

## ROTAS BIOTECNOLÓGICAS APLICADAS EM REAÇÕES DE TRANSESTERIFICAÇÃO

---

### RESUMO

Reações de transesterificação são amplamente utilizadas para obtenções de vários produtos. Para que ocorram de forma viável, é necessário a utilização de catalisadores nestas reações, eles funcionam promovendo a obtenção de melhores resultados. Os catalisadores utilizados em reações de transesterificação são classificados como homogêneos ou heterogêneos. Dentre os heterogêneos têm-se os catalisadores enzimáticos, também conhecidos como biocatalisadores, que em parte da literatura o classifica de forma separada. Apesar dos biocatalisadores serem utilizados a bastante tempo, não há uma rota definida para sua utilização, se diferenciando uma da outra desde os tipos de substratos utilizados, o tempo e a temperatura reacional, até a quantidade de catalisador usado. Diante dessas possibilidades, este trabalho apresenta uma revisão sobre rotas catalíticas utilizadas nas reações de transesterificação abordando características, vantagens e desvantagens, com destaque a utilização dos biocatalisadores, além das diferentes rotas disponíveis para que esse tipo catalise aconteça com os melhores resultados.

**Palavras-chave:** Biocatálise. Lipases. Transesterificação.

## BIOTECHNOLOGICAL ROUTES APPLIED IN TRANSESTERIFICATION REACTIONS

---

### ABSTRACT

Transesterification reactions are commonly used to obtain various products. In order for these reactions to proceed successfully, catalysts must be used, as they promote the achievement of better results. The catalysts used in transesterification reactions are classified as homogeneous or heterogeneous. Heterogeneous catalysts include enzymatic catalysts, which are also known as biocatalysts, and are sometimes classified separately in the literature. Although biocatalysts have been used for a long time, there is no set route for their use, as they differ from each other in the type of substrates used, the reaction time and temperature, and the amount of catalyst used. Considering these possibilities, this paper presents a review of the catalytic processes used in transesterification reactions. The peculiarities advantages and disadvantages, emphasizing on the use of biocatalysts, as well as the different routes available for this type of catalysis to achieve the best results, will be addressed.

**Key words:** Biocatalysis. Lipases. Transesterification.

#### **Carlos Alberto Lira Junior**

Programa de Pós-Graduação Rede Nordeste de  
Biotecnologia, Centro de Ciências Biológica,  
Universidade Federal do Maranhão  
Instituto Federal do Maranhão, Campus Bacabal  
carlos.lira@ifma.edu.br

#### **Wellington da Conceição Lobato do Nascimento**

Departamento de Química, Universidade Federal  
do Maranhão  
cellqmc\_cff@hotmail.com

#### **Adeilton Pereira Maciel**

Departamento de Química, Universidade Federal  
do Maranhão  
ap.maciel@ufma.br

## 1. INTRODUÇÃO

Uma reação química é caracterizada pela reorganização dos átomos em que compostos novos são formados de diversas maneiras e complexidades. É imensurável a importância das reações químicas para a humanidade, sendo útil em uma simples queima até na produção de medicamentos utilizados na cura de doenças graves. Entre as mais diversas reações químicas, cita-se a transesterificação em que um éster, na presença de catalisadores, reage com um outro composto obtendo um novo éster. A depender dos reagentes, a reação de transesterificação será denominada como interesterificação quando ocorre entre dois ésteres; acidólise quando ocorre entre um éster e um ácido carboxílico e alcoólise quando o éster reage com um álcool.

O uso das reações de transesterificação está consolidado no meio científico, através da síntese de polímeros (OTERA, 1993), na produção de compostos biologicamente ativos (PARMAR et al., 1992), na formulação de fármacos (RAO et al., 2021) e principalmente na produção de biodiesel através da utilização de triglicerídeos (TG) oriundos do óleo vegetal, da gordura animal e dos óleos e gorduras residuais (LUNA et al., 2016; MUMTAZ et al., 2017). A transesterificação nesse caso, transforma os triglicerídeos em ésteres alquílicos através da troca da carboxila do ácido graxo por um grupo hidroxila oriundo de um álcool.

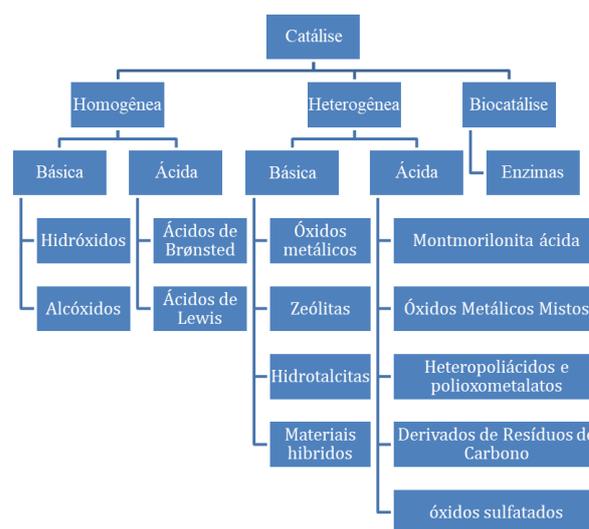
As etapas de transesterificação ocorrem de forma sequencial e reversível, sendo que na primeira etapa os triglicerídeos reagem com o álcool formando diglicerídeos que em sequência são convertidos em monoglicerídeos e glicerol,

produzindo um éster alquílico em cada etapa. A reação estequiométrica necessita de 3 mols de álcool utilizado para cada 1 mol de triglicerídeo. Para que se obtenham maiores rendimentos dos ésteres alquílicos e permitir sua separação do glicerol, costuma-se utilizar excessos de álcool.

Para melhores resultados nas reações de transesterificação, são utilizados catalisadores que a depender do estado em que se encontram no meio reacional, podem ser divididos em homogêneos e heterogêneos e subdivididos em ácidos e básicos.

Na Figura 1 é apresentado a classificação das catálises e os tipos de catalisadores utilizados nas reações de transesterificações.

**Figura 1** - Classificação e tipos de catalisadores.



**Fonte:** Adaptado de Chouhan e Sarma, 2011; Nisar et al., 2021; Rezende et al., 2021 e Rizwanul Fattah et al., 2020).

Um sistema catalítico em que os reagentes e os componentes do catalisador se encontram em uma fase é conhecido como catálise homogênea, ocorrendo na maioria das vezes na fase líquida. Os catalisadores homogêneos são os mais aplicados na transesterificação de

triglicerídeos, visto que são mais facilmente utilizados e requerem um menor tempo para que a reação ocorra, no entanto não é possível sua reutilização, necessitando que o produto seja lavado diversas vezes, fazendo com que produtos sejam desperdiçados. (MANDARI e DEVARAI, 2022; RIZWANUL FATTAH et al., 2020; THANGARAJ et al., 2019).

