

Produção de biodiesel, métodos, perspectivas para o Brasil – uma revisão¹

Luciene da Silva Castro²
Audrei Giménez Barañano³

Resumo

A busca pela substituição dos combustíveis fósseis introduziu o biodiesel na matriz energética do Brasil em 2005. O biodiesel é um combustível derivado de biomassa que reduz a emissão de gases poluentes ao meio ambiente. A soja é a principal matéria-prima para a produção desse combustível verde. O presente artigo consiste numa revisão de literatura, com a finalidade de abordar sobre as matérias-primas oleaginosas, os álcoois, a tecnologia e os desafios da produção do biodiesel no Brasil. Essa revisão foi baseada em periódicos, revistas, relatórios e sites. É percebido o quanto o uso do biodiesel como combustível é promissor.

Palavras-chave: Biodiesel. Brasil. Combustível.

Abstract

The search for the replacement of fossil fuels introduced biodiesel into Brazil's energy matrix in 2005. Biodiesel is a fuel derived from biomass that reduces the emission of polluting gases to the environment. Soybeans are the main raw material for the production of this green fuel. The present article consists of a literature review for the purpose of addressing on the oleaginous raw materials, alcohols, the technology and the challenges of biodiesel production in Brazil. This review was based on journals, magazines, reports and websites. It is noticed how the use of biodiesel as biofuel is promising.

Keywords: Biodiesel. Brazil. Fuel.

¹ Dissertação de mestrado em Engenharia Química na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre, ES, Brasil, defendida em 20.02.2017.

² Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil, mestre em Engenharia Química pela UFES, graduada em Engenharia Química pelas Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ), Aracruz, ES. E-mail: lucienecastro@hotmail.com.

³ Doutora e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil, graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. Professora da Graduação e Pós-graduação em Engenharia Química. E-mail: audrei3@gmail.com

Artigo recebido em 19.06.2018 e aceito em 14.11.2018.

1 Introdução

O biodiesel é também conhecido como B100. Ele é um combustível constituído de ésteres monoaquil, de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais (SARIN, 2012), pode ser obtido por diferentes processos, tais como: craqueamento, microemulsão, esterificação, metanol supercrítico e transesterificação (LIN *et al.*, 2011).

A transesterificação é também conhecida como alcoólise, que é um método mais difundido na síntese de biodiesel, devido ao baixo custo e a simplicidade (DEMIRBAS, 2008).

A transesterificação metílica é a mais difundida no mundo. No Brasil, essa tecnologia é mais empregada nas indústrias em funcionamento e produziu 3.801.339 m³ de biodiesel no ano de 2016. Assim sendo o segundo maior produtor mundial de biodiesel (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2017).

O biodiesel brasileiro é consumido de duas formas, através da transformação (conversão do biodiesel em geração eletricidade) e do consumo final (adição do biodiesel ao óleo diesel). O consumo por meio da adição de biodiesel ao diesel é maior em relação a outra forma de consumo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

O consumo de biocombustível, derivado de biomassa, é renovável e biodegradável. Portanto, reduz a emissão de materiais particulados, monóxido e dióxido de carbono, enxofre, poliaromáticos, hidrocarbonetos, fumaça e ruídos (PUNA *et al.*, 2010).

O presente artigo consiste numa revisão de literatura, com a finalidade de abordar sobre as matérias-primas oleaginosas, métodos de produção do biodiesel e perspectivas para Brasil.

2 Breve histórico do biodiesel no Brasil

No Brasil, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) desenvolve estudos sobre combustíveis alternativos e renováveis, provenientes de diversas oleaginosas, desde a década de 1930. Durante a década de 40, foram realizadas as primeiras tentativas do uso de óleos e gorduras em motores a combustão, a partir das matérias-primas como: coco, mamona, babaçu e algodão. Nas décadas de 70 e 80, diante da crise do petróleo, motivou a implantação de programas de incentivo à produção de combustíveis renováveis. No ano 1975, o governo federal brasileiro criou o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), que visava o uso de etanol hidratado como combustível, como maneira de reduzir,

ainda mais o consumo de petróleo (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA, 2018).

Em 1970, a Universidade Federal do Ceará revelou um novo combustível oriundo de óleos vegetais e com propriedades semelhantes ao combustível diesel, o biodiesel. José Expedito de Sá Parente registrou a primeira patente mundial de biodiesel em 1980 (LIMA, 2004).

Na década de 1980, o governo criou o Programa Nacional de Produção de Óleo Vegetais para Fins de Energéticos (PROÓLEO) buscava o uso de óleos vegetais, para fins energéticos como substituto do óleo diesel, previa o uso de blends compostos por 30 % de óleos vegetais em diesel. No ano 1986, após a queda dos preços do petróleo, o PROÓLEO foi abandonado. No final do século XX, o governo federal voltou a discutir sobre o uso do biodiesel. No início do século XXI, instituiu o Programa Brasileiro de Biodiesel (PRÓ-BIODIESEL). No ano 2004, lançou o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), responsável por estudar sobre a viabilidade de utilização de óleos vegetais para fins energéticos e, assim, realizar a implantação do desenvolvimento sustentáveis para promover a inclusão social (MANZONI; BARROS, 2017; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

A produção de biodiesel foi retomada com o surgimento do programa, que tornou obrigatório a adição de 2% biodiesel ao diesel em 2008, enquanto no ano 2010, a adição de biodiesel ao diesel passou para 5%. O percentual obrigatório de biodiesel aumentou para 6%, a partir de junho de 2014 e 7%, a partir de novembro desse mesmo ano. A adição de biodiesel ao diesel aumentou para 9% em março de 2018 (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2018).

