba foi estudada na reação de transesterificação etílica do óleo de soja refinado para a produção de biodiesel fornecendo rendimentos superiores a 97%. As reações ocorreram em um reator de aço inoxidável de elevada pressão com controle de temperatura e agitação. A razão molar foi 30:1 (álcool:óleo) com 10% de catalisador durante 24 horas a 200°C com agitação de 1000 rpm. Ao se impregnar a mesma zeólita com Sr, Sr/USY, o catalisador apresentou três vezes menos de quantidade de sítios básicos comparados à de Ba/USY, reduzindo consideravelmente na sua conversão de triglicerídeos. Ambos os catalisadores recuperados não apresentaram redução das atividades catalíticas no reuso em outros ciclos reacionais, o que pode tornar as reações economicamente viáveis (GHESTI et al, 2012).

Rendimento de 95,1% foi obtido com um catalisador misto composto por 35% de zeólita NaX e 65% de bentonita sódica, empregado na metanólise do óleo de girassol, com RM (Razão molar) de 6:1 (álcool:óleo), 10% de catalisador em relação ao peso do óleo, temperatura de 65°C e intervalo de tempo de 7 horas. Esta atividade catalítica em função da troca iônica é devida à elevada concentração de sítios básicos fortes incorporados pelo Na, aumentando seu rendimento. Além de o sistema proporcionar elevados rendimentos, as propriedades físicas e químicas do biodiesel produzido como a acidez, o teor de água e a viscosidade cinemática satisfizeram os padrões europeus. (RAMOS et al, 2008).

## Resinas de troca iônica

Resinas de troca iônica são formadas por polímeros reticulados que podem assumir

caráter ácido ou básico, responsáveis por permutas catiônicas ou aniônicas com a solução de contato. São muito empregadas na catálise heterogênea (CARDOSO et al, 2020). Estas são matrizes poliméricas insolúveis, em que a capacidade trocadora de íons é devido às cargas fixas presentes no esqueleto polimérico, que podem ser positivas ou negativas. O método mais empregado para seu preparo é a síntese da matriz polimérica seguida da introdução dos grupos funcionais responsáveis pela troca iônica, como  $(-\text{SO}_3^-)$ ,  $(-\text{COO}^-)$  e  $(-\text{PO}_3^-)$  em resinas catiônicas e os grupos funcionais  $(-\text{NH}_3^+)$ ,  $(=\text{NH}_2^+)$  e  $(-\text{NR}_3^+)$  em resinas aniônicas (OLIVEIRA, 2010). Na aplicação de catálise heterogênea, principalmente em meios não polares, as resinas macroporosas são as mais utilizadas. Isto se deve ao fato de as resinas convencionais (microporosas) terem os sítios ativos inacessíveis aos reagentes, dificultando o processo da catálise, principalmente para triglicerídeos de alto peso molecular. Dentre as vantagens da utilização de resinas macroporosas, a boa resistência físico-química e a elevadas temperaturas, estabilidade à oxidação, facilidade de acesso a moléculas de grande peso molecular e pequena variação de volume na transição de um meio polar para o apolar são atrativas. Entretanto, as principais desvantagens são a menor capacidade de troca iônica, baixa eficiência e elevado custo de regeneração (REZENDE et al, 2005).

A resina de troca aniônica Indion 810 é macroporosa, fortemente básica e apresenta grupos funcionais de amônio quaternário em sua matriz composta por poliestireno, os quais conferem a basicidade. A transesterificação etílica do óleo de pongâmia não comestível foi realizada a 75°C em pressão atmosférica durante 1 hora. A razão molar foi 9:1 (etanol:óleo) e a mistura reacional continha 2% em peso de catalisador. Nessas circunstâncias o rendimento reacional foi de 85%, refletindo em um bom desempenho reacional (JAYA; SELVAN; VENNISON, 2015). Na sulfonação da resina é utilizado poli divinilbenzeno (DVB). As resinas macroporosas que foram sintetizadas com 100% de DVB e submetidas à reação de transesterificação sob refluxo com RM 100:1 (álcool:óleo) com 1g de resina em temperaturas que variam entre 63-65,8°C, foram observados rendimentos superiores a 90%, no entanto, resinas sintetizadas com quantidades inferiores de DVB apresentaram aglomerações com porosidade inferior, resultando em um menor rendimento (REZENDE et al, 2008).

Outra abordagem envolvendo resinas de troca iônica foi feita com as resinas aniônicas Amberlyst A26 e A27 e a resina catiônica Ameberlyst 15. As reações de transesterificação metílica foram estudadas em um reator de tanque agitado com um condensador de refluxo a 600 rpm, com RM 6:1 (álcool: óleo), com 1% de catalisador em relação ao peso do óleo, à pressão atmosférica e temperatura constante de 60°C, durante 8 horas. Sabe-se que a conversão aumenta com o tempo de reação e com a temperatura, porém temperaturas elevadas excedem o ponto de ebulição do  $\text{CH}_3\text{OH}$  e intervalos de tempos superiores tornaria a produção impraticável industrialmente. Nestas condições as resinas Amberlyst A26 e A27 obtiveram rendimentos de apenas 0,1% e 0,4%, respectivamente, e a resina Amberlyst 15

de 0,7%. Os autores concluíram que as condições propostas não foram eficazes para a produção de biodiesel (VICENTE et al, 1998).