A catálise heterogênea ocorre quando o catalisador, geralmente no estado sólido, está em uma fase diferente dos reagentes que estão em estado líquido. Tal catálise tem se destacado diante de algumas desvantagens apresentadas por catalisadores homogêneos que possuem uso único, taxa de reação lenta, dificuldades na saponificação entre outras. Em contrapartida, catalisadores heterogêneos, são produzidos por

rotas sintéticas, possuem maior seletividade, são menos onerosos pois o processo necessita de menos etapas, podem ser reutilizados já que são facilmente separados da mistura reacional e podem ser aplicados na transesterificação de diferentes matérias-primas. Apesar das vantagens e de seu crescente destaque, catalisadores heterogêneos possuem menores conversões de triglicerídeos em ésteres alquílicos, passando a exigir condições de reação mais severas quando comparadas em conversões homogêneas (BORGES e DÍAZ, 2012; FARUQUE et al., 2020; LEE et al., 2009; MUKHTAR et al., 2022). A Tabela 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens das catálises homogênea e heterogênea.

**Tabela 1** – Vantagens e desvantagens das catálises homogênea e heterogênea

Tipo de catálise	Catalisador	Vantagens	Desvantagens
Catálise homogênea	Homogêneo básico	Elevada atividade catalítica Menor custo Amplamente disponível Não é corrosivo Ideal para substratos com baixo teor de AGL Reações rápidas e altas conversões Suaves condições reacionais	Formação de sabão Não é adequado para substratos com teor de AGL acima de 2% Não reutilizável Necessita de lavagem extensa Dificuldade na purificação dos produtos
	Homogêneo ácido	Elevada atividade catalítica Adequado para substratos com alto teor de AGL Não há formação de sabão Uso em fontes com TG de baixa qualidade	Menor taxa de reação Reação mais lenta que a catálise básica Separação e reutilização incomum Ocorrência de corrosão Condições reacionais mais severas Dificuldade na separação do catalisador do meio reacional
Catálise heterogênea	Heterogêneo básico	Fácil separação do catalisador Reutilização do catalisador Facilidade na purificação do produto Geração de efluentes reduzida Reação mais rápida que a catálise ácida	Alto custo de produção Possível lixiviação de sítios ativos Sensível a óleos com altos níveis de AGL
	Heterogêneo ácido	Reutilização do catalisador Fácil separação do catalisador Uso em fontes com TG de baixa qualidade	Alto custo de produção Altas razões molares álcool-óleo Altas concentrações de catalisador Maior tempo de reação Pode sofrer desativação Condições reacionais severas Lixiviação de sítios ativos do catalisador

Fonte: Baskar et al., (2017); Rezende et al., (2021) e Rizwanul Fattah et al., (2020)

## 2. CATÁLISE ENZIMÁTICA

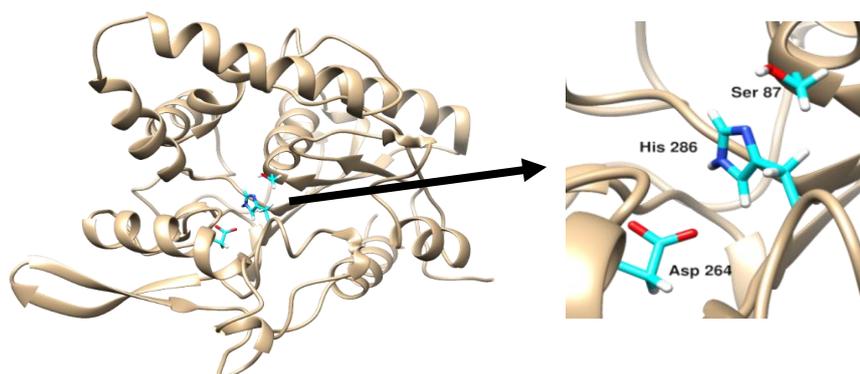
Apesar dos catalisadores serem divididos em homogêneos e heterogêneos, há uma nova classificação que tem sido amplamente utilizada pela literatura que são os biocatalisadores. Também chamados de catalisadores enzimáticos os biocatalisadores vêm sendo classificados a parte, mesmo sendo incluídos na classificação heterogênea, muito provavelmente pela importância que tem se dado a ele.

A reação de transesterificação utilizando catalisadores homogêneos ou heterogêneos, apresentam diversos problemas, citados anteriormente, que precisam ser contornados, como por exemplo a sensibilidade à pureza dos reagentes, a formação de emulsões, a necessidade de condições reacionais severas, questões ambientais etc. Nesse ponto a catálise enzimática surge com uma excelente alternativa, pois as condições de reação são mais suaves, a demanda de energia é baixa, são pouco influenciadas pela qualidade da matéria-prima, geram menos subprodutos, podem tanto ser utilizadas na transesterificação quanto na esterificação e é ambientalmente favorável (FJERBAEK, et al., 2009; GULDHE et al., 2015, 2017; SANTOS, et al., 2020; YUZBASHEVA et al., 2014).

As principais enzimas utilizadas na catálise enzimática e que serão objeto deste trabalho, são as lipases classificadas como *Enzyme Commission* (C.E) 3.1.1.3 que fazem parte dos grupos das hidrolases responsáveis pela hidrólise de ésteres (KENNEDY, 1987). Em que se destacam: *Aspergillus Rhizomucor miehei*, *Bacillus thermocatenulatus*, *Candida antarctica*, *Geotrichum candidum*, *Humicola lanuginosa*, *Mucor javanicus*, *Penicillium*, *Burkholderia cepacia*, *Rhizopus oryza*, *Rhizomucor miehei*, *Pseudomonas fluorescens*, *Thermomyces lanuginosus*, *Yarrowia lipolytica* etc (BAJAJ et al., 2010; GOG, et al., 2012; HWANG, et al., 2014)

Apesar de existirem diferentes lipases, todas elas possuem elementos estruturais em comum que é a tríade catalítica e o dobramento característico conhecido como  $\alpha/\beta$  hidrolase. A tríade catalítica formada pelos aminoácidos serina (Ser), histidina (His) e o ácido aspártico (Asp) ou glutamato (Glu), compõem o sítio ativo onde ocorre o mecanismo reacional. A estrutura tridimensional da lipase *Burkholderia cepacia* (anteriormente chamada de *Pseudomonas cepacia*) em sua conformação aberta-ativa com seus sítios ativos são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura da lipase *Burkholderia cepacia* com uma tríade catalítica.