Atualmente, há cinquenta e uma (51) usinas de produtoras de biodiesel autorizadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), para operação no Brasil, com capacidade máxima de 22.066,81 m³/dia. A região centro-oeste apresenta maior capacidade de produção de biodiesel (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2018).

3 Matéria-prima usada na produção de biodiesel

Segundo Ambat, Srivastava e Sillanpää (2018), as matérias-primas oleaginosas, para produção de biodiesel, podem ser classificadas em:

- Óleo vegetal comestível: soja, amendoim, cártamo, colza, palma, girassol, arroz branco, cevada, gergelim, milho, sorgo, trigo, palma, girassol e coco;

- Óleo vegetal não comestível: pinhão manso, *karanja*, algas, manga do mar, *Mahua* (*Madhuca indica*), *karanja*, (*Pongamia pinna-ta*), plantas halófitas, jojoba (*Simmondsia chi-nensis*), cumaru, nim, semente de maracujá, moringa, sementes de tabaco, semente de seringueira e borra de café;

- Resíduos ou óleos reciclados;
- Gorduras animais: gordura de frango, gordu- ra de porco, gordura de vísceras, sebo, graxa amarela e subprodutos de óleo de peixe.

A matéria-prima usada para esses fins pode ser classificada também como: convencional e não convencional, conforme observa tabela 1.

Tabela 1 - Matéria-prima convencional e não convencional

Matéria-prima convencional	Matéria-prima não convencional
Soja	Banha de porco
Canola	Sebo
Babaçu	Óleo de Peixe
Semente de algodão	Bactéria
Óleo de fritura	Algas
Girassol	Fungi
Sésamo	
Piqui	

Fonte: Shahid e Jamal (2011).

Segundo Ahmad *et al.* (2011), a matéria-prima pode ser classificada em três gerações:

- Primeira geração: O biodiesel produzido, a partir de óleo comestíveis;
- Segunda geração: O biodiesel produzido, a partir de óleo não comestível;
- Terceira geração: O biodiesel derivado de microalgas.

A escolha da matéria-prima para produ- ção biodiesel, depende das condições locais e da disponibilidade (BALAMURUGAN; ARUN; SATHISHKUMAR, 2018).

Atualmente, no Brasil, óleo de soja é a matéria- prima mais utilizada na síntese de biodiesel, porém são utilizados também o óleo de algodão, o óleo de canola, o óleo de palma, o sebo, a gordura de por- co, o óleo de fritura e gordura de frango (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2018), tais como se visualiza na figura 1. No entanto, o Brasil apresenta várias ole- aginosas que tem grande potencial para a produção de biodiesel como: crambe, amendoim, rabanete, ba- baçu, macaúba, pequi (PESSOA *et al.*, 2015), semente de seringueira e tucumã (CREMONEZ *et al.*, 2015; MENDONÇA *et al.*, 2019).



Figura 1 - Matéria-prima para a produção de biodiesel por região
Fonte: Bergmann *et al.* (2013); Cremonez *et al.* (2015).

3.1 Propriedades das matérias-primas de biodiesel

As gorduras e os óleos são substâncias hidrofóbicas e são insolúveis em água. As propriedades do biodiesel dependem da quantidade de cada ácido graxo presente na matéria-prima (KARMAKAR; KARMAKAR; MUKHERJEE, 2010). A composição dos ácidos graxos das matérias-primas é

representada na tabela 3.

A tabela 2 mostra o teor de óleo presentes nas matérias-primas. O óleo de coco apresentou maior teor de óleo entre as matérias-primas listadas, sendo mais de três (3) vezes superior ao óleo soja. A palma apresentou o maior rendimento de óleo entre as matérias-primas, sendo mais de treze (13) vezes superior ao rendimento do óleo de soja.

Tabela 2 - Teor de óleo e rendimento de óleo das oleaginosas

Matéria-prima	Teor de óleo (%)	Rendimento do óleo (L/ha)
Milho	48	172
Coco	63-65	2689
Algodão	18-25	325
Mamona	40-50	1413
Soja	15-20	446
Palma	30-60	5950
Girassol	25-35	952
Amendoim	45-55	1059

Fonte: Karmakar, Karmakar e Mukherjee (2010).

A tabela 4 apresenta as características físicas e químicas que influenciam a produção de biodiesel e sua qualidade. O óleo de milho apresentou maior ponto de fulgor, e óleo de pinhão manso apresentou o menor entre as matérias contempladas na tabela 4.

O teor de umidade, impurezas e insaponificáveis mais representativo foi encontrado no óleo de coco, sendo necessário realizar um pré-tratamento para ser utilizado como matéria-prima, para a produção de biodiesel.

O óleo de mamona apresentou maior viscosidade comparada com as demais matérias-primas, sendo 83 vezes superior ao óleo de soja. O óleo de coco e o óleo de semente de tabaco apresentaram viscosidades próximas.

O índice de iodo das matérias-primas variou de 7,5g/100g até 154g/100g correspondente ao óleo de coco e ao óleo de semente de tabaco, respectivamente.

A faixa de índice de saponificação das matérias primas foi 183 até 267, correspondente ao óleo de milho e ao óleo de coco, respectivamente. O óleo de mamona e óleo de semente de tabaco apresentaram índice de saponificação próximos, assim como o sebo e a gordura amarela.

A densidade das matérias-primas compreendeu numa faixa de 902 kg/m³ até 960 kg/m³. O óleo de soja, o óleo de gergelim, o óleo de coco, óleo de palma e óleo de nim apresentaram densidades próximas.

O número de cetano variou de 37,1 °C a 42,3 °C correspondentes ao óleo de girassol e ao óleo de mamona, respectivamente.