Entretanto, outro estudo apontou um rendimento de 100% para a resina Amberlyst A26 na transesterificação do óleo de soja para produção de ésteres metílicos com as condições reacionais RM 150:1 (álcool: óleo), entre 12,5 a 50% de catalisador em relação ao óleo, durante 8 horas, a uma temperatura de 65°C e rotação de 300 rpm. (OLIVEIRA, 2010). Nesse contexto, foi notável o avanço da ciência frente a diferença significativa de rendimento reacional descrita nos artigos publicados entre 1998 e 2010, demonstrando um avanço de 0,1% para 100% em trabalhos que utilizaram o mesmo catalisador, cuja principal diferença reacional foi a razão molar de metanol e óleo e a porcentagem de catalisador. A catálise heterogênea necessita de condições mais energéticas para obter melhor rendimento, tais como elevada temperatura, intervalo de tempo reacional superior a 8 h e elevadas razões molares álcool/óleo, oscilando entre 20:1 e 800:1 (REZENDE et al, 2005).

### **Bases orgânicas**

De acordo com a Teoria de Ácidos e Bases de Bronsted, a base é uma substância aceitadora de próton e, para isso apresenta pares de elétrons livres. Bases não-iônicas foram testadas como catalisador na reação de transesterificação de óleos vegetais a fim de obter condições reacionais brandas (COSTA, 2011). Entre elas se destacaram as guanidinas que possuem basicidade semelhante aos hidróxidos alcalinos e podem ser heterogeneizadas em polímeros orgânicos. Guanidinas são compostos puros cristalinos com estrutura geral do tipo (R1R2N) (R3R4N) C=N-R5, sendo considerada uma classe de catalisadores alternativos (CARDOSO et al, 2020). A 1,1,3,3-tetrametilguanidina, obtida pela fixação de tetrametilguanidina na superfície de gel de sílica, resultou em rendimento de 86,73% na produção de ésteres metílicos. As condições reacionais foram RM 10:1,5 (álcool:metanol), 5% de catalisador em relação à massa pesada, temperatura de 80°C e 3 horas. A recuperação do catalisador possibilitou sua reutilização nove vezes, com eficiência catalítica próxima de 62%, satisfazendo princípios da Química Verde (FARIA et al, 2008).

Outra abordagem sobre esses catalisadores orgânicos foi realizada com a peneira molecular SAC-15 incorporada com alumínio. Trata-se de um silicato com estrutura mesoporosa, no qual a substituição do silício por alumínio possibilita o ajuste da acidez favorecendo a reação. As reações de transesterificação etílica com óleo de soja foram efetuadas em um reator batelada na ausência de agitação, e com ajuste da temperatura em estufa a 200°C. A razão molar foi 12:1 (etanol:óleo) e a mistura reacional continha 5% de catalisador em relação ao peso do óleo. Nesse trabalho, a atividade catalítica do catalisador foi 96,5%, confirmando sua atividade para a conversão de biodiesel (MARINHO et al, 2016).

### **Hidróxidos duplos lamelares**

Os hidróxidos duplos lamelares (HDLs) sintéticos ou naturais também designados

por “argilas aniônicas” quando possuem espécies aniônicas em seu domínio interlamelar ou “argilas catiônicas” quando as espécies são catiônicas. No último caso, é usado em materiais constituídos por camadas carregadas negativamente de alumino silicatos com cátions de Al ocupando o sítio do Si ou cátions divalentes ( $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ ) ocupando o sítio do Al, os quais apresentam grande potencial como catalisadores. Outras designações também são comuns, como “compostos do tipo hidrotalcita”, que é uma argila aniônica natural de ânions carbonato intercalados com as lamelas de hidróxido duplo de magnésio e alumínio (CREPALDI; VALIM, 1998). O sistema de hidrotalcita  $Mg-Al-CO_3$  foi estudado como potencial catalisador sólido para a transesterificação metílica do óleo de algodão refinado, juntamente com ácido proveniente do óleo de algodão, cuja acidez é imprescindível para a eficiência da reação. A mistura foi efetuada a uma proporção de 6:1 (álcool:óleo), com 1% de catalisador em peso do óleo, a temperaturas e pressões variando de 180-210°C e 2200-2900 kPa, respectivamente, durante 3 horas, obtendo-se uma conversão de 99%. Para evitar oxidação, o sistema foi mantido em atmosfera de  $N_2$  (BARAKOS; PASIAS; PAPAYANNAKIS, 2008).

As atividades catalíticas dos óxidos estruturados provenientes da calcinação dos HDLs em camadas de Li/Al, Mg/Al e Mg/Fe foram estudadas na transesterificação metílica do tributirato de glicerila sob condições reacionais de 1 g de catalisador, em proporções de 600 mmol de metanol e 20 mmol de óleo, a 65°C durante 3 horas em um reator agitado sob refluxo. Os sistemas Li/Al apresentaram rendimentos superiores a 98% e os sistemas Mg/Al e Mg/Fe de 32 e 23,9%, respectivamente. Os sítios básicos do Li e do Mg combinados com a porosidade adequada possibilitam que os HDLs atuem como catalisadores no processo de produção de biodiesel (SHUMAKER et al, 2008).