Fonte: Adaptado de A. Rodrigues et al., (2021).

Uma vez que o sítio ativo é comum para quaisquer lipases, o mecanismo reacional é idêntico para todas e para qualquer reação que ocorrer (esterificação ou transesterificação). Na Figura 3 temos o mecanismo de reação de transesterificação catalisada por lipase do tipo Ping Pong Bi-Bi.

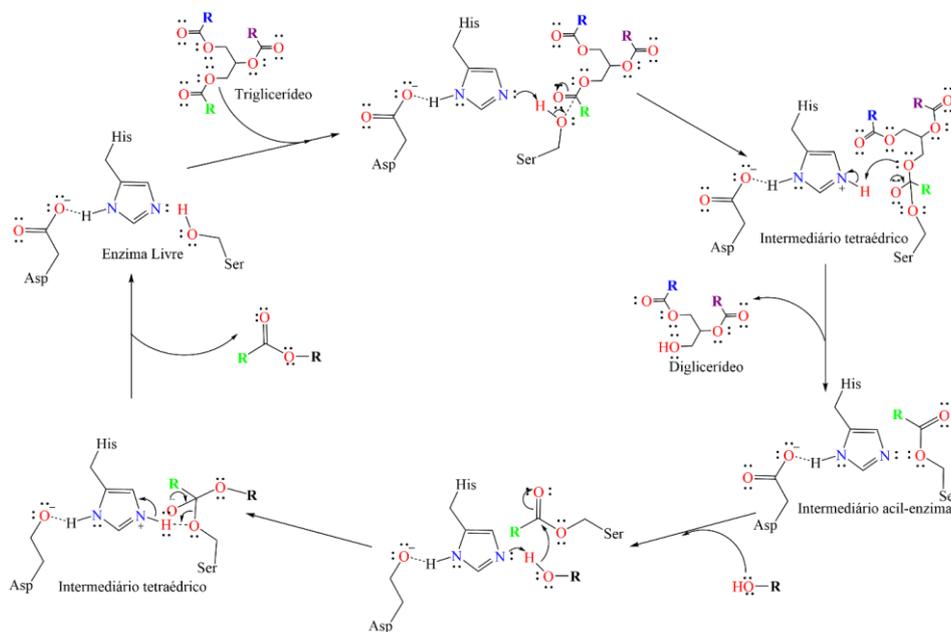
O mecanismo envolve duas etapas: uma etapa de acilação e outra de desacilação e ocorre no sítio ativo constituído pela tríade catalítica serina, histidina e ácido aspártico/glutamato. Na acilação, a histidina, através de uma ligação de hidrogênio, aumenta a nucleofilicidade da hidroxila da serina que ataca o carbono carbonílico do triglicérido, levando a formação do intermediário tetraédrico que é estabilizado por ligações de hidrogênio entre o oxianion e os grupos amidas dos resíduos das cadeias principais.

A formação do complexo, faz com que um próton da serina seja transferido para a histidina e o aspartato, que é desprotonado,

neutraliza parcialmente a carga positiva originada no complexo de transição. A histidina protonada perde o próton, ocorrendo a clivagem do intermediário tetraédrico que restabelece a ligação da carbonila, liberando o diglicérido como primeiro produto e a formação do intermediário acil-enzima finalizando assim a etapa de acilação.

Na etapa de desacilação, a histidina e ácido aspártico auxiliam o ataque nucleofílico do álcool ao intermediário acil-enzima formando um segundo intermediário tetraédrico que se rearranja liberando uma molécula do éster reestabelecendo então a enzima que estará pronta para um novo ciclo em que novas moléculas de diglicérido e/ou monoglicérido serão formadas para que no final, da reação tenha-se a mistura de ésteres alquílicos e glicerol. (BOUSQUET-DUBOUCH, et al., 2001; CASTILLO et al., 2016; GOG, et al., 2012; JEGANNATHAN, et al., 2008; RIBEIRO, et al., 2011).

**Figura 3.** Mecanismo de transesterificação da catálise enzimática



**Fonte:** Adaptado de Bousquet-Dubouch et al., (2001); Castillo et al., (2016); Gog et al., (2012); Jegannathan et al., (2008) e Ribeiro et al., (2011).

As lipases podem ser utilizadas nas reações de transesterificação na forma livre ou imobilizada. As imobilizadas, geralmente, apresentam melhor estabilidade reacional, atividade e tolerância frente aos álcoois, estabilidade térmica e resistência a solventes e facilidade de recuperação. A principal técnica de imobilização é a adsorção sendo utilizados outros métodos como ligação iônica e covalente, reticulação, aprisionamento, encapsulamento e interações hidrofóbicas (AGUIEIRAS, et al., 2015; GOG et al., 2012; JEGANNATHAN, et al., 2008; NARWAL e GUPTA, 2013)

Apesar de sua crescente utilização, o uso das lipases ocorre em menor frequência que outros catalisadores, provavelmente pelo longo tempo reacional, e pelos maiores custos, por conta disso, diferentes procedimentos metodológicos buscam contornar essas barreiras para favorecer seu uso.

Diversas fontes de lipase têm sido utilizadas, se destacando *Burkholderia cepacia* e *Candida antarctica* na forma imobilizadas ou livre, obtendo excelentes resultados.

Embora os trabalhos possuam diferentes metodologias, é comum que os estudos avaliem, sobre a perspectiva de rendimento: a influência no tipo do álcool, sua razão com o óleo, a carga e o tipo de catalisador, a quantidade da água, o tempo e a temperatura. A relação dos solventes e a agitação utilizada é muito pouco avaliada em virtude de sua baixa influência na reação.

Na Tabela 2 é apresentado rotas experimentais para o uso de biocatalisadores nas reações de transesterificações.