O calor de combustão das matérias-primas

compreendeu de 39,3 a 39,8 MJ/kg que está relacionado ao óleo de mamona e óleo de amendoim, respectivamente.

4 Método de obtenção de biodiesel

Como foi salientado anteriormente, o biodiesel pode ser obtido por diferentes métodos, tais como: a diluição, o craqueamento, a microemulsão e a transesterificação (SURESH; JAWAHAR; RICHARD, 2018). A transesterificação é o método mais utilizado para a produção de biodiesel (KUSS *et al.*, 2015). A tabela 5 mostra a comparação entre esses métodos.

4.1 Transesterificação

A transesterificação, conhecida como alcoólise, consiste em uma reação entre o óleo ou gordura e o álcool, formando um éster (biodiesel) e glicerina (YAN; YAN, 2017). A reação global de transesterificação está apresentada na figura 2. O uso de catalisador é responsável em melhorar a taxa de reação e, conseqüentemente, o rendimento (DEMIRBAS, 2008).

O processo de transesterificação pode ser classificado: catalítico e não catalítico (SHARMA *et al.*, 2018), conforme figura 3. A transesterificação catalítica pode utilizar catalisador homogêneo ou heterogêneo (TRAN; CHANG; LEE, 2017). A transesterificação não catalítica utiliza álcool sobre condições supercríticas (SILVA; OLIVEIRA, 2014).

Alguns problemas relacionados à transesterificação

Tabela 3 - Composição em ácidos graxos de diferentes matérias-primas

Matéria-prima	Composição de ácidos graxos										
	Ácido Láurico C12	Ácido mirístico C14	Ácido palmítico C16	Ácido Estearico C18	Ácido oleico C18:1	Ácido Linoleico C18:2	Ácido linolênico C18:3	Ácido araquídico C20:0	Ácido eicosenóico C20:1	Ácido eúrico C22:1	
Soja	-	-	6-10	2-5	20-30	50-60	5,0-11,0	-	-	-	-
Colza	-	-	1-3	0-1	10-15	12-15	8-12	7-10	-	-	45-60
Amendoim	-	-	8-9	2-3	52,0-60,0	20-30	-	-	-	-	-
Girassol	-	-	5-8	2-6	15-40	30-70	3-5	-	-	-	-
Palma	-	0,5-2,0	32,0-45,0	2,0-7,0	38,0-52,0	-	-	-	-	-	-
Pinhão manso	-	14,1-15,3	0-13	-	34,3-45,8	14,1-15,3	0-0,3	-	-	-	-
Algodão	-	-	22,96-28,33	0,8-0,9	13,27-18,3	-	0,2	-	-	-	-
Gergelim	-	-	13	4	53	30	-	-	-	-	-
Sebo	-	23,3	19,3	42,4	2,9	0,9	2,9	-	-	-	-
Coco	45-53	16-21	7-10	2-4	5-10	1-2,5	-	-	-	-	-
Mostarda	-	-	-	1-2	8-23	10-24	8-18	-	5-13	-	20-50
Gordura amarela	-	-	2,43	23,24	12,96	44,32	6,97	0,67	-	-	-
Nim	-	-	4-7	2-4	25-40	35-40	25-60	-	-	-	-
Gordura frango	-	3,1	19,82	3,06	37,62	-	-	-	-	-	-
Microalgas	-	12-15	10-20	-	-	-	-	-	-	-	-
Seringueira	-	2,2	10,2	8,7	24,6	39,6	16,3	-	-	-	-
Karanja	-	-	3,7-7,9	2,4-8,6	44,5-71,3	10,8-18,3	-	-	-	-	-

Fonte: Ambat, Srivastava e Sillanpää (2018).

Tabela 4 - Propriedades físico-química do biodiesel de diferentes matérias-primas

Matéria-prima	Ponto de Fulgor (°C)	Teor de umidade, impurezas e insaponificáveis (%)	Viscosidade 40°C (mm ² /s)	Índice de iodo (g/100 g)	Índice de saponificação (mg KOH/g)	Densidade (kg/m ³)	Número de cetano (°C)	Calor de combustão (MJ/kg)
Comestível								
Soja	254	0,77	28,87	128-143	195,30	913,8	37,9	39,6
Canola	246	0,85	34,72	-	189,80	911,5	37,6	39,7
Girassol	274	0,65	35,84	125-140	193,14	916,1	37,1	39,6
Palma	267	0,03	44,79	48-58	208,63	918,0	42,0	-
Amendoim	271	-	39,60	84-100	191,50	902,6	41,8	39,8
Milho	277	1,67	30,75	103-128	183,06	909,5	37,6	39,5
Farelo de arroz	-	2,73	36,68	90-108	201,27	918,5	-	-
Gergelim	260	-	36,00	103-116	196,50	913,3	41,8	-
Coco	-	2,74	27,26	7,5-10,5	267,56	918	-	39,3
Não comestível								
Pinhão manso	225	0,16	33,90	103-115	200,80	940	-	39,4
Algodão	234	-	33,50	82-98	198,50	914,8	-	39,4
Nim	-	2,16	50,30	65-80	209,66	918,5	-	38,65
Karanja	-	0,72	43,61	81-90	188,50	936,5	-	-
Mahua	232	-	24,50	58-70	190,5	960	-	-
Mamona	-	0,41	251,20	83-86	191,08	955	42,3	37,4
Tabaco	-	-	27,70	125-154	191,50	917,5	-	-
Gordura animal								
Sebo	-	0,84	45,34	-	198	-	-	-
Gordura amarela	-	0,68	132,10	-	198,36	-	-	-

Fonte: Karmakar, Karmakar e Mukherjee (2010).