Um estudo mais recente utilizando HDLs em camadas de Mg/Al proporcionou rendimento de 71,76% na transesterificação etílica utilizando o óleo de soja em uma reação com intervalo de tempo reacional de 1 hora, 8% de catalisador em relação ao peso do óleo, com razão molar de 10:1 (etanol:óleo) a 65°C. Esse fato demonstrou a importância da continuidade dos estudos dos catalisadores e a avaliação das condições reacionais que podem ser variáveis do processo, tais como o método de síntese do catalisador, e parâmetros reacionais como tempo, temperatura, porcentagem de catalisador e razão molar (LIMA et al, 2020).

## Óxidos e sais inorgânicos

Os óxidos inorgânicos, simples ou mistos, foram estudados como catalisadores heterogêneos para obtenção de biodiesel e sua obtenção provém da calcinação de sais, juntamente com o óxido desejado (KNOTHE, 2006). Cátions e ânions compõem a estrutura dos óxidos metálicos, conferindo os comportamentos de ácido e base de Lewis, respectivamente (COSTA, 2011). Essa característica confere o potencial catalítico deste material. O composto inorgânico trióxido de molibdênio ( $MoO_3$ ) foi suportado na estrutura

micro-mesoporosa MCM-22/MCM-41 com o objetivo de ser utilizado como catalisador heterogêneo na transesterificação metílica do óleo de soja em um reator batelada. Para a obtenção da base sólida, a zeólita MCM-22 foi adicionada no gel MCM-41 e o  $\text{MoO}_3$  foi impregnado ao suporte conferindo a presença de sítios ácidos de Lewis e de Bronsted ao catalisador. Foi obtido 100% de conversão dos triglicerídeos ao se incorporar 15% de  $\text{MoO}_3$  à base sólida, em reação que ocorreu em 3 horas, a  $150^\circ\text{C}$ , com rotação de 500 rpm sob pressão autógena. A mistura reacional continha razão molar 20:1 (álcool:óleo) com 3% de catalisador em relação ao peso do óleo (SILVA et al, 2019).

O metóxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$  também foi estudado como um potencial catalisador na transesterificação do óleo de soja. O composto apresenta propriedade básica forte e sua estrutura é composta por poros moderados a grandes (10-1000 nm). Apesar de a conversão aumentar com o aumento da concentração do catalisador, o excesso torna a difusão externa uma etapa limitante, tendo sido identificado que a porcentagem de catalisador ideal em relação à massa de material graxo foi a de 2%. O intervalo de tempo reacional foi de 2 horas e, após o efeito da temperatura ter sido avaliado concluiu-se que o valor ótimo foi de  $65^\circ\text{C}$ . Como o aumento da temperatura eleva a taxa de conversão, o ponto de ebulição do  $\text{CH}_3\text{OH}$  não pode ser ultrapassado, pelo fato de restringir a reação apenas à interface das bolhas gasosas, o que promove o aumento considerável do tempo reacional. A razão molar também foi verificada, tendo sido utilizado um excesso de  $\text{CH}_3\text{OH}$ . O melhor resultado foi para a proporção em volume de 1:1 para metanol e triglicerídeo (LIU et al, 2008). Um aspecto que faz com que o  $\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$  se destaque entre outros catalisadores sólidos é a sua capacidade de reuso mantendo a capacidade catalítica superior a 90%, mesmo após 20 usos da mesma amostra, o que lhe confere elevada estabilidade na reação de transesterificação (LIU et al, 2008).

## Fontes naturais

### Casca de ovo

A casca de ovo é um resíduo pouco valorizado, cuja principal finalidade na agricultura é a correção de pH de solos ácidos. Entretanto, apresenta um potencial valor econômico por amenizar a poluição causada ao meio ambiente e substituir a rocha calcária, que é natural e não renovável (OLIVEIRA et al, 2009). Catalisadores heterogêneos podem ser formados a partir da casca de ovo por apresentar o Ca como principal componente, um metal alcalino-terroso de propriedades básicas. Após alguns processos de preparo da casca do ovo, como limpeza, trituração, maceração e calcinação, obtém-se o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Ao realizar a mistura física do  $\text{CaCO}_3$  com o óxido de ferro III ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e realizar o processo de sinterização, é possível obter a ferrita de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) que é um potencial catalisador na reação de transesterificação (HILLESHEIN Jr. et al, 2017). Sua estrutura é do tipo perovskita, a qual apresenta propriedades magnéticas, ópticas e elétricas e seu potencial de catálise está relacionado aos seus sítios ativos básicos (KAWASHIMA;

MATSUBARA; HONDA, 2008).

Hilleshein Jr. e colaboradores utilizaram a ferrita de cálcio para a obtenção de biodiesel em um sistema batelada aquecido com jaqueta a 60°C, acoplado a um condensador de refluxo, durante 10 horas. A razão molar foi 10 g:2,6 g (óleo:metanol), tendo sido utilizado 1g de catalisador sob agitação magnética. Desta forma, o rendimento foi de 83,57%, demonstrando o potencial catalítico (HILLESHEIN Jr. et al, 2017). Outro estudo utilizando o mesmo catalisador foi realizado variando-se o intervalo de tempo reacional e comparando com os teores de ésteres metílicos de ácidos graxos obtidos. Foram realizados quatro experimentos a 64°C, com razão molar 7:1 (metanol:óleo) e 8% de catalisador (SANTIAGO; MARTINS; CARDOSO, 2014). Os rendimentos obtidos para as durações de 3, 5, 7 e 10 horas foram avaliados e, pode-se analisar que o rendimento aumenta após 7 horas de reação e no decorrer de 10 horas de reação, os teores de ésteres metílicos atingem 99%. Ao comparar os dois estudos abordados neste tópico foi possível notar que o aumento do metanol, juntamente com a quantidade de catalisador, possibilitou uma elevação de aproximadamente 15% no rendimento, durante um mesmo período reacional.