Baron et al., (2014) utilizaram a *Burkholderia cepacia* imobilizada em suporte hidrofóbico, na transesterificação do óleo de soja

com etanol em diversas razões do álcool com óleo e em diferentes cargas do catalisador, alcançando rendimentos de 90% numa razão molar (álcool:óleo) de 1:3, 30°C/6h e uma carga de catalisador em 4,5%. Ma et al., (2017) obtiveram 95,42% de rendimento utilizando essa lipase em emulsões estáticas e em diferentes solventes orgânicos, os resultados foram obtidos nas condições otimizadas de 1:5 para razão molar do álcool:óleo à 50°C/30 h de reação, a melhor razão do solvente (*n*-hexano) foi de 1:2 (massa do substrato/volume solvente) para uma carga do catalisador de 83,3% em relação ao substrato utilizado. É importante destacar que a carga do catalisador utilizada por Ma et al., (2017) aparentemente é alta quando comparado com outros trabalhos, no entanto, deve-se ponderar que massa da enzima contida efetiva contida na carga é muito menor e virtude de sua imobilização.

Noureddini et al., (2005) ao compararem a transesterificação do óleo soja utilizando a lipase *Burkholderia cepacia* na forma livre e imobilizada, com metanol e etanol, obtiveram menores resultados para a enzima livre, com rendimentos de 36% na reação com etanol e 41% com metanol, assim, a otimização do processo foi realizada somente para a lipase imobilizada que alcançou rendimentos de 65 e 67% quando utilizado o etanol e o metanol, respectivamente. O maior rendimento para o metanol foi obtido com a razão molar (álcool:óleo) em 1:7,5; carga do catalisador em 0,475%; teor de água em 0,5% e tempo de reação de 1h a 35°C. Para o etanol a otimização ocorreu com uma razão molar em 1:15,2; carga do catalisador em 0,475%; teor de água em 0,3% e tempo de reação de 1h a 35°C.

**Tabela 2:** Condições experimentais em reações de transesterificação utilizando biocatalisadores.

Fonte da lipase	Óleo	Álcool	Teor de água	Solvente	Duração máxima	Melhores rendimentos	Condições do processo para os melhores resultados	Referência
<i>Burkholderia cepacia</i>	Óleo de girassol	Metanol	-	-	24h	>99%	Razão molar em 1:3,4; carga de lipase de 250 U/g de mistura de reação; 1h e 50°C	(Ostojčić et al., 2021)
	Óleo de mamona	Etanol	-	-	24	98,00%	Razão molar em 1:3, etanol adicionado em uma etapa; carga do catalisador em 4,5%; 6h e 30°C	(Baron et al., 2014)
	Óleo de pinhão manso	Etanol	0 a 20% (em peso do substrato)	-	24h	100%	Razão molar em 1:10; carga do catalisador em 52%; teor de água em 20%; 8h; 35°C e 6g de RCF	(Abdulla e Ravindra, 2013)
		Metanol	1 a 12% (em peso do substrato)	-	30h	94%	Razão molar em 1:1,6, metanol adicionado de 3h em 3h; carga do catalisador em 10%; 24h e 35°C	(You et al., 2013)
	Óleo de soja	Etanol	-	<i>n-hexano, terc-butanol e n-heptano</i>	30h	95,42%	Razão molar em 1:5; carga do catalisador em 83,3%; razão do solvente em 1:2; 30 h e 50°C	(Ma et al., 2017)
		Etanol	0,5 a 2% (em peso do substrato)	-	5h	65%	Razão molar em 1:15,2; carga do catalisador em 0,475%; teor de água em 0,3%; 1h e 35°C	(Noureddini et al., 2005)
		Etanol	0,5% (em peso do substrato)	-	1h	36%	***	(Noureddini et al., 2005)
		Metanol	0,5 a 2% (em peso do substrato)	-	5h	67%	Razão molar em 1:7,5; carga do catalisador em 0,475%; teor de água em 0,5%; 1h e 35°C	(Noureddini et al., 2005)
	Metanol	0,5 a 2% (em peso do substrato)	-	1h	41%	***	(Noureddini et al., 2005)	
	<i>Candida rugose</i>	Óleo de soja	Metanol	0 a 20% (em peso do substrato)	-	60h	78%	Razão molar em 1:6; carga do catalisador em 20%; teor de água em 10%; 60h e 45°C

Fonte: Elaborada pelos autores

**Tabela 2:** Condições experimentais em reações de transesterificação utilizando biocatalisadores. Continuação

Fonte da lipase	Óleo	Álcool	Teor de água	Solvente	Duração máxima	Melhores rendimentos	Condições do processo para os melhores resultados	Referência
<i>Candida antarctica</i>	Óleo de colza	Metanol	0 a 5% (em peso do substrato)	-	32h	89,40%	Razão molar em 1:6; carga do catalisador em 20%; teor de água em 2%; 24h e 45°C	(Miao et al., 2018)
	Óleo de cozinha residual	Metanol	-	-	12h	98,50%	Razão molar em 1:2,63; carga do catalisador em 2,2%; 8,11h e 45,97°C	(Wang et al., 2018)
	Óleo de palma para fritura	Metanol	3 a 27% (em peso do substrato)	-	36h	~95%	Razão molar em 1:7; carga do catalisador em 5,5%; teor de água em 16,6%; 22h e 30°C	(Guo et al., 2020)
	Óleo de pinhão manso	Metanol	-	-	24h	95,50%	Razão molar em 1:5; carga do catalisador em 7,3%; 14h e 37,5°C	(Wang et al., 2018)
	Óleo de soja	Etanol	0,1 a 4% (em volume do álcool)	-	24h	89%	Razão molar em 1:10; carga do catalisador em 5%; teor de água em 1%; 24h e 32°C	(Rosset et al., 2011)
	Óleo de soja (acidez de 0,5, 8,5, 50 e 90)	Etanol	-	-	4h	73%	Razão molar em 1:3; carga do catalisador em 9%; acidez 0,5; 4h e 70°C	(Pedro et al., 2017)
	Óleo manjeriço	Metanol	-	-	72h	94,60%	Razão molar em 1:10; carga do catalisador em 6%; 68h e 47°C	(Amini et al., 2017)
<i>Candida antarctica/Rhizomucor miehei</i>	Óleo de cozinha residual	Metanol	-	<i>Terc</i> -butanol	25h	95,60%	Razão molar em 1:3; razão entre as enzimas de 3:1; teor do solvente em 10%; 10h e 50°C	(Babaki et al., 2017)
	Óleo de palma	Metanol	-	<i>Terc</i> -butanol	36h	78,30%	Razão molar em 1:5,9; razão entre as enzimas de 2,5:1; teor do solvente em 39,9%; 33,5h e 35,6°C	(Shahedi et al., 2019)
<i>Candida sp.</i>	Óleo de salada	Metanol	0 a 40% (em peso do substrato)	Acetona, benzeno, clorofórmio, tolueno, éter de petróleo, ciclohexano, n-hexano e n-heptano	60h	96%	Razão molar em 1:3, metanol adicionado em três etapas; teor de água em 20%; solvente: n-hexano; 60h e 40°C	(Nie et al., 2006)