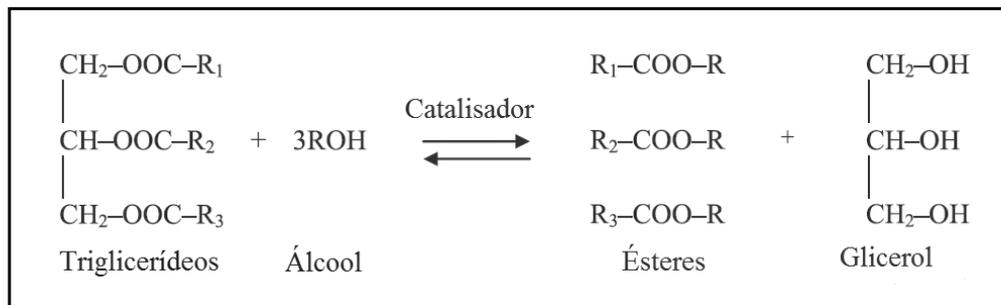


Figura 2 - Reação de transesterificação dos triglicerídeos
 Fonte: Demirbas (2008).

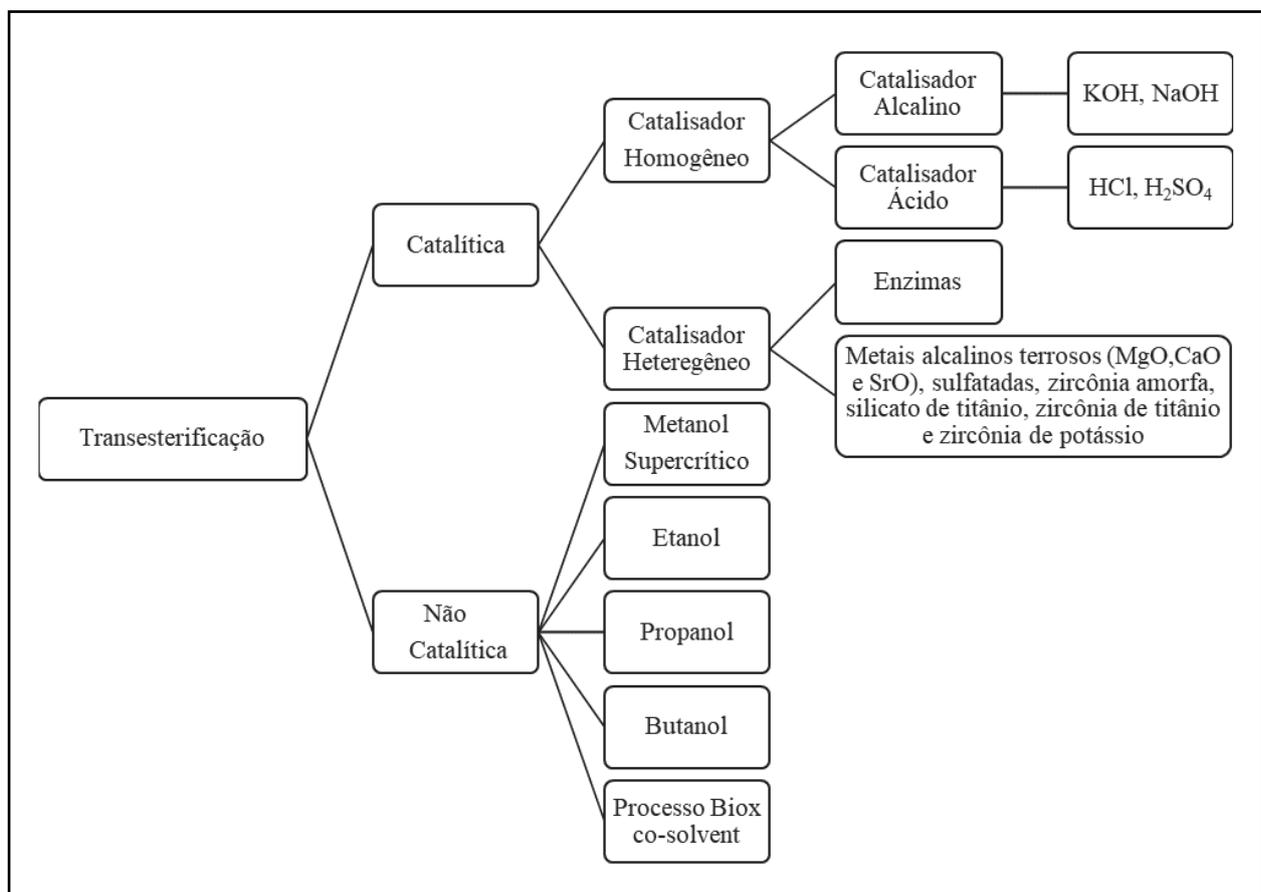


Figura 3 - Classificação do processo de transesterificação
 Fonte: Atabani *et al.* (2012).

catalítica, quando catalisada por base, há formação de sabões, a partir dos ácidos graxos livres, afetando diretamente o rendimento de biodiesel e dificulta a separação entre o biodiesel e a glicerina (CHEN *et al.*, 2015). A transesterificação catalítica ácida é uma alternativa viável, no entanto, a reação é muito lenta (JUNG *et al.*, 2017). A transesterificação não catalítica não apresenta esses problemas, porém requer um elevado custo com

a aquisição reatores e na sua operação e um elevado consumo de metanol (ATABANI *et al.*, 2012).