## Dolomita

A dolomita é um mineral abundante encontrado na natureza na forma de rochas sedimentares continentais e marinhas e também rochas metamórficas. Sua formação provém da substituição, por meio de troca iônica. O Mg passa a ocupar o lugar do Ca no calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), assim, a dolomita apresenta em sua composição um carbonato duplo de cálcio e de magnésio assumindo a seguinte fórmula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (CORREIA et al, 2015). Para utilizá-la como catalisador realiza-se o processo de calcinação, no qual os carbonatos irão se decompor em óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO), os quais apresentam caráter básico, responsável pela atividade catalítica (CARDOSO et al, 2020). A transesterificação utilizando óleo de canola foi estudada ao se aplicar o catalisador proveniente da dolomita. Foi possível identificar que a temperatura de calcinação do mineral influenciou diretamente no rendimento reacional. Nos testes em que não houve calcinação ou que esta foi efetuada a 500 e 600°C, não foram observadas conversões significativas. No entanto, para temperaturas de 700, 850 e 900°C houveram conversões de 73,23, 91,78 e 84,63%, respectivamente. As condições reacionais foram: razão molar 6:1 (metanol:óleo de canola), na temperatura de refluxo do metanol (67,5°C), 3% de catalisador em relação ao peso do óleo, intervalo de tempo reacional de 3 horas (ILGEN, 2011). Um ponto interessante neste estudo foi a temperatura de decomposição do  $\text{MgCO}_3$  de 300°C, e a do  $\text{CaCO}_3$  de 825°C. Sendo assim, como os rendimentos mais elevados ocorreram próximos à temperatura de decomposição do  $\text{CaCO}_3$ , e que abaixo desta temperatura, as conversões foram bem reduzidas, pode-se afirmar que o CaO foi o óxido com melhor potencial catalítico na reação de transesterificação do óleo de canola. Neste trabalho também foi avaliada a capacidade de reutilização do catalisador, tendo sido identificado que o mesmo não

apresenta alteração na atividade catalítica até o terceiro uso. Entretanto, houve redução do rendimento para 75% e antes do quinto reuso o catalisador recuperado passou por outro processo de calcinação e atingiu o rendimento de 81,78% (ILGEN, 2011).

Este mesmo catalisador foi utilizado para analisar a transesterificação do óleo de girassol além do óleo de canola. Igualmente à pesquisa de Ilgen, a calcinação foi realizada a 850°C durante 3 horas, e o catalisador pode ser reutilizado três vezes sem decréscimo no rendimento. A razão molar (metanol:óleo) para o óleo de canola também foi 6:1, e para o óleo de girassol 9:1. A temperatura manteve-se constante em 60°C durante 4 horas, sob agitação de 1000 rpm e a porcentagem de catalisador em relação à massa de óleo foi de 1% para o óleo de canola e 2% para o óleo de girassol. Os rendimentos máximos para as reações utilizando óleo de girassol e de canola foram 98,81% e 96,52%, respectivamente. Também foi estabelecido que a partir de 1 kg de dolomita pode-se obter 55,88 kg de biodiesel derivado do óleo de canola e 27,19 kg de biodiesel proveniente do óleo de girassol (CORREIA et al, 2015). Fazendo uma comparação entre as pesquisas de Ilguer e Correia foi possível identificar que mesmo em temperaturas brandas e menor porcentagem de catalisador, o rendimento de, aproximadamente 7% na transesterificação do óleo de canola foi obtido ao aumentar o tempo da reação em 1 hora.

### Escamas de peixe

As escamas de peixe são resíduos pesqueiros com pouca ou nenhuma finalidade. Toneladas são descartadas diariamente em aterros sanitários ou lixões, prejudicando o meio ambiente, entretanto, a utilização como um potencial catalisador é vantajosa por ser economicamente viável e ecologicamente correto. Substâncias inorgânicas e orgânicas, como a hidroxiapatita e o colágeno tipo I estão presentes na maioria de sua estrutura (CARDOSO et al, 2020). Escamas de peixe (*L.rohita*) foram testadas na reação de transesterificação metílica do óleo de soja para análise da sua atividade catalítica. Após as escamas serem limpas, foram moídas e calcinadas a 997,42°C durante 2 horas, gerando o  $\beta$ -Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> que é proveniente da hidroxiapatita. A reação foi realizada em um reator acoplado a dois condensadores sob agitação de 500 rpm, a temperatura manteve-se constante em 70 °C durante 5 horas, cuja razão molar ideal foi 6,27:1(metanol:óleo) com 1,01% de catalisador em peso do óleo. Pode-se obter um rendimento de ésteres metílicos de 97,73%. O catalisador pode ser reutilizado mais 5 vezes, ou seja, manteve sua atividade catalítica durante 30 horas de reação sem perdas significativas. Essa estabilidade pode estar relacionada a sua elevada basicidade. Desta maneira, as escamas de peixe tratadas se mostraram como um excelente catalisador para a obtenção de biodiesel de forma econômica e sustentável (CHAKRABORTY; BEPARI; BANERJEE, 2011).A seguir, será apresentada a **Tabela 1**, na qual está demonstrado de forma resumida as classes dos catalisadores mencionados nesse trabalho.