**Fonte:** Elaborada pelos autores

**Tabela 2:** Condições experimentais em reações de transesterificação utilizando biocatalisadores. Continuação

Fonte da lipase	Óleo	Álcool	Teor de água	Solvente	Duração máxima	Melhores rendimentos	Condições do processo para os melhores resultados	Referência
<i>Chromobacterium viscosum</i>	Óleo de pinhão manso	Etanol	0 a 2% (em peso do substrato)	-	8h	73%	Razão molar em 1:4; carga do catalisador em 15%; teor de água em 1%; 8h e 40°C	(Shah et al., 2004)
		Etanol	0 a 2% (em peso do substrato)	-	25h	92%	Razão molar em 1:4; carga do catalisador em 10%; teor de água em 1%; 8h e 40°C	(Shah et al., 2004)
<i>Oreochromis niloticus</i>	Óleo de cozinha residual	Metanol	1 a 9% (em peso do substrato)	-	36h	96,50%	Razão molar em 1:4; carga enzimática de 30 kUnit; teor de água em 3%; 28h e 45°C	(Patchimpet et al., 2020)
<i>Pseudomonas fluorescensa</i>	Óleo de palma	Etanol	-	-	72h	~98%	Razão molar em 1:18; carga do catalisador em 20%; 24h e 58°C	(Moreira et al., 2007)
<i>Rhizomucor miehei</i>	Óleo de soja (acidez de 0,5, 8,5, 50 e 90)	Etanol	-	-	4h	52%	Razão molar em 1:3; carga do catalisador em 9%; acidez 50; 4h e 40°C	(Pedro et al., 2017)
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Óleo de milho	Etanol (absoluto, 96% e 70%)	-	-	48h	98,95%	Razão molar em 1:6, lcool absoluto; carga do catalisador em 2,8%; 12h e 35°C	(Mata et al., 2012)
	Óleo de palma	Etanol	-	<i>Terc</i> -butanol	48h	89,90%	Razão molar em 1:4; carga do catalisador em 20%; razão do solvente em 1:1; 24 h e 45°C	(Raita et al., 2010)
	Óleo de soja	Metanol	-	-	33h	94%	Razão molar em 1,5:1; carga do catalisador em 40%; 4h e 45°C	(Xie & Ma, 2010)
	Óleo de soja (acidez de 0,5, 8,5, 50 e 90)	Etanol	-	-	4h	50%	Razão molar em 1:3; carga do catalisador em 9%; acidez 0,5; 4h e 50°C	(Pedro et al., 2017)
<i>Thermomyces lanuginosus/Candida antarctica</i>	Óleo de colza	Metanol	-	<i>Terc</i> -butanol	25h	95%	Razão molar em 1:4; carga do catalisador em 4%; 12h e 35°C	(LI et al., 2006)

Fonte: Elaborada pelos autores

Outra fonte de lipase que merece destaque é a *Thermomyces lanuginosus*. Xie e Ma (2010), utilizando na forma imobilizada, obtiveram 94% de rendimentos ao reagirem óleo de soja e metanol na razão de 1,5:1; uma carga do catalisador de 40% em um sistema reacional de 4h a 45°C, no mesmo trabalho, os autores utilizaram o catalisador por 3 vezes sem diminuição significativa da sua atividade o que permite sua reutilização ocasionando uma redução nos custos de processo. Raita et al., (2010) na etanolise biocatalítica de óleo de palma em sistema com o solvente *tert*-butanol em que o catalisador consistia em microcristais revestidos de proteína da lipase *Thermomyces lanuginosus*, demonstraram que a adição do *tert*-butanol permitiu rendimentos de aproximadamente 90%, corroborando coma proposta que o *tert*-butanol aumentar a atividade catalítica e a estabilidade operacional das lipases (LI et al., 2006).

Pedro et al., (2017), utilizando o óleo de soja como substrato, alcançou apenas 50% de rendimento, valores muito abaixo dos obtidos por Xie e Ma (2010) que utilizaram tanto o mesmo substrato quanto o álcool. Essa redução no rendimento pode ter sido influenciada pela acidez dos óleos utilizados que variaram de 0,5 a 90, além disso, não houve otimização das condições experimentais, o que poderiam levar a melhores resultados.

Na busca por maiores rendimentos, a combinação de lipases imobilizadas oferece uma boa alternativa. Com esse objetivo, Li et al., (2006), avaliaram o uso combinado de *Thermomyces lanuginosus* e *Candida antarctica* na metanolise do óleo de colza em sistema com o solvente *tert*-butanol obtendo 95% de rendimento ao utilizar uma mistura formada por

3% de *Thermomyces lanuginosus* e 1% de *Candida antarctica* em uma razão molar metanol/óleo de 4:1, sendo que a atividade catalítica da mistura ficou praticamente inalterada quando reutilizadas por 200 vezes. Shahedi et al., (2019) e Babaki et al., (2017) também trabalharam com essa metodologia, utilizando a combinação das lipases *Candida antarctica* e *Rhizomucor miehei* alcançando 78,30 e 95,6% de rendimentos respectivamente através da metodologia de superfície de resposta (RSM)

Quanto ao tipo de álcool, o etanol e metanol são mais utilizados, provavelmente por serem produzidos em maior escala e conseqüentemente mais baratos (SZCZĘSNA ANTCZAK et al., 2009). Álcoois de cadeias maiores já foram estudados em reações de transesterificação, mas esse número tem se reduzido, muito em virtude do possível impedimento estérico (ABIGOR et al., 2000; MUSA, 2016; NELSON; FOGLIA; MARMER, 1996).

Mesmo sendo menos utilizado, o uso do etanol dever ser avaliado de forma positiva, visto que além de suas transesterificações apresentarem excelentes resultados com rendimentos acima de 90% (ABDULLA; RAVINDRA, 2013; BARON et al., 2014; MA, Li et al., 2017; MATA et al., 2012; MOREIRA et al., 2007; SHAH et al., 2004), sua obtenção é feita por rota amigável, diferente do metanol que é oriundo do petróleo.