Na tabela 5, encontram-se os principais métodos para produção de biodiesel, assim como seu princípio, vantagens e desvantagens, enquanto na tabela 6, vê-se a comparação de estudo com transesterificação de catalítica e não catalítica.

Tabela 5 - Comparação dos principais métodos de produção do biodiesel

Método	Princípio	Vantagens	Desvantagens
Microemulsão	Processo que usa um fluido isotrópico para formar uma dispersão coloidal.	Processo simples	Alta viscosidade; volatilidade ruim; estabilidade ruim.
Pirólise ou craqueamento	Tratamento termoquímico, através da clivagem das ligações químicas, ou seja, a quebra das ligações das moléculas de triglicerídeos, com o intuito de obter moléculas menores	Processo simples; não poluente.	Alta temperatura requerida; equipamento caro; baixa purificação.
Transesterificação	Consiste em uma reação entre o óleo ou gordura e o álcool com auxílio o catalisador, formando um éster (biodiesel) e glicerina.	Propriedade do combustível é próximo do diesel; alta eficiência de conversão; Baixo custo; adequado para produção industrial.	Baixo índice de ácidos graxos livres e o teor de água é requerido (para catalisador básico); poluentes serão produzidos, devido à necessidade do produto ser neutralizado e lavado. Acompanhamento do lado da reação; dificuldade de separação do produto da reação.
Metanol supercrítico	O processo requer condições extremas, pois a temperatura e a pressão precisam ser acima do ponto crítico do metanol.	Não catalítico; curto tempo de reação; alta conversão; boa adaptabilidade.	Elevada temperatura e elevada pressão; equipamento caro; alto consumo de energia.

Fonte: Lin *et al.* (2011); Dong e Zhao (2018); Noor, Noor e Mamat (2018); Son *et al.* (2018).

Tabela 6 - Produção de biodiesel de diferentes oleaginosas em transesterificação catalítica e não catalítica

Matéria-prima	Catalisador	Álcool	Método	Referências
Microalgas	NaOH H ₂ SO ₄	Metanol	Transesterificação catalítica	(CHEN; LEE, 2018)
Pinhão manso	NaOH Na ₂ ZrO ₃	Metanol	Transesterificação catalítica	(MARTÍNEZ <i>et al.</i> , 2019)
Colza	Óxido de grafeno	Metanol	Transesterificação catalítica	(GAIDUKEVIČ <i>et al.</i> , 2018)
Amêndoas amargas Resíduos de peixes	Acetato de potássio em CaO	Metanol	Transesterificação catalítica	(FADHIL; AL-TIKRITY; KHALAF, 2018)
Mamona, Pinhão Manso, Karanja, Tabaco, Soja, Jojoba	-	Metanol	Transesterificação não catalítica supercrítico	(ANDREO-MARTÍNEZ <i>et al.</i> , 2018)
Microalgas	-	Metanol	Transesterificação não catalítica supercrítico	(SRIVASTAVA; PAUL; GOUD, 2018)
Microalgas	-	Etanol Metanol	Transesterificação não catalítica supercrítico	(LIU <i>et al.</i> , 2015)

Fonte: As autoras (2018).

4.1.1 Variáveis que influenciam a reação de transesterificação

Segundo Sharma e Singh (2009) e Keskin, (2018) a transesterificação pode ser afetada por vários fatores tais como:

- Ácidos graxos livres e umidade: A matéria-prima requer um teor de ácidos graxos livres, abaixo de 3% e ausência de água, quando a reação for catalisada por base (MEHER; SAGAR; NAIK, 2006). O elevado índice de acidez alto ser compensado com adição de catalisador básico. O excesso ou insuficiência de catalisador e a presença de água pode provocar a formação de sabões. Esse sabão pode causar o aumento da viscosidade ou formação de géis que interferem na reação e na separação glicerina (DEMIRBAS, 2008);
- Temperatura: A elevada temperatura pode diminuir a viscosidade do óleo e aumentar a velocidade de reação (KOH; GHAZI, 2011), porém elevadas temperaturas devem ser evitadas em razão da aceleração da reação saponificação (VERMA; SHARMA; DWIVEDI, 2016). Visto que a temperatura da reação deve ser menor que o ponto de ebulição do álcool para evitar perda, através da vaporização, pode provocar a diminuição no rendimento do biodiesel (KOH; GHAZI, 2011).
- Tipo de catalisador e quantidade de catalisador: A natureza do catalisador usado na produção do biodiesel é crucial na conversão do triglicerídeo em biodiesel (ATADASHI *et al.*, 2013). A seleção adequada do catalisador depende da quantidade de ácidos graxos livres em óleo (CHOUHAN; SARMA, 2011). Adição do catalisador alcalino, acima da concentração ótima, provoca mais a formação de sabões, conseqüentemente reduz o rendimento de éster. A insuficiência de catalisador resulta na conversão incompleta dos triglicerídeos em ésteres (KOH; GHAZI, 2011). Atualmente, tecnologia implementada é baseada em catalisador homogêneo básico para a produção de biodiesel, no entanto o catalisador heterogêneo apresenta inúmeras vantagens, mas a dificuldade de manuseio para aplicação em planta de grande porte e métodos complexos de síntese são as limitações para uso industrialmente (BANKOVIĆ-ILIĆ *et al.*, 2017). O catalisador homogêneo básico mais utilizado são NaOH e KOH ou metóxido de sódio e metóxido de potássio (ESSAMLALI *et al.*, 2018).