Classe	Catalisador Heterogêneo	RM álcool/ óleo	T(°C)	t (h)	Quantidade de catalisador (m/m %)	Teor de éster (%)	Referência
zeólitas	Ba/USY	30:1	200	24	10	97	GHESTI et al, 2012
	35% Nax e 65% bentonita sódica	6:1	65	7	10	95,1	RAMOS et al, 2008
Resinas de troca iônica	Amberlyst A26	150:1	65	8	12,5	100	OLIVEIRA, 2010
	Indion 810	9:1	75	2	2	85	JAYA; SELVAN; VENNISON, 2015
	Resinas sulfonadas	100:1	63-65	8	1g	97	REZENDE et al, 2008
Bases orgânicas	SAC-15	12:1	200	24	5	96,5	MARINHO et al, 2016
	1,1,3,3-tetrametilguanidina	1,5:10	80	3	5	86,73	FARIA et al, 2008
Hidróxidos duplos lamelares	Mg-Al-CO3	6:1	180-210	3	1	99	BARAKOS; PASIAS; PAPAYANNAKIS, 2008
	Li/Al	600:20	65	3	1g	98	SHUMAKER et al, 2008
	Mg/Al	10:1	65	1	8	71,76	LIMA et al, 2020
Óxidos inorgânicos	MoO <sub>3</sub>	20:1	150	3	3	100	SILVA et al, 2019
	Ca(OCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1:1	65	2	2	98	LIU et al, 2008
Fontes naturais	Ca <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10:2,6	60	10	1g	83,57	HILLESHEIN Jr. et al, 2017
	Ca <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7:1	64	10	8	99	SANTIAGO; MARTINS; CARDOSO, 2014
	Dolomita (canola)	6:1	67,5	3	3	91,78	ILGEN, 2011
	Dolomita (canola)	6:1	60	4	1	99,81	CORREIA et al, 2015
	Dolomita (girassol)	9:1	60	4	2	96,52	CORREIA et al, 2015
	β-Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	6,27:1	70	1,01	5	97,73	CHAKRABORTY; BEPARI; BANERJEE, 2011

Tabela 1. Resumo dos catalisadores utilizados, suas condições reacionais, rendimento e referências.

## 4 | CONCLUSÕES

Na análise dos artigos científicos desta análise bibliográfica foram selecionados catalisadores heterogêneos de diferentes classes, suas propriedades, influência no rendimento com variações dos parâmetros reacionais e reutilização. Foi possível identificar que os catalisadores podem ser provenientes de minerais, polímeros, substâncias naturais, dentre outros e o que determina a sua atividade catalítica são os sítios básicos ou ácidos. Inicialmente, foi possível observar que o preparo do catalisador é uma etapa fundamental para a eficiência da reação. A morfologia do catalisador como a porosidade e o grau de inchamento é de grande importância por facilitar ou não o acesso dos reagentes aos sítios ativos, viabilizando a catálise. Alguns catalisadores exigem a etapa de calcinação para a geração dos sítios ativos. Se forem estáveis e não se dissociarem no álcool, apresentam vida útil prolongada podendo ser reciclado, mantendo a atividade catalítica. A razão molar

influencia diretamente no rendimento reacional. O aumento da concentração de álcool pode favorecer a reação de transesterificação, porém se for elevada, desloca o equilíbrio, reduzindo o rendimento. Temperaturas elevadas também colaboram com o rendimento reacional, no entanto, se ultrapassar o ponto de ebulição do álcool, a reação se restringe à interface de bolha, aumentando consideravelmente o tempo reacional. Apesar do aumento da concentração de catalisador favorece a reação de transesterificação, o excesso pode tornar a difusão externa uma etapa limitante do processo. O intervalo de tempo reacional é um parâmetro relevante, sendo imprescindível alcançar elevadas conversões em menor tempo, a fim de reduzir os custos de produção. Cada tipo de catalisador apresenta parâmetros reacionais diferentes, porém é possível identificar que a catálise heterogênea necessita de condições energéticas, como temperatura suficiente para obter rendimento significativo, recomendando a necessidade de um estudo de parâmetros específicos de cada catalisador para a otimização do processo reacional.