Outro fator que deve ser levado em consideração no processo reacional é a quantidade de álcool a ser utilizado, conforme já frisado, a reação estequiométrica necessita de 3 mols de álcool para cada 1 mol de triglicerídeo,

portanto, a razão molar álcool/óleo deve partir desse princípio.

Os trabalhos utilizados para esta revisão, utilizaram uma razão molar álcool/óleo de 1:1 até aproximadamente 1:27 o que demonstra uma certa dificuldade em se manter uma metodologia, para esse tipo de reação, na qual uma mesma quantidade de álcool poderá resultar em diferentes rendimentos. Seja qual for a razão molar utilizada, esperasse que as reações ocorram com excesso de álcool para que se tenha além do aumento na miscibilidade um maior contato entre a molécula de álcool e o triglicérido (Musa, 2016). Fato esse corroborados com os trabalhos citados na Tabela 2, em que os maiores rendimentos foram obtidos com a razão molar álcool/óleo acima de 1:4, embora alguns trabalhos com metanol tiveram suas otimizações abaixo da estequiometria mínima necessária (WANG et al., 2018; YOU et al., 2013), algo condizente, já que poderá ocorrer a desnaturação da lipase devido à sua toxicidade, caso a razão molar de metanol para óleo no sistema exceda 1:1 (NIE et al., 2006).

Ainda com relação a utilização do álcool no meio reacional, deve ser levado em consideração, a maneira que o álcool é adicionado na reação, se no início ou durante a reação. You et al., (2013) avaliaram as influências da adição do metanol (uma etapa e nos intervalos de 8, 5 e 3 horas) no rendimento de uma reação que durou 30 horas. Os autores verificaram que o maior rendimento foi obtido quando a adição ocorreu nos intervalos de 3 horas, embora a adição em intervalos de 5 horas também teve bons resultados, indicando que qualquer que seja o intervalo de 5 ou 3 horas, a concentração de metanol no meio reacional não

será tóxica para a lipase não tendo, portanto, efeitos negativos. Nie et al., (2006) obtiveram os melhores resultados quando o metanol foi adicionado em intervalos de 10 horas em uma de reação que durou 30 horas. Intervalos de tempo menores não alteram os rendimentos.

Baron et al., (2014) na etanolise do óleo de mamona, não obtiveram diferenças significativas para o etanol adicionado todo no início ou em dois momentos. Outros trabalhos optaram por adicionar o álcool em mais de uma etapa, mas a influência sobre o rendimento não foi verificada (AMINI et al., 2017; BABAKI et al., 2017; MIAO et al., 2018; PEDRO et al., 2017; RAFIEI et al., 2018).

Seja qual for a lipase utilizada, o tempo de reação, a razão molar ou tipo de álcool utilizada nas reações de transesterificação, o objetivo dos pesquisadores sempre será pela otimização do processo, mas sempre há a possibilidade de se obter rendimentos consideráveis mesmo não utilizando as condições otimizadas.

Wang et al., (2018) utilizando a forma livre da lipase oriunda da *Candida antarctica* obtiveram 95,50% de rendimento, com a razão molar de 1:5, carga do catalisador em 7,3%, tempo de reação de 14h e temperatura de 37,5°C. Esse mesmo estudo obteve 94,53 % ao reduzir o tempo reacional para 10 horas, nas mesmas condições de razão molar, carga do catalisador e temperatura, ou seja, uma redução de 4 horas, se torna mais vantajoso pois menos de 1% ésteres alquílicos deixaram de ser produzidos.

Considerando-se ainda o tempo reacional, Guo et al., (2020) obtiveram um rendimento em torno de 95% em 22 horas de reação e 66% em 4 horas, de modo que mesmo

com um menor rendimento é de considerar os resultados, pois houve uma redução considerável do tempo reacional.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por maiores rendimentos nas reações de transesterificação, tem permitido que diversos catalisadores sejam utilizados para que esse objetivo seja alcançado nos menores custos possíveis. Nesse contexto as lipases, tem sido objeto de estudo interessante, visto que seguem um caminho ambientalmente amigável principalmente quando seu uso está atrelado ao etanol.

As lipases oriundas da *Burkholderia cepacia* e *Candida antarctica* tem sido os principais catalisadores utilizados, no entanto, seus altos custo fazem com que metodologias sejam propostas para minimiza a quantidade utilizada e maximizar os rendimentos obtidos. Para isso tem levado em consideração diversos fatores que possivelmente influenciarão nos rendimentos alcançados, como a origem do óleo, o tipo e a quantidade de álcool utilizado, a carga da lipase aplicada como catalisador, a água e outros solventes envolvidos no sistema reacional e ainda o tempo e a temperatura em que os resultados foram obtidos.

É notório a dificuldade que se tem ao realizar uma comparação detalhada entre os trabalhos, pois não há uma padronização das variáveis utilizadas, alguns avaliam a influência de todas as variáveis possíveis enquanto outros reduzem esse número, de modo que resultados diferentes podem ser alcançados utilizando um mesmo óleo, lipase ou álcool.

Diante do que foi observado, a busca por procedimentos que trará melhores resultados para as reações de transesterificações deve seguir uma constante atualização, buscando torna a catálise enzimática competitiva para esse tipo de processo.

### REFERÊNCIAS

ABDULLA, R.; RAVINDRA, P. Immobilized *Burkholderia cepacia* lipase for biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. oil. **Biomass and Bioenergy**, v. 56, p. 8–13, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.04.010>

ABIGOR, R. D. et al. Lipase-catalysed production of biodiesel fuel from some Nigerian lauric oils. **Biochemical Society Transactions**, v. 28, n. 6, p. 979–981, 2000. <https://doi.org/10.1042/bst0280979>

AGUIEIRAS, E. C.G.; CAVALCANTI-OLIVEIRA, E. D.; FREIRE, D. M.G. Current status and new developments of biodiesel production using fungal lipases. **Fuel**, v. 159, p. 52–67, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.064>

AMINI, Z et al. Biodiesel production by lipase-catalyzed transesterification of *Ocimum basilicum* L. (sweet basil) seed oil. **Energy Conversion and Management**, v. 132, p. 82–90, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.017>

BABAKI, M. et al. Process optimization for biodiesel production from waste cooking oil using multi-enzyme systems through response surface methodology. **Renewable Energy**, v. 105, p. 465–472, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.086>