- Tipo de álcool: O metanol, etanol, propanol, butanol e álcool amílico são os álcoois que podem ser utilizados na transesterificação do biodiesel (SAKTHIVEL; SURESH; SELVARAJU, 2018). O etanol e metanol são frequentemente utilizados nesse processo. O metanol é mais empregado, devido ao baixo custo e disponibilidade (NAVAS *et al.*, 2018). No Brasil, há grande disponibilidade abaixo do etanol, devido à produção alcooleira no país já ser consolidada (MARTINS *et al.*, 2018).
- Razão molar de álcool-óleo: A reação de transesterificação três (3) mols de álcool e um (1) mol de triglicerídeos para a obtenção de três (3) mols de ésteres de ácidos graxos e um (1) mol de glicerina. A reação de transesterificação é reversível e requer um excesso de álcool, de modo que o equilíbrio da reação favoreça a formação de ésteres (LEUNG; GUO, 2006).
- Tempo de reação: O rendimento máximo para a catálise básica pode ser atingido em um tempo de reação de até 120 min e, enquanto para catálise ácida, é necessário um tempo de reação superior à catálise básica, devido ao catalisador básico apresentar maior reatividade. O tempo de reação pode variar muito, no entanto o excesso de tempo de reação pode diminuir o rendimento do éster e deslocar a reação de transesterificação e, assim, permitir a formação de maior quantidade de ácidos graxos livres para a formação de sabões (KOH; GHAZI, 2011).
- Intensidade de agitação: A intensidade de agitação é responsável por promover o contato eficiente entre reagentes e catalisador (LAKSHMI *et al.*, 2011). As reações geralmente são agitadas mecanicamente, para promover o aumento da transferência de massa e, assim, favorecer a formação de emulsões durante a reação.

A tabela 7 mostra as propriedades do biodiesel de diferentes matérias-primas. A faixa do ponto de fulgor para o biodiesel variou entre 135°C e 208°C. O número de cetano variou entre uma faixa de 45°C até 62°C, sendo correspondente ao biodiesel de óleo de soja e de óleo de palma. O biodiesel de óleo de coco apresentou menor densidade. A viscosidade reduziu significativamente para todos os biodieseis. É notável que todos parâmetros diminuiu, em relação à matéria-prima, exceto número de cetano.

Tabela 7 - Propriedades físico-química do biodiesel de diferentes matérias-primas

Matéria-prima	Ponto de fulgor (°C)	Viscosidade 40°C (mm ² /s)	Densidade (kg/m ³)	Número de cetano (°C)	Calor de combustão (MJ/kg)
Comestível					
Soja	178	4,439	884,0	45,0	33,5
Canola	-	4,039	882,0	54,4	-
Girassol	183	4,439	880,0	49,0	33,5
Palma	164	5,700	876,0	62,0	-
Amendoim	176	4,900	883,0	54,0	33,6
Milho	170	4,400	885,0	53,0	-
Farelo de arroz	-	4,958	885,5	-	-
Gergelim	170	4,200	867,3	50,8	40,4
Coco	110	2,726	807,3	-	-
Não comestível					
Pinhão manso	135	4,800	879,5	-	39,2
Algodão	-	-	-	-	-
Nim	-	5,213	884,5	-	-
<i>Karanja</i>	-	-	-	-	-
<i>Mahua</i>	208	3,980	850	-	37,0
Mamona	-	15,250	899,0	-	37,4
Tabaco	-	5,200	882,0	-	44,6
Gordura animal					
Sebo	-	4,824	-	-	-
Gordura amarela	-	4,552	-	-	-

Fonte: Karmakar, Karmakar e Mukherjee (2010).

5 Perspectivas

Segundo a União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (2016), a participação do biodiesel na matriz energética brasileira será ampliada gradualmente na mistura obrigatória até alcançar uma adição de 20% de biodiesel ao diesel em 2030, conforme ilustra a figura 4. Desse modo, o Brasil alcançará uma participação na matriz energética brasileira de 3,31% e uma produção de 18 bilhões de litros de biodiesel em 2030. De acordo

com o Greenpeace (2016), o Brasil deve utilizar B100 em 2050.

A soja, o dendê e sebo bovino serão as principais matérias-primas para a produção de biodiesel. Embora o óleo de fritura, de algodão, de canola, de amendoim, girassol, de babaçu, de macaúba, de camelina, de pinhão manso, de crambe, de algas e gordura suína, de frango e de peixes também serão usados na síntese de biodiesel (UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL E BIOQUEROSENE, 2016).

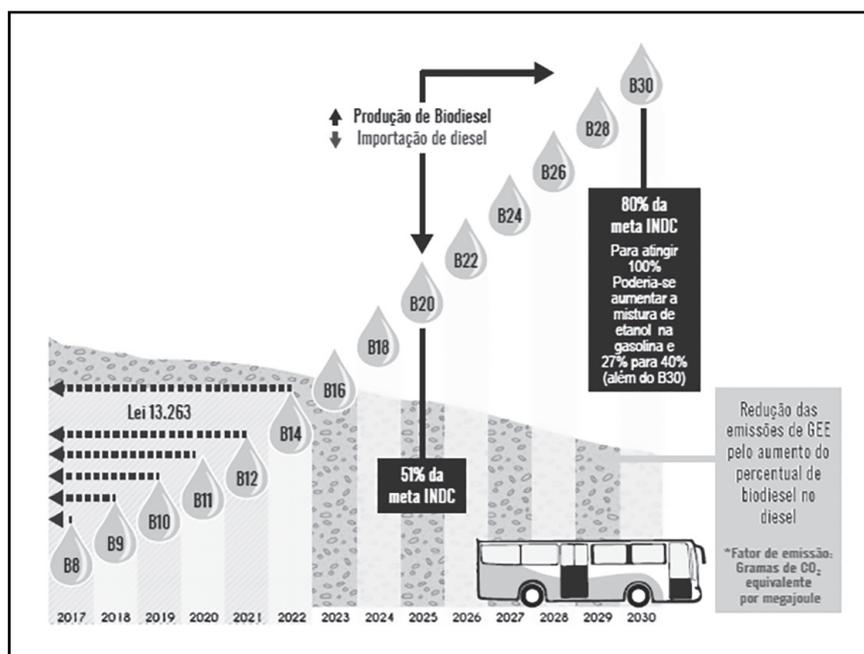


Figura 4 - Proposta de adição de biodiesel
 Fonte: União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (2016).