## REFERÊNCIAS

- ALONSO, D. M.; MARISCAL, R.; MORENO-TOST, R.; POVES, M. Z.; GRANADOS, M. L. (2007). Lixiviação de potássio durante a transesterificação de triglicerídeos usando catalisadores  $K / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . **Catalysis Communications**, v. 8, n. 12, p. 2074-2080, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2007.04.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566736707001410>. Acesso em 08 nov. 2021.
- BARAKOS, N.; PASIAS, S.; PAPAYANNAKIS, N. Transesterification of triglycerides in high and low quality oil feeds over an HT2 hydrotalcite catalyst. **Bioresource Technology**, v. 99, n.11, p. 5037-5042, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407007481>. Acesso em 08 nov 2021.
- CARDOSO, T. S.; SANTOS, R. A.; COSTA, R. T. T.; AVIZ, E. O.; ARAÚJO, J. F.; SILVA, A. P., et al. Uma revisão da utilização de catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 240-276, 2020. DOI: 10.34115/basrv4n1-016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Josiney-Araujo/publication/339565785\\_Brazilian\\_Applied\\_Science\\_Review\\_Uma\\_revisao\\_da\\_utilizacao\\_de\\_catalisadores\\_heterogeneos\\_para\\_a\\_producao\\_de\\_biodiesel\\_A\\_review\\_of\\_the\\_use\\_of\\_heterogeneous\\_catalysts\\_for\\_the\\_production\\_of\\_biodiesel/links/5e5d07af92851cefa1d51e47/Brazilian-Applied-Science-Review-Uma-revisao-da-utilizacao-de-catalisadores-heterogeneos-para-a-producao-de-biodiesel-A-review-of-the-use-of-heterogeneous-catalysts-for-the-production-of-biodiesel.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Josiney-Araujo/publication/339565785_Brazilian_Applied_Science_Review_Uma_revisao_da_utilizacao_de_catalisadores_heterogeneos_para_a_producao_de_biodiesel_A_review_of_the_use_of_heterogeneous_catalysts_for_the_production_of_biodiesel/links/5e5d07af92851cefa1d51e47/Brazilian-Applied-Science-Review-Uma-revisao-da-utilizacao-de-catalisadores-heterogeneos-para-a-producao-de-biodiesel-A-review-of-the-use-of-heterogeneous-catalysts-for-the-production-of-biodiesel.pdf). Acesso em 03 nov. 2021.
- CHAKRABORTY, R. ; BEPARI, S. ; BANERJEE, A. Aplicação da escala de resíduos de peixes calcinados (Labeo rohita) como catalisador heterogêneo de baixo custo para síntese de biodiesel. **Tecnologia Bioresource**, v. 102, n. 3, pág. 3610-3618, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.123>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410017797>. Acesso em 09 nov. 2021
- CORDEIRO, C. S.; SILVA, F. R. D.; WYPYCH, F.; RAMOS, L. P. Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). **Química nova**, v. 34, n. 3, p. 477-486, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/6SJ5B5tn79sgbkjZ9RZdZ3m/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

CORREIA, L. M.; CAMPELO, N. S.; NOVAES, D. S.; CAVALCANTE Jr., C.L.; CECILIA J. A.; CASTELLÓN, E. R.; VIEIRA, R. S. Caracterização e aplicação de dolomita como precursor catalítico de óleos de canola e girassol para produção de biodiesel. **Chemical Engineering Journal**, v. 269, p. 35-43, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.097>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894715001345>. Acesso em 09 no. 2021.

COSTA, P. P. K. G. Catalisadores químicos utilizados na síntese de biodiesel. **Embrapa Agroenergia- Documentos (INFOTECA-E)**. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/918436/1/doc07.pdf>. Acesso em 06 nov. 2021.

CREPALDI, E. L.; VALIM, J. B. Hidróxidos duplos lamelares: Síntese, estrutura, propriedades e aplicações. **Química nova**, v. 21, n. 3, p. 300-311, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/w8VrMpGjTYmT8WhWzrxHjK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 08 nov. 2021.

FARIA, E. A.; RAMALHO, H. F.; MARQUES, J. S.; SUAREZ, P. A.; PRADO, A. G. Tetramethylguanidine covalently bonded onto silica gel surface as an efficient and reusable catalyst for transesterification of vegetable oil. **Applied Catalysis A: General**, v. 338, n. (1-2), p. 72-78, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.12.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X07007429>. Acesso em 06 nov. 2021.

FERREIRA, M. D. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R.(org.). Política de preços dos combustíveis. **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Ipea Editora, 2019. cap. 8, p. 207-228.

Ghesti, G. F.; Macedo, J. L. D.; Dias, J. A.; Dias, S. C. Produção de biodiesel via transesterificação etílica com zeólitas básicas. **Química Nova**, v. 35, p. 119-123, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000100022>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/N9rwY98Xqscpk3zPZZKxvXK/?lang=pt>. Acesso em 15 nov. 2021.

HILLESHEIN JR., J., et al. Síntese de biodiesel via catálise heterogênea a partir de  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  produzido a partir de material residual e laboratorial - **XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica** UFSCar – São Carlos – SP, 2017. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20180719165158id\\_/http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2017/054.pdf](https://web.archive.org/web/20180719165158id_/http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2017/054.pdf). Acesso em 09 nov. 2021.

ILGEN, O. Dolomita como catalisador heterogêneo para transesterificação de óleo de canola. **Tecnologia de Processamento de Combustível**, v. 92, n. 3, pág. 452-455, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.10.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382010003577>. Acesso em 09 nov. 2021.

JAYA, N.; SELVAN, B.; VENNISON, S. Synthesis of biodiesel from pongamia oil using heterogeneous ion-exchange resin catalyst. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 121, p. 3-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651315300427>. Acesso em 17 nov. 2021.