BAJAJ, A. et al. Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification: An overview. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 62, n. 1, p. 9–14, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2009.09.018>

BARON, A. M. et al. Transesterification of castor oil in a solvent-free medium using the lipase from *Burkholderia cepacia* LTEB11 immobilized on a hydrophobic support. **Fuel**, v. 117, p. 458–462, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.065>

BASKAR, G. et al. Recent advances in heterogeneous catalysts for biodiesel production. **Journal of Energy and Environmental Sustainability**, v. 4, p. 1–5, 2017. <https://doi.org/10.47469/JEES.2017.v04.100038>

- BORGES, M.E.; DÍAZ, L. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2839–2849, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.071>
- BOUSQUET-DUBOUCH, M P. et al. Alcoholysis catalyzed by *Candida antarctica* lipase B in a gas/solid system obeys a Ping Pong Bi-Bi mechanism with competitive inhibition by the alcohol substrate and water. **Biochimica et biophysica acta**, v. 1550, n. 1, p. 90–9, 26 nov. 2001. [https://doi.org/10.1016/s0167-4838\(01\)00273-4](https://doi.org/10.1016/s0167-4838(01)00273-4)
- CASTILLO, E.; CASAS-GODOY, L.; SANDOVAL, G. Medium-engineering: a useful tool for modulating lipase activity and selectivity. **Biocatalysis**, v. 1, n. 1, 2016. <https://doi.org/10.1515/boca-2015-0013>
- CHOUHAN, A. P.S.; SARMA, A. K. Modern heterogeneous catalysts for biodiesel production: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 15, n. 9, p. 4378–4399, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.07.112>
- DE A. RODRIGUES, C. et al. Computational and experimental analysis on the preferential selectivity of lipases for triglycerides in Licuri oil. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 44, n. 10, p. 2141–2151, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02590-y>
- EBRAHIM, S. et al. Production of biodiesel using soybean oil catalyzed by porcine pancreas lipase in a solvent free system. **Middle East Journal of Scientific Research**, v. 11, p. 1323–1327, 2012. <http://dx.doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2012.11.10.1979>
- FARUQUE, M. O.; RAZZAK, S. A.; HOSSAIN, M. M. Application of heterogeneous catalysts for biodiesel production from microalgal oil - A review. **Catalysts**, v. 10, n. 9, p. 1025, 2020. <https://doi.org/10.3390/catal10091025>
- FJERBAEK, L.; CHRISTENSEN, K. V.; NORDDAHL, B. A review of the current state of biodiesel production using enzymatic transesterification. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 102, n. 5, p. 1298–1315, 2009. <https://doi.org/10.1002/bit.22256>
- GOG, A. et al. Biodiesel production using enzymatic transesterification – Current state and perspectives. **Renewable Energy**, v. 39, n. 1, p. 10–16, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.007>
- GULDHE, A. et al. Advances in synthesis of biodiesel via enzyme catalysis: Novel and sustainable approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 1447–1464, 2015. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.09.035>
- GULDHE, A. et al. Biodiesel synthesis from microalgal lipids using tungstated zirconia as a heterogeneous acid catalyst and its comparison with homogeneous acid and enzyme catalysts. **Fuel**, v. 187, p. 180–188, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.09.053>
- GUO, Jingjing; SUN, Shangde; LIU, Jingming. Conversion of waste frying palm oil into biodiesel using free lipase A from *Candida antarctica* as a novel catalyst. **Fuel**, v. 267, p. 117323, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117323>
- HWANG, H. T. et al. Lipase-catalyzed process for biodiesel production: Protein engineering and lipase production. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 111, n. 4, p. 639–653, 2014. <https://doi.org/10.1002/bit.25162>
- JEGANNATHAN, K. R. et al. Production of biodiesel using immobilized lipase - a critical review. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 253–264, 2008. <https://doi.org/10.1080/07388550802428392>
- KENNEDY, J. F. *Biotechnology: Enzyme Technology*. Weinheim: Wiley VCH, 1987. v. 7.
- LEE, D. W.; PARK, Y. M.; LEE, K. Y. Heterogeneous base catalysts for transesterification in biodiesel synthesis. **Catalysis Surveys from Asia**, v. 13, n. 2, p. 63–77, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10563-009-9068-6>
- LI, L. et al. Lipase-catalyzed transesterification of rapeseed oils for biodiesel production with a novel organic solvent as the reaction medium. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 43, n. 1–4, p. 58–62, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2006.06.012>
- LUNA, C. et al. Biochemical catalytic production of biodiesel. **Handbook of Biofuels Production**. [S. l.]: Elsevier, 2016. p. 165–199. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100455-5.00007-2>
- MA, L. et al. Lipase based static emulsions as efficient biocatalysts for biodiesel production. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 92, n. 6, p. 1248–1255, 2017. <https://doi.org/10.1002/jctb.5118>
- MANDARI, V.; DEVARAI, S. K. Biodiesel production using homogeneous, heterogeneous, and enzyme catalysts via transesterification and esterification reactions: A critical review. **BioEnergy Research**, v. 15, n. 2, p. 935–961, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10333-w>
- MATA, T. M. et al. Biodiesel production from corn oil via enzymatic catalysis with ethanol. **Energy & Fuels**, v. 26, n. 5, p. 3034–3041, 2012. <https://doi.org/10.1021/ef300319f>