Estudos inéditos estão sendo desenvolvidos para a produção de biodiesel de outras fontes de matéria-prima, tais como macaúba. O óleo de macaúba foi testado em motores e foi comprovado a sua eficácia para aplicação na síntese de biodiesel (BIODIESELBR, 2016). A macaúba, sem nenhum melhoramento genético, pode produzir até 4000 L de óleo por hectares, sendo 4 vezes superior ao rendimento do óleo de soja.

6 Conclusão

O biodiesel é um combustível renovável e limpo que pode ser obtido, a partir vários métodos tais como: transesterificação, microemulsão, craqueamento, esterificação e metanol supercrítico. Dentre esses métodos, a transesterificação é o mais utilizado.

A matéria-prima mais utilizada na indústria de biodiesel brasileira ainda é essencialmente um óleo exótico comestível, o óleo de soja. No entanto, esse cenário pode ser alterado com o aproveitamento da maior biodiversidade no planeta, de onde podem se obter fontes de óleos não comestíveis, tais como: a semente de seringueira ou a macaúba que tem elevado rendimento de óleo, comparado com a soja. Além disso, o aproveitamento da enorme extensão territorial permite a expansão das culturas de oleaginosas de interesse.

Ainda vale ressaltar que o Brasil pode se beneficiar com uma melhoria nas tecnologias de produção

de biodiesel via etanólica, uma vez que esse álcool tem baixa toxicidade, comparada com metanol, e o Brasil é um grande produtor de etanol.

O biodiesel é um combustível alternativo para evitar os combustíveis fósseis menos poluentes e, em virtude disso, o seu uso poderá ser difundido com o aprimoramento nas tecnologias de obtenção e introdução de novas matérias-primas com custo competitivo.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E Biocombustíveis. **Biocombustíveis:** o que são os Biocombustíveis. 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?id=470>. Acesso em: 17 fev. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E Biocombustíveis. **Biocombustíveis:** O que são os Biocombustíveis. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?id=470>. Acesso em: 20 mar. 2018.

AHMAD, A. L. *et al.* Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 584-593, 2011.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. Recent advancement in biodiesel production

- methodologies using various feedstock: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 356–369, 2018.
- ANDREO-MARTÍNEZ, P. *et al.* Advances on kinetics and thermodynamics of non-catalytic supercritical methanol transesterification of some vegetable oils to biodiesel. **Energy Conversion and Management**, v. 173, p. 187-196, 2018.
- ATABANI, A. E. *et al.* A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2070-2093, 2012.
- ATADASHI, I. M. *et al.* The effects of catalysts in biodiesel production: a review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 19, p. 14-26, 2013.
- BALAMURUGAN, T.; ARUN, A.; SATHISHKUMAR, G. B. Biodiesel derived from corn oil – a Fuel substitute for diesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 772-778, 2018.
- BANKOVIĆ-ILIĆ, I. B. *et al.* Application of nano CaO-based catalysts in biodiesel synthesis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, 746-760, 2017.
- BERGMANN, J. C. *et al.* Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 411-420, 2013.
- BIODIESELBR. **Eficácia do biodiesel de macaúba é comprovada por pesquisa da UFLA**. 2016. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/macauaba/eficacia-biodiesel-macauba-comprovada-pesquisa-ufla-290716.htm>. Acesso em: 17 out. 2016.
- CHEN, G. *et al.* A biomimetic silicification approach to synthesize CaO-SiO₂ catalyst for the transesterification of palm oil into biodiesel. **Fuel**, v. 153, p. 48-55, 2015.
- CHEN, J. J.; LEE, Y. R. Optimization of the transesterification reaction of microalgal *Monoraphidium* sp. **Renewable Energy**, v. 129, p. 717-723, 2018.
- CHOUHAN, A. P. S.; SARMA, A. K. Modern heterogeneous catalysts for biodiesel production: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 4378-4399, 2011.
- CREMONEZ, P. A. *et al.* Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 415-428, 2015.
- DEMIRBAS, A. **Biodiesel: a realistic Fuel alternative for diesel engines**. London: Springer, 2008. 208 p.
- DONG, R.; ZHAO, M. Research on the pyrolysis process of crumb tire rubber in waste cooking oil. **Renewable Energy**, v. 125, p. 557-567, 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco nacional energético**. 2017. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 17 fev. 2017.
- ESSAMLALI, Y. *et al.* Sodium modified fluorapatite as a sustainable solid bi-functional catalyst for biodiesel production from rapeseed oil. **Renewable Energy**, 2018. (No prelo).
- FADHIL, A. B.; AL-TIKRITY, E. T. B.; KHALAF, A. M. Transesterification of non-edible oils over potassium acetate impregnated CaO solid base catalyst. **Fuel**, v. 234, p. 81-93, 2018.
- GAIDUKEVIČ, J. *et al.* Modified graphene-based materials as effective catalysts for transesterification of rapeseed oil to biodiesel Fuel. **Chinese Journal of Catalysis**, v. 39, n. 10, p. 1633-1645, 2018.
- GREENPEACE. **Cenário brasileiro 2016**. Rio de Janeiro, 2016. p. 1-96.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Tecnologia e inovação desde 1921**. 2018. Disponível em: <http://www.int.gov.br/historico>. Acesso em : 11 mar. 2018.
- JUNG, J. M. *et al.* Biochar as porous media for thermally-induced non-catalytic transesterification to synthesize fatty acid ethyl esters from coconut oil. **Energy Conversion and Management**, v. 145, p. 308-313, 2017.
- KARMAKAR, A.; KARMAKAR, S.; MUKHERJEE, S. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 19, p. 7201-7210, 2010.
- KESKIN, A. Two-step methyl ester production and characterization from the broiler rendering fat: the optimization of the first step. **Renewable Energy**, v. 122, p. 216-224, 2018.
- KOH, M. Y.; GHAZI, T. I. M. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2240-2251, 2011.