JITPUTTI, J.; KITIYANAN, B.; RANGSUNVIGIT, P.; BUNYAKIAT, K.; ATTANATHO, L.; JENVANITPANJAKUL, P. Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. **Chemical Engineering Journal**, v. 116, n. 1, p. 61-66, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2005.09.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S13858947050004122>. Acesso em 03 nov. 2021.

KAWASHIMA, A.; MATSUBARA, K.; HONDA, K. Desenvolvimento de catalisadores de base heterogênea para produção de biodiesel. **Tecnologia Bioresource**, v. 99, n. 9, pág. 3439-3443, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407006323>. Acesso 09 nov. 2021.

KNOTHE, G. Analisando biodiesel: padrões e outros métodos. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 83, n. 10, p. 823-833, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-006-5033-y>. Disponível em: <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/s11746-006-5033-y>. Acesso em 08 nov. 2021.

LIMA, Bruno Felipe Bernardo de et al. Síntese de biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleo de soja etílico catalisado por hidróxidos duplos lamelares (HDL). 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/7739>. Acesso em 17 nov. 2021.

LIU, X.; PIAO, X.; WANG, Y.; ZHU, S.; HE, H. Metóxido de cálcio como catalisador de base sólida para a transesterificação de óleo de soja em biodiesel com metanol. **Fuel**, v. 87, n. 7, p. 1076-1082, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.059> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236107003109>. Acesso em 03 nov. 2021.

MARINHO, J. C. et al. Catalisadores do tipo SBA-15 e AL-SBA-15 usados na reação de transesterificação do óleo de soja com etanol para produção de biodiesel em reator batelada sem agitação. 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/327>. Acesso em 17 nov. 2021.

MORENO, E. L.; RAJAGOPAL, K. Desafios da acidez na catálise em estado sólido. **Química Nova**, v. 32, n. 2, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000200044>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/JHtZL9Sr8FyzRnVtXJx6dpG/?lang=pt>. Acesso em 03 nov. 2021.

MULLER, J. M. **A influência do processo de desaluminação na estrutura, acidez e propriedade catalítica de zeólitas**. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília, p. 14. 2017.

NI, J.; MEUNIER, F. C. Esterification of free fatty acids in sunflower oil over solid acid catalysts using batch and fixed bed-reactors. **Applied Catalysis A: General**, v. 333, n. 1, p. 122-130, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.09.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X07005704>. Acesso em 03 nov. 2021.

OLIVEIRA, E. V. A. **Síntese de biodiesel a partir da transesterificação do óleo de soja por catálises homogênea e heterogênea**. 131 p. Dissertação (Mestrado em Química ambiental; Polímeros) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

OLIVEIRA, D. A.; BENELLI, P.; AMANTE, E. R. Valorização de resíduos sólidos: casca de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos. **Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change, São Paulo**, 2009. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sexsoes/6a/1/e.%20r.%20amante%20-%20resumo%20exp%20-%206a-1.pdf>. Acesso em 09 nov. 2021.

POZZO, D. M. **Aplicação de diferentes zeólitas como catalisadores heterogêneos para a síntese de ésteres alquílicos**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 23. 2018.

RAMOS, M. J.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; ROMERO, R.; PÉREZ, A. Transesterification of sunflower oil over zeolites using different metal loading: A case of leaching and agglomeration studies. **Applied Catalysis A: General**, v. 346, n. 1-2, p. 79-85, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2008.05.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X08003104>. Acesso em: 03 nov. 2021.

REZENDE, S. M.; CASTRO, R. M.; REID, M. G.; SILVA Jr, P. L.; COUTINHO, F. M.; SAN, R. A. D. S., et al. Transesterification of vegetable oils promoted by poly (styrene-divinylbenzene) and poly (divinylbenzene). **Applied catalysis A: general**, v. 349, n. 1-2, p. 198-203, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2008.07.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X08004821>. Acesso em 03 nov. 2021.

REZENDE, S. M.; SOARES, B. G.; COUTINHO, S. F.; REIS, S. C. M.; REID, M. G.; LACHTER, E. R. et al. Aplicações de resinas sulfônicas como catalisadores em reações de transesterificação de óleos vegetais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Rio de janeiro, v. 15, n. 3, p. 186-192, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282005000300008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/p39mgQWnjsyF5ZvSWNnQmDL/abstract/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 03 nov. 2021.

SANTIAGO, T. S. A.; MARTINS, M. I.; CARDOSO, V. L. Síntese de catalisador do tipo perovskita para produção de biodiesel. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 520-522, 2014. DOI: 10.5151/chemeng-cobec-ic-05-rc-099. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/sntese-de-catalisador-do-tipo-perovskita-para-produo-de-biodiesel-11122>. Acesso em 09 nov. 2021.

SCHUCHARDT, U.; VARGAS, R. M.; GELBARD, G. Alkylguanidines as catalysts for the transesterification of rapeseed oil. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 99, n.2, p. 65-70, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/1381-1169\(95\)00039-9](https://doi.org/10.1016/1381-1169(95)00039-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/1381116995000399>. Acesso em 06 nov. 2021.

SHUMAKER, J. L.; CROFCHECK, C.; TACKETT, S. A.; SANTILLAN-JIMENEZ, E.; MORGAN, T.; JI, Y.; TOOPS, T. J. Biodiesel synthesis using calcined layered double hydroxide catalysts. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 82, n. 1-2, p. 120-130, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2008.01.010>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337308000386>. Acesso em 08 nov. 2021.