- MIAO, C. et al. Lipase immobilization on amino-silane modified superparamagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as biocatalyst for biodiesel production. **Fuel**, v. 224, p. 774–782, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.149>
- MOREIRA, A.B. R. et al. Biodiesel synthesis by enzymatic transesterification of palm oil with ethanol using lipases from several sources immobilized on silica-pva composite. **Energy & Fuels**, v. 21, n. 6, p. 3689–3694, 2007. <https://doi.org/10.1021/ef700399b>
- MUKHTAR, A. et al. Current status and challenges in the heterogeneous catalysis for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, p. 112012, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112012>
- MUMTAZ, M.W. et al. Biodiesel Production Through Chemical and Biochemical Transesterification. **Clean Energy for Sustainable Development**. [S. l.]: Elsevier, 2017. p. 465–485. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805423-9.00015-6>
- MUSA, I. A. The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 1, p. 21–31, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>
- NARWAL, S. K.; GUPTA, R. Biodiesel production by transesterification using immobilized lipase. **Biotechnology Letters**, v. 35, n. 4, p. 479–490, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10529-012-1116-z>
- NELSON, L. A.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N. Lipase-catalyzed production of biodiesel. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 73, n. 9, p. 1191–1195, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF02523383>
- NIE, K. et al. Lipase catalyzed methanolysis to produce biodiesel: Optimization of the biodiesel production. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 43, n. 1–4, p. 142–147, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2006.07.016>
- NISAR, S. et al. Trends in widely used catalysts for fatty acid methyl esters (FAME) production: A review. **Catalysts**, v. 11, n. 9, p. 1085, 2021. <https://doi.org/10.3390/catal11091085>
- NOUREDDINI, H.; GAO, X.; PHILKANA, R. S. Immobilized *Pseudomonas cepacia* lipase for biodiesel fuel production from soybean oil. **Bioresource technology**, v. 96, n. 7, p. 769–777, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.029>
- OTERA, J. Transesterification. **Chemical Reviews**, v. 93, n. 4, p. 1449–1470, 1993. <https://doi.org/10.1021/cr00020a004>
- OSTOJČIĆ, Marta et al. Production of biodiesel by Burkholderia cepacia lipase as a function of process parameters. **Biotechnology Progress**, v. 37, n. 2, p. e3109, 2021. <https://doi.org/10.1002/btpr.3109>
- PATCHIMPET, J. et al. Optimization of process variables for the production of biodiesel by transesterification of used cooking oil using lipase from Nile tilapia viscera. **Renewable Energy**, v. 153, p. 861–869, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.039>
- PARMAR, V. S. et al. Potential applications of enzyme-mediated transesterifications in the synthesis of bioactive compounds. **Pure and Applied Chemistry**, v. 64, n. 8, p. 1135–1139, 1992. <https://doi.org/10.1351/pac199264081135>
- PEDRO, K. et al. Enzymatic biodiesel synthesis from acid oil using a lipase mixture. **Química Nova**, v. 41, n. 3, p. 284–291, 2018. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170180>
- RAFIEI, S. et al. Efficient biodiesel production using a lipase@ZIF-67 nanobioreactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 334, p. 1233–1241, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.094>
- RAO, G. B. D. et al. β-Ketoesters: An overview and it's applications via transesterification. **Chemistry Select**, v. 6, n. 40, p. 11060–11075, 2021. <https://doi.org/10.1002/slct.202102949>
- REZENDE, M. et al. Biodiesel: An overview II. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2021. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210046>
- RIBEIRO, B. D. et al. Production and use of lipases in bioenergy: a review from the feedstocks to biodiesel production. **Enzyme Research**, vol. 2011, p. 1–16, 2011. <https://doi.org/10.4061/2011/615803>
- RAITA, M.; CHAMPREDA, V.; LAOSIROPOJANA, N. Biocatalytic ethanolysis of palm oil for biodiesel production using microcrystalline lipase in tert-butanol system. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 6, p. 829–834, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.039>
- RIZWANUL FATTAH, I. M. et al. A. State of the art of catalysts for biodiesel production. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, 2020. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00101>
- SANTOS, S.; PUNA, J.; GOMES, J. A review on bio-based catalysts (immobilized enzymes) used for biodiesel production. **Energies**, vol. 13, no 11, p. 3013, 11 jun. 2020. <https://doi.org/10.3390/en13113013>
- SHAH, S.; SHARMA, S.; GUPTA, M. N. Biodiesel preparation by lipase-catalyzed transesterification of

jatropha oil. **Energy & Fuels**, v. 18, n. 1, p. 154–159, 2004. <https://doi.org/10.1021/ef030075z>

SHAHEDI, M. et al. Co-immobilization of *Rhizomucor miehei* lipase and *Candida antarctica* lipase B and optimization of biocatalytic biodiesel production from palm oil using response surface methodology. **Renewable Energy**, v. 141, p. 847-857, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.042>

SZCZĘSNA ANTCZAK, M. et al. Enzymatic biodiesel synthesis – key factors affecting efficiency of the process. **Renewable Energy**, v. 34, n. 5, p. 1185–1194, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.013>

THANGARAJ, B. et al. Catalysis in biodiesel production—a review. **Clean Energy**, v. 3, n. 1, p. 2–23, 2019. <https://doi.org/10.1093/ce/zky020>

WANG, L. et al. Biocatalytic pickering emulsions stabilized by lipase-immobilized carbon nanotubes for biodiesel production. **Catalysts**, v. 8, n. 12, p. 587, 27 2018. <https://doi.org/10.3390/catal8120587>

XIE, Wenlei; MA, Ning. Enzymatic transesterification of soybean oil by using immobilized lipase on magnetic nano-particles. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 6, p. 890-896, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.02.002>

YOU, Q. et al. Biodiesel production from jatropha oil catalyzed by immobilized *Burkholderia cepacia* lipase on modified attapulgate. **Bioresource Technology**, v. 148, p. 202 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.143>

YUZBASHEVA, E. Y. et al. Biodiesel production via enzymatic catalysis. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 737–749, 2014. <https://doi.org/10.1134/S0003683814080067>

---

#### **Carlos Alberto Lira Junior**

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal do Maranhão, Mestrado em Química pela Universidade Federal do Maranhão é Especialista no Ensino da Química pela Faculdade Integrada de Jacarepaguá. Técnico em Análise Química pelo Instituto Federal do Maranhão. Atualmente é Professor do Instituto Federal do Maranhão-Campus Bacabal.

---

---

#### **Wellington da Conceição Lobato do Nascimento**

Graduação em Química Industrial (2013) e Mestrado em Química pela UFMA (2022), com experiência em estudos teóricos (DFT - PM6 - QM/MM MD) e experimentais para reações de transesterificação utilizando catalisadores metálicos heterogêneos. Pós-Graduado em Metodologia do Ensino em Matemática e Química pela Faculdade de Ciências, Letras e

---

---

Teologia - FACITEL (2015). Pós-Graduado em Saúde Pública e Vigilância Sanitária pela Faculdade Venda Nova do Imigrante - FAVENI (2022).

---

---

#### **Adelton Pereira Maciel**

Químico Industrial e Mestre em Química pela UFPB, Doutor em Química pela UFSCar. Professor Associado IV da Universidade Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Físico-Química Orgânica e Tecnologia. Atua principalmente nos seguintes temas: catálise, biotecnologia, desenvolvimento de produtos e processos, ensino e formação de professores.

---