- KUSS, V. V. *et al.* Potential of biodiesel production from palm oil at Brazilian Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 1013-1020, 2015.
- LAKSHMI, C. V. *et al.* Mixing characteristics of the oil-methanol system in the production of biodiesel using edible and non-edible oils. **Fuel Processing Technology**, v. 92, p. 1411-1417, 2011.
- LIMA, P. C. R. **O biodiesel e a inclusão social**. 2004. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema16>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- LIN, L. *et al.* Opportunities and challenges for biodiesel Fuel. **Applied Energy**, v. 88, p. 1020-1031, 2011.
- LEUNG, D. Y. C.; GUO, Y. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. **Fuel Processing Technology**, v. 87, p. 883-890, 2006.
- LIU, J. *et al.* Production of biodiesel from microalgae oil (*Chlorella protothecoides*) by non-catalytic transesterification: evaluation of reaction kinetic models and phase behavior. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 99, p. 38-50, 2015.
- MANZONI, L. P.; BARROS, T. D. **Biodiesel**. 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl290nv02wx5eo0sawqe3ho6o476.html>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- MARTINS, A. L. *et al.* Ethanol production in Brazil: an assessment of main drivers with MCMC generalized linear mixed models. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 132, p. 16-27, 2018.
- MARTÍNEZ, A. *et al.* In-situ transesterification of *Jatropha curcas* L. seeds using homogeneous and heterogeneous basic catalysts. **Fuel**, v. 235, p. 277-287, 2019.
- MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, p. 248-268, 2006.
- MENDONÇA, I. M. *et al.* New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): parameters optimization study. **Renewable Energy**, v. 130, p. 103-110, 2019.
- NAVAS, M. B. *et al.* Transesterification of soybean and castor oil with methanol and butanol using heterogeneous basic catalysts to obtain biodiesel. **Chemical Engineering Science**, v. 187, p. 444-454, 2018.
- NOOR, C. W. M.; NOOR, M. M.; MAMAT, R. Biodiesel as alternative Fuel for marine diesel engine applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 127-142, 2018.
- PESSOA, A. S. *et al.* Extraction of pequi (*Caryocar coriaceum*) pulp oil using subcritical propane: Determination of process yield and fatty acid profile. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 101, p. 95-103, 2015.
- PUNA, J. F. *et al.* Advances on the development of novel heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides in biodiesel. **Fuel**, v. 89, p. 3602-3606, 2010.
- SARIN, A. **Biodiesel: production and properties**. Amritsar: Royal Society of Chemistry, 2012.
- SAKTHIVEL, S.; SURESH, S.; SELVARAJU, N. Biodiesel: technical viability for India. **Biorefining of Biomass to BioFuels**, v. 4, p. 343-359, 2018.
- SHAHID, E. M.; JAMAL, Y. Production of biodiesel: a technical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 4732-4745, 2011.
- SHARMA, S. *et al.* Engineered nanoporous materials mediated heterogeneous catalysts and their implications in biodiesel production. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 1, n. 1, p. 11-21, 2018.
- SHARMA, Y. C.; SINGH, B. Development of biodiesel: current scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1646-1651, 2009.
- SILVA, C.; OLIVEIRA, J. V. Biodiesel production through non-catalytic supercritical transesterification: current state and perspectives. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 2, p. 271-285, 2014.
- SON, J. *et al.* Wet in situ transesterification of spent coffee grounds with supercritical methanol for the production of biodiesel. **Bioresource Technology**, v. 259, p. 465-468, 2018.
- SRIVASTAVA, G.; PAUL, A. K.; GOUD, V. V. Optimization of non-catalytic transesterification of microalgae oil to biodiesel under supercritical methanol condition. **Energy Conversion and**

Management, v. 156, p. 269-278, 2018.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 2068-2071, 2007.

SURESH, M.; JAWAHAR, C. P.; RICHARD, A. A review on biodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable compression ratio diesel engine using biodiesel and its blends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 38-49, 2018.

TRAN, D. T.; CHANG, J. S.; LEE, D. J. Recent insights into continuous-flow biodiesel production via catalytic and non-catalytic transesterification

processes. **Applied Energy**, v. 185, p. 376-409, 2017.

UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL E BIOQUEROSENE. **Biodiesel é forte aliado contra mudanças climáticas**. 2016. Disponível em: <https://ubr.bio.com.br/2016/06/03/biodiesel-e-forte-aliado-contramudancas-climaticas/>. Acesso em: 15 out. 2018.

VERMA, P.; SHARMA, M. P.; DWIVEDI, G. Impact of alcohol on biodiesel production and properties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 319-333, 2016.

YAN, J.; YAN, Y. Biodiesel Production and Technologies. **Encyclopedia of Sustainable Technologies**, v. 3, p. 261-272, 2017.