SILVA, André Miranda da et al. Avaliação do MoO<sub>3</sub> suportado em material microporoso na reação de transesterificação do óleo de soja. 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/12620>. Acesso em 17 nov. 2021.

SOUZA, V. C. **Estudo das propriedades de zeólitas naturais modificadas por tratamentos ácidos e/ou básicos**. 2018. 5 p. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2018.

SUPPES, G. J.; DASARI, M. A.; DOSKOCIL, E. J.; MANKIDY, P. J.; GOFF, M. J. Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts. **Appl Catal A: Gen**, v. 257, n. 2, p. 213-223, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2003.07.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X03006859>. Acesso em 03 nov. 2021.

VICENTE, G.; COTERON, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. **Industrial crops and products**, v. 8, n. 1, p. 29-35, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)10003-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)10003-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669097100036>. Acesso em 03 nov. 2021.

VIEGAS, M.; RAMOS, M. J.; FERNANDES, P. A. Biocombustíveis, serão a solução?, **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, n. 2, p. 043, 2018. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2018.043>. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2018/043/>. Acesso em: 03 nov. 2021.

XIE, W.; PENG, H.; CHEN, L. Transesterificação de óleo de soja catalisada por potássio carregado em alumina como um catalisador de base sólida. **Catálise A aplicada: General**, v. 300, n. 1, p. 67-74, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.10.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X05008197>. Acesso em 08 nov. 2021.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetilação 24, 25, 28, 32, 33  
Ácidos graxos 28, 30, 45, 52  
Adsorb 88  
Aeração 2, 4, 5, 7  
Agência Nacional de Petróleo (ANP) 29, 34  
Alimentos 37, 39, 43, 44, 86  
Análise da fluidez 2  
Antioxidante 37, 38, 40, 41  
Atividade catalítica 46, 47, 49, 52, 53, 54, 61, 68

### B

Bico injetor 11, 14, 15, 16, 19, 20, 22  
Biochar 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84  
Biocombustíveis 12, 23, 34, 44, 45, 59, 76  
Biodegradáveis 24, 26, 37, 38, 43  
Biodiesel 11, 12, 13, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 34, 35, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 106, 107  
Biofarmacêuticas 2  
Biofilmes 37, 40, 42  
Biolubrificantes 24, 26, 28, 33, 34, 36  
Biomassa 12, 45, 74, 75, 79, 80, 83, 84, 85, 106, 107  
Bio-óleo 74, 75, 76, 80, 82, 83, 84  
Biopolímeros 37, 43  
Bioremediation 106, 107, 109, 110  
Boudouard 86, 88

### C

Carbon dioxide 86, 87, 90, 98, 101, 102, 104, 105  
Catalisadores 27, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 68, 69, 72  
Catálise 44, 47, 48, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 68, 72  
Cavitação 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23  
*Chlorella vulgaris* 106, 107, 110  
Cisalhamento 2, 4, 5, 7, 8

Combustíveis 11, 12, 24, 25, 26, 36, 45, 56  
Coupled Integral Equations Approach (CIEA) 86, 93  
Cupuaçu 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43

## D

Densidade relativa 26, 29, 30, 31, 32, 33  
Diesel 11, 12, 13, 16, 20, 22, 23, 34, 35, 36, 44, 45, 68

## E

Efeito Raman 61  
Epoxidação 24, 27, 29  
Escoabilidade 1, 3  
Espalhamento Raman 62, 63, 64  
Espectroscopia Raman 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73  
Excipientes farmacêuticos 1, 2, 6

## F

Fármacos 1, 2, 3, 37, 38, 39  
Fóton 62, 64

## G

Gás de arraste 74, 75, 77, 80  
Generalized Integral Transform Technique (GITT) 86, 87, 95

## H

Hidroxilação 24, 31

## I

Injeção 4, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23

## L

*Lactuca sativa* 106, 107, 108

## M

Materiais pulverulentos 1, 2  
Matrizes energéticas 44  
Microcelulose 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9  
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 3  
Modelo de Schnner e Sauer 11, 16  
Monocromadores 65

Motores 11, 12, 13, 32, 35, 45

## **N**

Não-renováveis 11

## **O**

Óleos vegetais 12, 24, 26, 45, 47, 49, 58

Óxidos 44, 46, 47, 50, 52, 54, 60

## **P**

Petróleo 12, 25, 29, 34, 44, 45

Phytotoxicity 106

Pirólise 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ponto de fluidez 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34

Ponto de fulgor 26, 29, 30, 31, 32

Porosidade 2, 3, 5, 6, 48, 50, 54

Propriedades fenomenológicas 2

## **R**

Renováveis 11, 12, 25, 44

Reômetro 4

Resíduos 34, 53, 55, 57, 75, 84, 85, 112

Reutilização 49, 52, 54, 75, 112

## **T**

Termoconversão 75

Toxicidade 26, 45, 106, 107

Transesterificação heterogênea 44

Triglicerídeos 29, 45, 47, 48, 51, 55

## **V**

Viscosidade 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 47

## **W**

Wastewaters 106

## **Z**

Zeólitas 44, 46, 47, 54, 56, 57, 58

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos