

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO – UNIFESP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS, QUÍMICAS E FARMACÊUTICAS

GABRIELA VALIM MATIAS

**ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ÓLEO OBTIDO DA
BIOMASSA DO CAFÉ PARA A OBTENÇÃO DE BIODIESEL**

Diadema, 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO – UNIFESP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS, QUÍMICAS E FARMACÊUTICAS

GABRIELA VALIM MATIAS

**ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ÓLEO OBTIDO DA
BIOMASSA DO CAFÉ PARA A OBTENÇÃO DE BIODIESEL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Química industrial, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Prof^ª. Dr^ª. Gisele Atsuko Medeiros Hirata
Orientadora

Diadema, 2022

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Matias, Gabriela Valim

Análise do processo de produção do óleo obtido da biomassa do café para a obtenção de biodiesel / Gabriela Valim Matias. -- Diadema, 2022.

48 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2022.

Orientadora: Gisele Atsuko Medeiros Hirata

1. Café. 2. Biodiesel. 3. Borra de café. 4. resíduo. I. Título.

Em memória do meu avô...

Resumo

Tendo em vista que o consumo global de combustível fóssil vem causando um esgotamento desse recurso finito e aumentando os impactos ambientais, o biodiesel torna-se uma alternativa quanto ao uso desses combustíveis. Como pontos positivos no emprego do biodiesel pode-se destacar a redução de emissão de hidrocarbonetos, partículas (fuligem) e monóxido de carbono, por ser produzido principalmente, através da transesterificação de matérias-primas renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. A utilização de matéria-prima não comestível para a produção de biodiesel é um desafio, pois óleos vegetais como o óleo de soja são destinados ao consumo humano e animal. No último ano houve um considerável aumento no preço da soja e, como no Brasil o óleo de soja é destinado tanto para a produção de biodiesel quanto para a indústria alimentícia essa disputa no emprego do óleo pode ocasionar um aumento no seu valor agregado e, conseqüentemente, será repassado ao consumidor. Diante desse cenário, busca-se uma diversificação de matérias-primas disponíveis para a produção de biocombustíveis como, por exemplo, o óleo de fritura e a borra de café. O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e a grande quantidade de resíduo gerada diariamente causa problemas econômicos, ecológicos e ambientais. O resíduo gerado, conhecido como borra, contém grande quantidade de compostos orgânicos que podem contribuir de forma significativa com a produção global de biodiesel, por ser um óleo de boa qualidade e bom custo-benefício obtido da borra. Sendo assim, este projeto consistiu em avaliar os dados disponíveis na literatura para considerar o uso do óleo extraído da borra de café como matéria-prima para a produção de biodiesel. Foram analisados diversos métodos de se obter o biodiesel, levando em consideração a porcentagem de conversão do produto final e o gasto de energia, água e tempo. A utilização de resíduos, como a borra, é uma alternativa interessante e vantajosa por ser uma prática sustentável capaz de reduzir impactos ambientais e custos de processo.

Palavras-chave: Café; Biodiesel; Borra de café; resíduo.

Abstract

Considering that the global consumption of fossil fuel has been causing a depletion of this finite resource and increasing the environmental impacts, biodiesel becomes an alternative for the use of these fuels. As positive points in the use of biodiesel, we can highlight the reduction in the emission of hydrocarbons, particles (soot) and carbon monoxide, as it is produced mainly through the transesterification of renewable raw materials, such as vegetable oils and animal fats. The use of inedible raw material for the production of biodiesel is a challenge, since vegetable oils such as soybean oil are intended for human and animal consumption. In the last year there was a considerable increase in the price of soy and, as in Brazil soy oil is used both for the production of biodiesel and for the food industry, this dispute over the use of the oil can cause an increase in its added value and, consequently, will be passed on to the consumer. Given this scenario, a diversification of available raw materials is sought for the production of biofuels, such as, for example, frying oil and coffee grounds. Coffee is one of the most consumed beverages in the world and the large amount of waste generated daily causes economic, ecological and environmental problems. The generated residue, known as coffee grounds, contains a large number of organic compounds that can significantly contribute to the world production of biodiesel, as it is a good quality and cost-effective oil obtained from the coffee grounds. Therefore, this project consisted of evaluating the data available in the literature to consider the use of oil extracted from coffee grounds as a raw material for the production of biodiesel. Several methods of obtaining biodiesel were analyzed, taking into account the percentage of conversion of the final product and the expenditure of energy, water and time. The use of waste, such as sludge, is an interesting and advantageous alternative as it is a sustainable practice capable of reducing environmental impacts and process costs.

Keywords: Coffee; Biodiesel; Coffee grounds; residue.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Matriz energética do Brasil	16
FIGURA 2 - Matriz elétrica do Brasil	16
FIGURA 3 - Processo de produção do biodiesel	23
FIGURA 4 - Reação de transesterificação	24
FIGURA 5 - Estrutura química da glicerina.....	26
FIGURA 6 - Principais setores industriais de utilização da glicerina	27
FIGURA 7 - Estrutura do grão de café	30
FIGURA 8 - Tipos de grãos de café	30
FIGURA 9 - Diagrama de blocos das etapas do processo de produção do café	31
FIGURA 10 - Fluxograma do processo de análise	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir do óleo de soja	11
TABELA 2 - Propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir do óleo da borra de café	12
TABELA 3 - Composição do biodiesel obtido da borra de café	12
TABELA 4 - Porcentagem de ácidos graxos majoritários presentes no biodiesel do óleo de soja e borra de café	13
TABELA 5 - Normas e limites para especificação do biodiesel B100	19
TABELA 6 - Composição química das espécies de café Arabica e Robusta	28
TABELA 7 - Métodos selecionados para obtenção de biodiesel	37

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 CAPÍTULO - DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA	15
3.2 CAPÍTULO 2 – BIODIESEL COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL	17
3.2.1 Contexto histórico	17
3.2.2 Definição de biodiesel	18
3.2.3 Classificação dos tipos de biodiesel	18
3.2.4 Propriedades físico-químicas.....	19
3.2.5 Processo de produção	22
3.2.6 Benefícios e impactos associados à utilização do biodiesel	24
3.2.7 Aplicações da glicerina.....	26
3.3 CAPÍTULO 3 – O CAFÉ	28
3.3.1 Origem.....	28
3.3.2 Processo de produção do café.....	30
3.3.3 Recepção e seleção dos grãos	31
3.3.4 Beneficiamento dos grãos.....	32
3.3.5 Torrefação.....	32
3.3.6 Moagem.....	33
3.3.7 Embalagem e Rotulagem.....	33
3.4 CAPÍTULO 4 – A BORRA DE CAFÉ	33
4. METODOLOGIA.....	34
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO	36
5.1 Produção de biodiesel a partir da borra de café e suas vantagens	37
6. CONCLUSÃO.....	41
BIBLIOGRAFIA	43

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café sendo responsável por 30 % da oferta mundial (OLIVEIRA, 2008). De acordo com a Organização Internacional do Café (OIC), em 2009 o Brasil produziu aproximadamente 40 milhões de sacos de café. O consumo mundial de café em 2007, foi de 124.636 milhões de sacas de 60 kg (Organização Internacional do Café, 2015). Com isso, pode-se inferir que a indústria cafeeira é responsável pela geração de grande parte dos resíduos descartados no meio ambiente (NGUYEN, 2020), tendo como principal resíduo, a borra de café, gerando anualmente grandes quantidades, chegando a 6 milhões de toneladas em todo o mundo, sendo 4 milhões de toneladas de resíduo somente do Brasil (KAMIL, 2020).

A borra de café torna-se altamente poluente devido à presença de material orgânico, cafeína, tanino e polifenol, que conferem uma toxicidade para esse resíduo, representando um perigo quando descarregado no meio ambiente (MUSSATTO, 2011). Diante disso, busca-se uma nova destinação para esse resíduo e alguns estudos demonstraram que a borra de café pode ser usada na produção de biodiesel, pois contém aproximadamente 15 % de óleo, podendo ser convertido em combustível alternativo por diversos processos, dentre eles, o de transesterificação (PHIMSEN, 2016) (BLINOVÁ, 2017).

O processo mais utilizado na produção de biodiesel de origem vegetal é de transesterificação como, por exemplo, a soja, a reação acontece utilizando a mistura de um triacilglicerol (triglicerídeo) com um álcool formando o biodiesel e a glicerina.

O processo de obtenção do biodiesel inicia-se com a preparação da matéria-prima, onde ocorre a limpeza, secagem, cozimento, trituração e laminação, descascamento e armazenamento da semente (JORGE, 2009). Na etapa seguinte, ocorre a extração do óleo utilizando solvente como, por exemplo, o etanol. Para a reação de transesterificação, utiliza-se metanol ou etanol para reagir com o óleo vegetal extraído e, em seguida, o catalisador, que pode ser ácido, alcalino ou enzimático, é adicionado para que a reação ocorra. Geralmente, o meio alcalino apresenta melhor rendimento e um tempo menor de reação do que o ácido, então a reação mais utilizada é a que possui razão molar óleo:álcool de 1:6 na presença de 0,4 % de NaOH ou KOH (ZUÑIGA, 2011). A mistura é agitada e aquecida em um reator e depois de finalizada segue para o tanque de decantação, que irá separar o biodiesel da glicerina. A glicerina vai para a etapa de tratamento, onde poderá ser usada em cosméticos, produtos de higiene e limpeza, enquanto o biodiesel segue para a última etapa, a de purificação que removerá a água residual e solvente e, em seguida, será caracterizado para obtenção das suas

propriedades físico-químicas, informadas na tabela 1 e, por fim, segue para a distribuidora onde ficará estocado em tanques até a sua distribuição (LIMA, 2011).

Tabela 1: Propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir do óleo de soja

Propriedades	Biodiesel do óleo de soja
Viscosidade cinemática a 40°C (mm ² /s)	3,97
Densidade a 15°C (g/cm ³)	0,88
Número de cetano	60,1
Ponto de Fulgor (°C)	139
Ponto de Fluidez (°C)	0

Fonte: (ZUÑIGA, 2011).

Já no processo de produção do biodiesel utilizando a borra de café como matéria-prima, o pó de café residual passa por um processo de secagem para remover a umidade, depois ocorre o processo de extração do óleo com solvente de baixo ponto de ebulição como, por exemplo, hexano ou éter. A solução óleo/pó de café resultante após ser separada por filtração à vácuo, segue para uma nova separação óleo/solvente por meio de um evaporador, onde o solvente é reaproveitado em uma próxima extração e o óleo segue para a etapa posterior (KONDAMUDI, 2008). Em seguida, mistura-se o óleo obtido com metanol e KOH como catalisador para ocorrer a reação de transesterificação (MAZZARRI, 2019). Após ocorrer a transesterificação, realiza-se a separação da mistura biodiesel/glicerina. O biodiesel é lavado com água quente e acidificada para remover o excesso de solvente e do catalisador. E, por último, o biodiesel segue para a caracterização tanto para se obter informações sobre suas propriedades físico-químicas, mostradas na tabela 2 (DANG, 2019), quanto sobre a sua composição, utilizando a técnica de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (CG-MS), exemplificada na tabela 3 (UDDIN, 2019).

Tabela 2: Propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir do óleo da borra de café

Propriedades	Biodiesel do óleo da borra de café
Viscosidade cinemática a 40°C (mm ² /s)	5,16
Densidade a 15°C (g/cm ³)	0,895
Número de cetano	53
Ponto de Fulgor (°C)	192,0
Ponto de Fluidez (°C)	14

Fonte: (UDDIN, 2019).

Tabela 3: Composição do biodiesel obtido da borra de café

Ácidos graxos	Estrutura	Fórmula	Porcentagem (%)
Ácido mirístico	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	3,82
Miristoleico	14:1	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	20
Palmítico	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	19
Ácido esteárico	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	6,73
Oleico	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	9,27
Linoleico	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	28,71
Araquídico	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	2,96
Tricosanóico	23:0	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	5,11
Lignocérico	24:1	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	4,29
Ácidos graxos saturados			37,61
Ácido graxo monoinsaturado (MUFA)			33,56
Ácido graxo poliinsaturado (PUFA)			28,71
Grau de insaturação (DU)			90,98
Fator saturado de cadeia longa (LCSF)			8,22

Fonte: (UDDIN, 2019).

O óleo obtido do resíduo do café possui algumas vantagens sobre o de soja, como: menor custo, maior estabilidade oxidativa e odor agradável (KONDAMUDI, 2008). A seguir, a tabela 4 compara o perfil de ácidos graxos no biodiesel de soja e no obtido através da borra de café.

Tabela 4: Porcentagem de ácidos graxos majoritários presentes no biodiesel do óleo de soja e borra de café

Ácidos graxos	Borra de café (%)	Soja (%)
Oleico	9,27	28
Linoleico	28,71	50
Palmítico	19	10
Esteárico	6,73	2

Fonte: <http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=conceito.25>

Nesse contexto, o projeto visa aprofundar os estudos a respeito dessa forma de energia limpa, obtida através de um resíduo geralmente descartado que poderá ter outra finalidade, substituindo os combustíveis fósseis e, conseqüentemente, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa no planeta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo principal a análise teórica a respeito do uso da borra de café para a produção de biocombustíveis e o incentivo sobre a utilização de diferentes fontes renováveis como matéria-prima para obtenção de energia.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer um levantamento bibliográfico a respeito do processo de produção do biodiesel obtido de óleo de soja e da borra de café
- Obter meios de valorizar resíduos a partir dos quais possa se obter produtos químicos com valor agregado por meio de práticas sustentáveis, de menor custo e que gerem menor impacto ambiental.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CAPÍTULO - DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

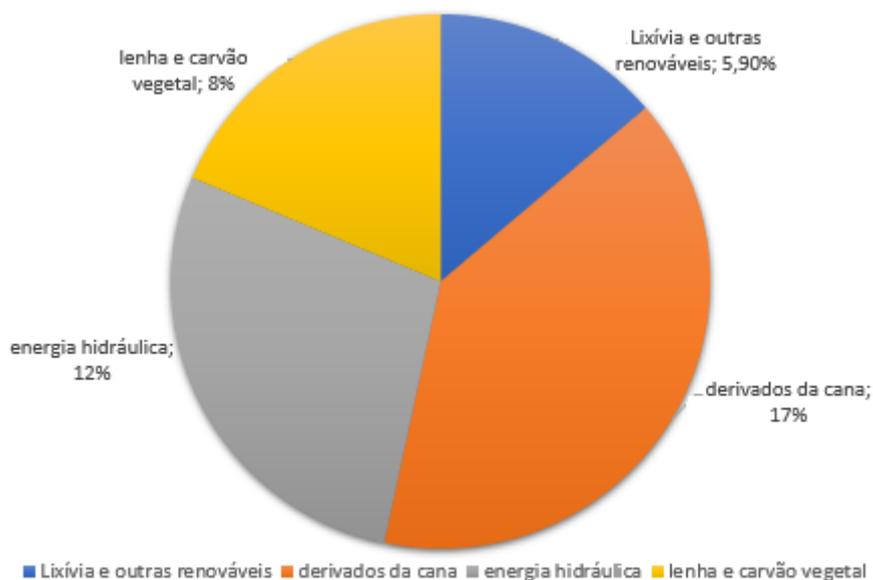
O conceito de energia relaciona-se com a capacidade de movimento ou transformação (RAMOS; PONCZEK, 2011). Na física, a energia pode se apresentar de diferentes formas como, por exemplo, energia potencial, elástica, mecânica, cinética, gravitacional e eletromagnética; já na química, mostra-se na forma de energia potencial das ligações químicas, energia química e na combustão. E do ponto de vista econômico e tecnológico, a energia é associada aos recursos naturais e aos seus componentes que possibilitam o uso industrial da mesma (BUCUSSI, 2007).

Pode ser dividida em energia renovável e não renovável. A energia renovável tem sua origem em fontes ilimitadas, como a solar, eólica e hidrelétrica, enquanto a energia não renovável utiliza combustíveis esgotáveis, como petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear (VICHI; MANSOR, 2009).

Desde a Revolução Industrial, tanto o petróleo como o carvão mineral, são amplamente utilizados como fonte de energia e seu uso se estendeu até os dias de hoje de forma mais intensa. Como consequência, pode-se ter uma crise energética mundial, pois esses insumos quando consumidos emitem óxidos sulfúricos e nitrogenados, enxofre e outros gases causadores do efeito estufa (GEE) e do aquecimento global (VICHI; MANSOR, 2009). Além disso, danos ambientais são causados à fauna e flora quando há o vazamento ou despejo em rios, mares ou reservatórios que por sua vez, diminui cada vez mais devido à exploração intensa e desenfreada dos recursos naturais (CARVALHO, 2008).

Programas de incentivo do governo fizeram com que o Brasil alcançasse a matriz energética mais renovável do mundo industrializado. Um exemplo disso foi a matriz energética do país no ano de 2017, que foi composta de 42,9 % por fontes renováveis (Figura 1):

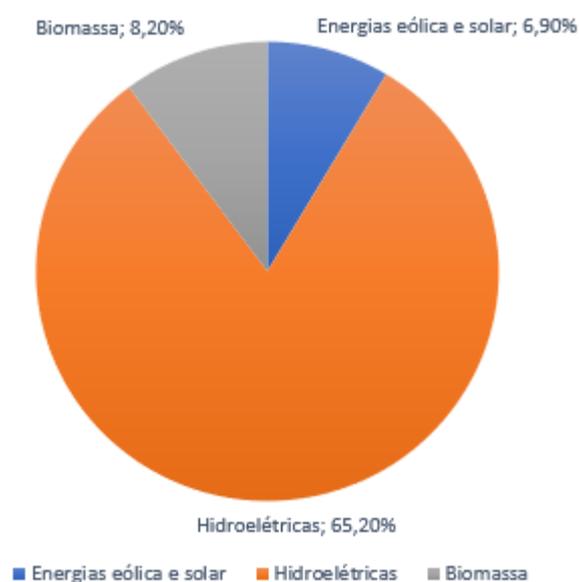
Figura 1: Matriz energética do Brasil



Fonte: (KRELL, 2020).

E no que tange a matriz elétrica (abrange apenas as fontes utilizadas para gerar energia elétrica), o país chegou à porcentagem de 80,3 % de fontes renováveis (Figura 2). O que se deve ao grande número de bacias hidrográficas espalhadas pelo país (KRELL, 2020).

Figura 2: Matriz elétrica do Brasil



Fonte: (KRELL, 2020).

O crescimento do uso de energia no mundo é exponencial, no Brasil os setores que mais utilizam energia são o setor industrial, agropecuário, de transporte, residencial, energético, comercial e público. Mesmo possuindo destaque em sua matriz energética, que utiliza energia renovável, a agricultura brasileira utiliza cerca de 58 % de energia proveniente de fontes não renováveis, como o óleo diesel (ALBIERO, 2017).

3.2 CAPÍTULO 2 – BIODIESEL COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL

3.2.1 Contexto histórico

No final do século XIX, o francês de origem alemã Rudolf Christian Carl Diesel criou o primeiro protótipo do motor a diesel usando óleo de amendoim, tendo dito em 1911 que “O motor diesel pode ser alimentado com óleos vegetais e ajudaria consideravelmente no desenvolvimento da agricultura dos países que o utilizarem” (SHAHID, 2008).

Na década de 1930, o governo francês começou a incentivar experiências com o óleo de amendoim tendo como objetivo conquistar sua independência energética (KNOTHE, 2001). Motivados pela demanda da Segunda Guerra Mundial, crise do petróleo e da alta poluição e destruição causadas pela exploração mineral, governos de diferentes países em parceria com a iniciativa privada, começaram a desenvolver e a testar os biocombustíveis. Países como China, Índia e Bélgica utilizaram em larga escala o combustível originado do óleo de amendoim (GUIMARÃES, 2013).

No início de 1980, diversas universidades do Brasil se dedicaram a estudar a produção de combustíveis que pudessem substituir o uso do diesel e que fossem advindas de matérias-primas de origem vegetal (GUIMARÃES, 2013). Os experimentos utilizando a transesterificação no Brasil teve início na Universidade Federal do Ceará (UFC), em 1979 e foi responsável pela patente brasileira de processamento do biodiesel (PARENTE, 2003).

No entanto, naquele momento a prioridade política foi concedida para o desenvolvimento do programa do álcool (PROÁLCOOL), que teve seu auge a meados da década de 80 (PLÁ, 2003).

Pesquisas realizadas com motores de ciclo diesel demonstraram que misturas com até 5 % de biodiesel tinham um bom funcionamento, como um aditivo ao combustível mineral, e não comprometiam a eficiência e a durabilidade do motor (GUIMARÃES, 2013).

Assim, percebeu-se que o biocombustível é um combustível renovável e sua utilização possui vantagens ambientais, econômicas e sociais (MEIRELLES, 2003). Pode ser utilizado puro ou misturado ao diesel mineral em diversas proporções, tanto em motores diesel automotivos (caminhões, tratores, camionetas, automóveis e etc.) como em estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc.). No caso do biodiesel misturado, quando se mistura 2 % de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2, B5 é a mistura de 5 % de biodiesel ao diesel de petróleo e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100 (GUIMARÃES, 2013).

3.2.2 Definição de biodiesel

O biodiesel pode ser definido como um éster metílico ou etílico produzido a partir de óleos vegetais como: óleo de soja, palma, girassol e algodão; óleos e gorduras animais, tais como o sebo de bovino, óleo de peixe e banha de porco; e resíduos, como, por exemplo, borra de café e óleo de fritura, com qualidade similar ao combustível utilizado para motores a diesel, para utilização como biocombustível (Diretiva 2003/30/CE de 8 de Maio).

É um combustível que vem sendo testado em vários países e que emite menos poluentes que o diesel. Os maiores produtores mundiais são Indonésia, Estados Unidos e Brasil (EPE, 2021) e estimulam o desenvolvimento da escala industrial. A produção mundial de biodiesel também teve forte crescimento entre os anos de 1991 e 2005 e o consumo aumentou ao longo dos anos a partir de 2005.

O biodiesel pode contribuir para a redução de 78 % de dióxido de carbono, 98 % de enxofre e 53 % de monóxido de carbono e 4,6 % de óxido de nitrogênio na atmosfera (PENIDO, 2005).

3.2.3 Classificação dos tipos de biodiesel

As misturas do biodiesel são denominadas como BXX, com o XX referindo-se à quantidade de biodiesel na mistura com o diesel, podendo ser classificado da seguinte maneira:

B + % de biodiesel na mistura

Como, por exemplo, B2 = 2 % de biodiesel misturado com 98 % de diesel; B5 = 5 % de biodiesel misturado com 95 % de diesel; B10 = 10 % de biodiesel misturado com 90 % de diesel; B20 = 20 % de biodiesel misturado com 80 % de diesel; e B100 = 100 % de biodiesel em sua forma pura (CARVALHO; RIBEIRO, 2012).

Inicialmente, era mais viável adicionar pequenas porcentagens de biodiesel na mistura, por não alterar o funcionamento do motor de forma significativa. O governo brasileiro passou a tornar obrigatório a adição de 2 % de biodiesel ao diesel nos postos de combustível, seguindo a Lei nº 11.097 Art. 2º, portanto desde 2008 o diesel utilizado nos postos brasileiros é do tipo B2, em 2013 passou a ser obrigatória a fabricação de veículos aptos a rodarem com o B5 (CARVALHO; RIBEIRO, 2012) e no decorrer dos anos a porcentagem foi aumentando gradualmente e em março de 2020, a porcentagem de adição obrigatória do biodiesel à mistura com o diesel fóssil aumentou de 11 para 12 % e tende a crescer 1 % ao ano atingindo 15 % em 2023, segundo a resolução CNPE nº 16/2018 (EPE, 2021).

3.2.4 Propriedades físico-químicas

No Brasil, os parâmetros físico-químicos, listados na tabela 5, para o biodiesel puro (B100) são determinados conforme a resolução ANP 45/2014, que se baseia nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais “American Society for Testing and Materials” (ASTM), da “International Organization for Standardization” (ISO) e do “Comité Européen de Normalisation” (CEN) (ANP, 2014).

Tabela 5: Normas e limites para especificação do biodiesel B100

Característica	Unidade	Limite	Método		
			ABNT NBR	ASTM	EM/ISO
Massa específica a 20°C	kg/m ³	850 – 900	7148	1298	EN ISO 3675
			14065	4052	EN ISO 12185
Viscosidade cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 – 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	200	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação total, máx.	mg/kg	24	15995	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín.	°C	100,00	14598	93	EN ISO 3879

Teor de éster, mín.	% massa	96,5	15764	-	EN 14103
Resíduo de carbono	% massa	0,050	-	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15558	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15556 15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3 h a 50°C	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de cetano	-	Anotar	-	613 6890	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	18	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448	664	- EN 14104
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	15341 - -	6584 - -	- EN 14105 EN 14106
Glicerina total, máx.	% massa	0,26	15344	6584	- EN 14105 EN 14105
Mono, di, triacilglicerídeos	% massa	0,7/ 0,20/0,20	15342 15344	6584	- - EN 14105
Metanol ou etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110
Índice de iodo	g/100 g	Anotar	-	-	EN 14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.	h	12	-	-	EN 14112 EN 15751

Fonte: ANP, 2014

A seguir, serão apresentadas algumas das propriedades físico-químicas que influenciam diretamente no funcionamento e na durabilidade do motor:

- A viscosidade é a propriedade que mede a resistência que um fluido apresenta ao fluir sob o efeito da força da gravidade, quando elevada pode provocar o aumento do volume de combustível injetado. Seu controle é importante para garantir funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível, que acaba influenciando na etapa de combustão, cuja eficiência vai depender da potência máxima desenvolvida pelo motor (ZUÑIGA, 2011).
- A densidade representa a quantidade de massa por unidade de volume do combustível e exerce efeito direto sobre o desempenho do motor, por isso deve ser levada em conta na avaliação do funcionamento de motores diesel, sendo maior a do biodiesel que a do óleo diesel (ZUÑIGA, 2011).
- O índice de cetano é o que define o poder de auto inflamação e de combustão do óleo, isto é, se o número de cetano for baixo, isso irá gerar deficiência na lubrificação do motor (GONZALEZ, 2008).
- O ponto de fulgor ou flash point, pode ser definido como a temperatura mais baixa a que um combustível pode emitir vapores suficientes, que quando for misturado com o ar se inflama momentaneamente, observando-se a propagação de chama a partir de uma fonte de ignição (GONZALEZ, 2008). O ponto de fulgor do biodiesel, quando não possui metanol ou etanol, é superior à temperatura ambiente, isso faz com que ele não seja inflamável nas condições normais de transporte, manuseio e armazenamento, sendo maior que o do diesel mineral (ZUÑIGA, 2011).
- O ponto de fluidez é uma propriedade utilizada para caracterizar a operacionalidade do escoamento de combustível em baixas temperaturas (GONZALEZ, 2008), pois afeta o emprego do combustível, principalmente em condições de clima frio. A alternativa encontrada para corrigir o problema de escoamento do biodiesel, devido ao seu alto ponto de fluidez em baixas temperaturas, foi misturar com óleo diesel (ZUÑIGA, 2011).

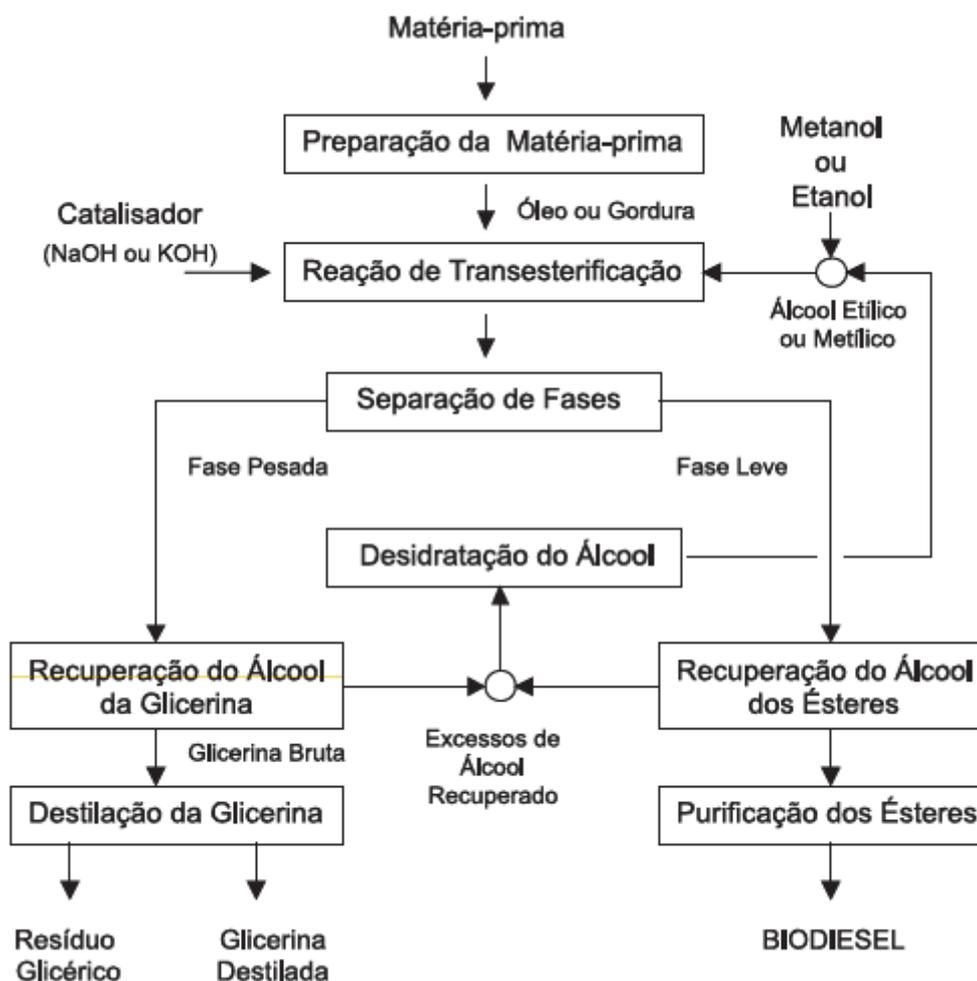
- O Poder calorífico define a quantidade de energia que está disponível no combustível e que é liberada na câmara de combustão, mediante reação química. Quanto maior o poder calorífico, maior será a potência atingida pelo motor (ZUÑIGA, 2011).
- O índice de iodo expressa o grau de insaturação do óleo e difere conforme a origem das matérias-primas que foram usadas na produção do biodiesel (GONZALEZ, 2008). Quanto maior o índice, mais facilmente irá ocorrer a oxidação do biodiesel quando em contato com o ar, fazendo com que ocorra a formação de depósitos e a danificação do óleo lubrificante (ZUÑIGA, 2011).
- O índice de acidez expressa a acidez livre no óleo (GONZALEZ, 2008) e um índice elevado indica que o biodiesel não foi produzido de maneira correta ou que se degradou por conta do contato com o ar ou água (ZUÑIGA, 2011).

3.2.5 Processo de produção

O método para se obter biodiesel incentivado pelo governo brasileiro é o de transesterificação, onde realiza-se a reação química de triglicerídeos com álcoois (metanol ou etanol) na presença de um catalisador que pode ser ácido, básico ou enzimático, onde o grupo éster do glicerol é substituído pelo grupo etanol ou metanol (SILVA; FREITAS, 2008). A glicerina é um subproduto da reação, e precisa passar pelo processo de purificação antes da venda para que se tenha um aumento da eficiência econômica do processo. Para o Brasil, utilizar etanol no processo de transesterificação é mais vantajoso, pois é produzido em larga escala e possui baixo custo, enquanto o metanol é tóxico e teria que ser importado ou produzido a partir do gás natural (BRASIL, 2005).

A figura 3 representa o processo de produção do biodiesel.

Figura 3: Processo de produção do biodiesel



Fonte: BRASIL, 2005.

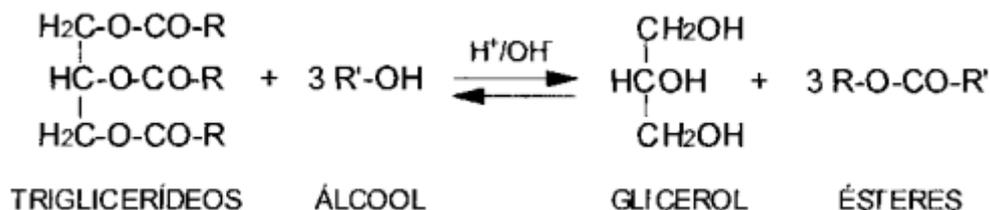
O processo de produção pode ser dividido em: pré-tratamento da matéria-prima, reação de transesterificação e separação/purificação do produto final.

Na etapa de pré-tratamento ocorre a limpeza, secagem, cozimento, trituração e laminação, descascamento e armazenamento da semente. Depois é realizada a extração do óleo por solvente, utilizando-se o etanol como solvente para a reduzir os ácidos graxos e obter o óleo vegetal (JORGE, 2009).

Já na etapa de transesterificação, a reação de síntese utilizada nas indústrias geralmente envolve a proporção óleo:álcool de 1:6 na presença de 0,4 % de hidróxido de sódio ou de potássio. O meio alcalino apresenta melhor rendimento e menor tempo de reação do que o meio ácido. Utiliza-se sempre uma quantidade maior de álcool para o rendimento em ésteres aumentar, devido a reversibilidade da reação e para que ocorra a separação do glicerol

formado, como mostra a figura 4, onde R simboliza a cadeia carbônica dos ácidos graxos e R', a cadeia carbônica do álcool reagente (ZUÑIGA, 2011).

Figura 4: Reação de transesterificação



Fonte: COSTA, 2000.

Na reação principal, os principais produtos obtidos são o biodiesel misturado com a glicerina e, como à temperatura ambiente são imiscíveis, a separação ocorre através da decantação e centrifugação obtendo-se bons resultados. Porém, as reações secundárias formam subprodutos existentes na matéria-prima oleaginosas que não reagem e que requerem outros processos de purificação, dentre eles, podemos citar glicerina livre, metanol, metóxido de sódio, sabão e água proveniente da matéria-prima. O tratamento final mais usual consiste na lavagem do biodiesel com água, processo que requer entre 2 à 4 lavagens, resultando na perda de biodiesel para a água. Para recuperar este biodiesel da água tem de se efetuar uma destilação flash e, ainda assim, resíduos de água ficarão retidos no biodiesel, que passará por uma etapa de secagem antes de ser enviado para armazenagem. Em alguns sistemas, procede-se ainda à destilação do biodiesel a fim de se obter um produto com maior pureza (BRASIL, 2005).

3.2.6 Benefícios e impactos associados à utilização do biodiesel

O Brasil possui terras cultiváveis com fontes potenciais de oleaginosas variadas para a produção de biodiesel, por conta da ampla diversidade de nosso ecossistema, o que configura uma certa vantagem do país em relação a todos os outros produtores de oleaginosas (LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS LIMPAS, 2005).

No que diz respeito às emissões de gases poluentes pela combustão de biodiesel, as porcentagens de emissão do monóxido de carbono, hidrocarbonetos e de partícula como a

fuligem são menores e não contém óxidos de enxofre, principal causador da chuva ácida e de irritações das vias respiratórias (SILVA; FREITAS, 2008). A produção agrícola de sementes oleaginosas capta CO₂ da atmosfera durante seu período de crescimento e somente uma parte desse CO₂ é liberada durante o processo de combustão nos motores, isso auxilia na diminuição do efeito estufa, causador do aquecimento global do planeta. Cada uma tonelada de biodiesel usado corresponde a uma redução de 2,5 toneladas de CO₂ emitidos na atmosfera (NEGRELLO; ZENTI, 2008), mas em contrapartida o uso de biodiesel aumenta a emissão de óxido de azoto, decorrente da combustão.

O biodiesel é um ótimo lubrificante fazendo com que a vida útil do motor seja maior. O risco de explosão é muito baixo, pois o biodiesel possui elevado ponto de inflamação (acima de 150 °C), com isso torna fácil e seguro o transporte e armazenamento do produto (RAMOS; GAZZONI L; SUAREZ, 2006).

O índice de cetano superior do biodiesel acaba proporcionando um melhor desempenho da ignição e um bom funcionamento, assim a combustão é mais completa e a emissão de gases com efeito estufa é menor para a atmosfera (VENTURA, 2010).

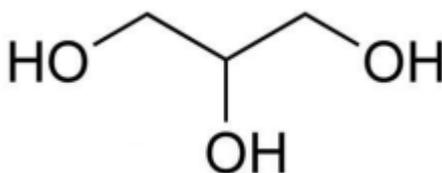
E, por fim, o aumento da demanda por produtos agrícolas deverá gerar oportunidades de emprego e renda para a população rural, contribuindo para declínio da desertificação nas zonas rurais; e a produção de biodiesel poderá ser realizada em localidades próximas dos locais em que for ser utilizado, evitando o custo desnecessário para transportar o biodiesel (RATHMANN, 2005).

Como desvantagem apresenta a geração de um subproduto chamado glicerina cuja purificação técnica só é viável para produções industriais e aumento nas emissões de óxidos de azoto (NOx). Por exemplo, para o B20 tem-se um aumento entre 1 à 4 %, apesar de cumprir os limites de emissão. O custo elevado para sua produção acaba o tornando pouco competitivo, a menos que existam incentivos fiscais (VENTURA, 2010) e o uso intenso da matéria-prima oleaginosa pode contribuir para potencializar impactos no solo, podendo causar uma diminuição da biodiversidade. Além do que, pode haver um aumento no preço dos alimentos, já que a semente poderá ser destinada para a produção de biocombustível (CARVALHO; RIBEIRO, 2012).

3.2.7 Aplicações da glicerina

A glicerina, também conhecida como glicerol ou 1,2,3-Propanotriol, é o único açúcar de álcool que possui três carbonos, é um composto orgânico com três hidroxilas, representado na figura 5. É um líquido oleoso, incolor, viscoso e de sabor doce, solúvel em água e álcool em todas as proporções e pouco solúvel em éter, acetato de etila e dioxano e insolúvel em hidrocarbonetos (GONZALEZ, 2008).

Figura 5: Estrutura química da glicerina

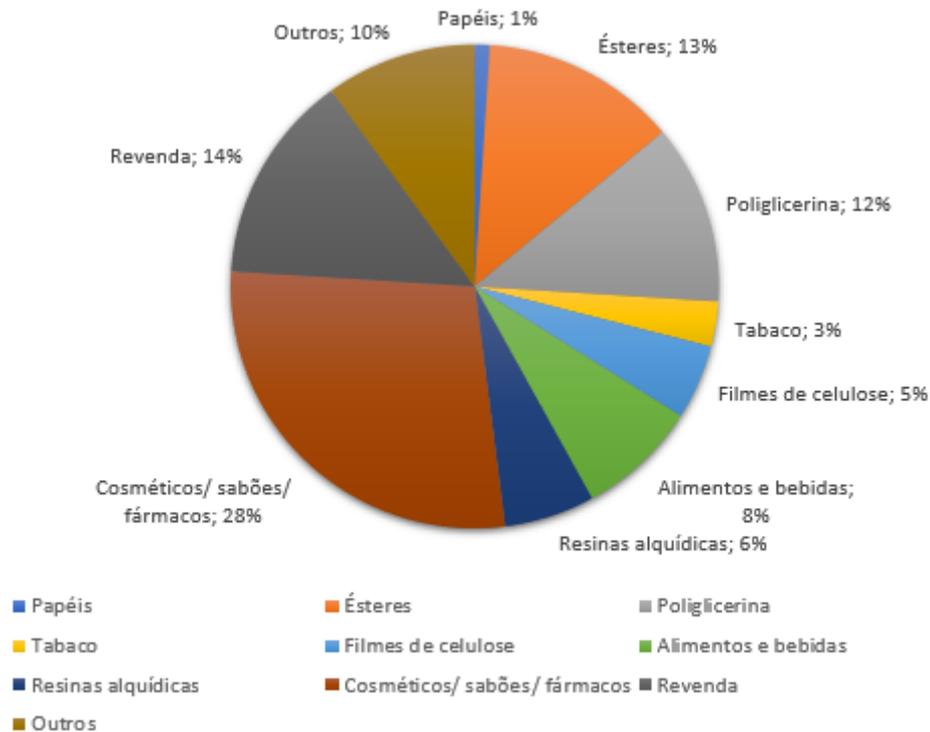


Fonte: Biodiesel BR, 2008.

A glicerina bruta é um subproduto da cadeia do biodiesel, que corresponde a aproximadamente 10% em massa do biocombustível produzido e com o aumento da produção de biodiesel gera-se uma grande quantidade de glicerina. Pode-se dizer que no ano de 2020 tenham sido produzidas 640 mil toneladas (EPE, 2021).

Tendo em vista que a quantidade desse subproduto tende a aumentar cada vez mais, torna-se fundamental buscar alternativas para o uso da glicerina bruta gerada na produção do biodiesel, já que dependendo do seu grau de pureza, ela pode possuir diversas aplicações na indústria como aditivos para a indústria de alimentos, indústria química e farmacêutica, como mostra a figura 6.

Figura 6: Principais setores industriais de utilização da glicerina



Fonte: MOTA, 2009.

A busca pelo desenvolvimento de novas rotas para o aproveitamento da glicerina que é maior que a procura, faz-se necessária para gerar valor agregado à cadeia produtiva e tornar esse subproduto autossustentável tanto do ponto de vista econômico quanto do tecnológico.

Pesquisas realizadas pelo Grupo de Catálise do IME para o aproveitamento dos subprodutos gerados na cadeia produtiva do biodiesel mostraram que a glicerina pode ser utilizada para produzir sabonete, gerando renda para as comunidades (GONZALEZ, 2008).

O glicerol pode ser transformado em éteres, sendo potenciais aditivos para diesel e biodiesel; acetais e cetais, podendo ser misturados a combustíveis, como o diesel e biodiesel auxiliando nas propriedades de fluidez e na atenuação de particulados; e ésteres com inúmeras aplicações na indústria, sobretudo no setor de combustíveis. A hidrogenólise do glicerol tem sido utilizada para produção do 1,2 e 1,3-propanodiol, produtos que possuem grande importância na indústria química. E a alteração nas condições de reação e dos catalisadores pode levar a produtos de hidrogenólise mais profunda, como isopropanol e propeno. Alguns produtos importantes de oxidação do glicerol são a di-hidroxiacetona, usada em bronzeadores, o ácido hidróxipirúvico e ácido fórmico (MOTA, 2009).

Temos também a produção de ração para a alimentação de ruminantes, devido ao seu valor energético, podendo substituir em parte, os concentrados energéticos da ração, principalmente o milho; de propeno que dá origem a vários produtos novos como o polipropileno que é utilizado para a fabricação de plástico, o que diminuiria a dependência do uso petróleo como matéria-prima para a produção de polipropileno e plásticos; e de etanol e hidrogênio por processos biotecnológicos, que são produzidos juntos durante o processo de fermentação do glicerol (PEITER, 2016).

3.3 CAPÍTULO 3 – O CAFÉ

3.3.1 Origem

Tanto a espécie *Coffea arábica* (café arábica) como a *Coffea canephora* (café robusta ou conilon) pertencem ao gênero *Coffea* da família Rubiaceae e são as espécies mais cultivadas. Sendo a primeira espécie originária de florestas subtropicais e a segunda originária de regiões equatoriais quentes e úmidas (MUSSATTO, 2011).

Altas temperaturas de cultivo podem promover a formação de botões florais e estimular o crescimento de frutos, por isso a faixa ideal de temperatura para cultivar a espécie arábica é de 19 a 22 °C, evitando também a proliferação de pragas (EMBRAPA, 2004).

Diferentemente da espécie robusta que é resistente a temperaturas altas e doenças. Consegue se adaptar em regiões com temperatura entre 22 à 26 °C e possui resistência a um período de seca de até 3 meses. Para que o cultivo tenha um bom desenvolvimento a quantidade de chuva de ficar na faixa de 1500 a 1900 mm anuais, bem distribuídos (EMBRAPA, 2004). A tabela 6 mostra a composição química dessas duas espécies.

Tabela 6: Composição química das espécies de café Arabica e Robusta

Componente	Arábica	Robusta	Constituintes
Carboidratos solúveis	9–12,5 %	6–11,5 %	
Monossacarídeos	0,2–0,5 %	0,2–0,5 %	Frutose, glicose, galactose, arabinose (traços)
Oligossacarídeos	6–9 %	3–7 %	Sacarose (>90 %), rafinose (0-0,9 %), estaquiose (0-0,13 %)
Polissacarídeos	3–4 %	3–4 %	Polímeros de galactose (55-65 %),

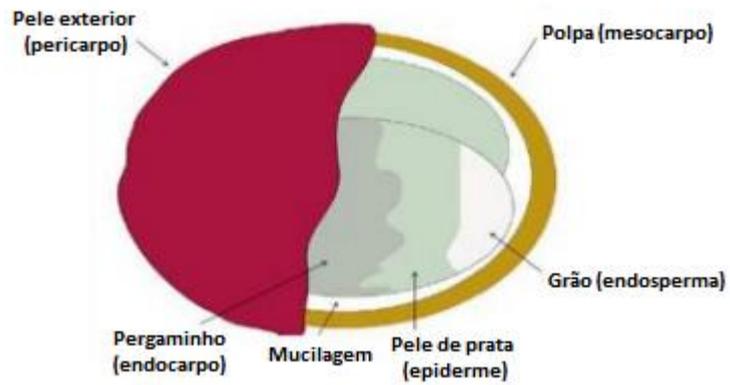
			manose (10-20 %), arabinose (20-35 %), glicose (0-2 %)
Polissacarídeos insolúveis	46–53 %	34–44 %	
Hemicelulose	5–10 %	3–4 %	Polímeros de galactose (65-75 %), arabinose (25-30 %), manose (0-10 %),
Celulose	41–43 %	32–40 %	
Ácidos alifáticos não voláteis	2–2,9 %	1,3–2,2 %	Ácido cítrico, ácido málico, ácido quínico
Ácido clorogênico	6,7–9,2 %	7,1–12,1 %	
Lignina	1–3 %	1–3 %	
Lipídeos	15–18 %	8–12 %	
Cera	0,2–0,3 %	0,2–0,3 %	
Óleo	7,7–17,7 %	7,7–17,7 %	Principais ácidos graxos: 16:0 e 18:2
Aminoácidos livres	0,2–0,8 %	0,2–0,8 %	Amicoácidos principais: Glu, Asp, Asp-NH ₂
Proteínas	8,5–12 %	8,5–12 %	
Cafeína	0,8–1,4 %	1,7–4,0 %	Traços de teobromina e teofilina
Trigonelina	0,6–1,2 %	0,3–0,9 %	
Minerais	3–5,4 %	3–5,4 %	

Fonte: BELITZ, 2009

O grão de café, representado pela figura 7, possui cinco camadas:

- Casca: possui coloração verde que conforme o processo de amadurecimento passa a ser vermelha;
- Polpa: localiza-se abaixo da casca e possui muito material;
- Mucilagem: é uma camada com grande quantidade de açúcar e fica entre a polpa e pergaminho;
- Pergaminho: camada fina que abrange a semente;
- Sementes ou Grãos: como mostra a figura 8, temos dois tipos de grãos: arabica (esquerda) e robusta (direita), onde todo fruto possui duas sementes ou grãos.

Figura 7: Estrutura do grão de café



Fonte: Farinhoto, 2012.

Figura 8: Tipos de grãos de café



Fonte: <https://loucodocafe.com.br/tipos-de-graos-de-cafe/>

3.3.2 Processo de produção do café

Todo processo de produção do grão de café torrado e moído possui as seguintes etapas apresentadas na figura 9:

Figura 9: Diagrama de blocos das etapas do processo de produção do café



3.3.3 Recepção e seleção dos grãos

Após a colheita, que pode ser feita de forma manual, semimecanizada ou mecanizada, o grão de café é submetido a diversas etapas de tratamento, dentre elas, podemos citar a limpeza, processamento (via seca ou úmida), lavagem, separação e secagem, que pode ser feita de forma natural ou artificial, até ser armazenado e transportado para a indústria. Antes de ir para a indústria. Essas etapas possuem grande importância para que as características sensoriais sejam preservadas (EMBRAPA, 2004).

No método de processamento seco, geralmente utilizado para o café Robusta e no Brasil, o fruto é seco com ou sem casca e é tecnologicamente mais simples comparado ao método úmido, utilizado nos grãos de café Arábica, em países México, Colômbia e Quênia (GONZALEZ, 2014).

No processamento que utiliza a via seca, o grão é seco em terreiro ou em secadores artificiais, também pode ser feito com o grão descascado, mas mantendo a camada de mucilagem e só assim é encaminhado para a secagem (EMBRAPA, 2004).

Já o processamento feito por via úmida origina o tipo de café sem polpa, pois utiliza fermentação. O despulpamento utiliza um descascador mecânico para retirar a casca e depois o grão passa pelo processo de fermentação e lavagem, eliminando a mucilagem. Isso reduz o risco de desenvolvimento de microrganismos e apresenta a vantagem de diminuir o tempo de secagem em até 60% (EMBRAPA, 2004).

A avaliação da qualidade do café é baseada em testes de odor e sabor, tamanho, forma, cor, dureza e presença de defeitos.

3.3.4 Beneficiamento dos grãos

O beneficiamento é a etapa que transforma o fruto seco em grãos de café que passa a ter o nome de café beneficiado. É uma etapa que deve ser realizada próximo da comercialização para que o grão mantenha suas características originais (EMBRAPA, 2004).

Dependendo das condições que foram utilizadas na etapa de secagem é aconselhado passar o grão por secadores de tulha aerados, para que ocorra a homogeneização do teor de umidade ideal, já que o resfriamento natural evita a incidência de grãos quebrados (EMBRAPA, 2004).

Essa etapa possui os seguintes equipamentos: bica de jogo, catador de pedras e metais, descascador e classificador.

3.3.5 Torrefação

A torrefação é a etapa que determina a característica final da bebida, responsável por transformar o grão verde em grão torrado para a confecção da bebida. Esse processo depende de parâmetros como o tempo e a temperatura (GONZALEZ, 2014).

Em um primeiro momento, o grão verde é colocado no elevador de grãos crus, que irá transportá-lo até o torrador. No torrador, o grão é submetido ao aquecimento gradual até chegar a 200°C, durante o período de 25 minutos até que ele adquira as características desejadas, enquanto os voláteis provenientes da torra são liberados por exaustão do torrador (GONZALEZ, 2014).

Feito isso o grão passará por um sistema de resfriamento, que pode ser feito utilizando água ou ar por 5 minutos, para condensar no interior do grão as substâncias aromáticas, que são responsáveis pelo aroma e sabor do café. Em seguida, com o auxílio de um elevador pneumático os grãos torrados e resfriados são depositados no silo que possuem a capacidade para suportar até 1350 kg (MUSSATTO, 2011).

O grau de torra se diferencia conforme o tipo de café e são classificados em claro, médio e escuro. O grau de torra claro é ideal para café expresso, pois possui acidez acentuada, suavidade do aroma e sabor e é menos amargo. Já a torra média é ideal para coador de pano

ou papel, pois possui aroma e sabor acentuados. E o grau de torra escuro deixa a bebida escura, possui pouca acidez e sabor amargo (HOFFMANN, 2001).

Após a torrefação, os grãos ficam mais leves, então para que haja o equilíbrio da umidade interna do grão, é necessário que fiquem em repouso durante determinado tempo. Depois são enviados para os moinhos onde é realizada a etapa de moagem (BASSETTO, 2016).

3.3.6 Moagem

Na etapa de moagem o grão seco é transformado em um pó fino e é de grande importância que o grão seja mantido inteiro e frio antes de passar pela moagem.

A trituração é realizada com um rolo mecânico que quebra o grão seco até atingir a granulometria ideal. Depois disso, o grão fica em repouso por três horas para que ocorra a liberação de gás carbônico. Os graus de moagem são classificados em pulverizado, fina, média e grossa e possuem influência no tempo de preparação da bebida. O grau pulverizado é próprio para preparar café onde o pó não precisa ser coado e é o mais fino, o grau fino é utilizado em filtros de papel ou coadores de pano, o grau médio é utilizado para preparar café expresso e, por fim, o grau grosso é utilizado no preparo de café em cafeteiras italianas (EL HALAL, 2017).

3.3.7 Embalagem e Rotulagem

Nessa etapa é utilizada uma máquina automática responsável por empacotar o pó em pacotes até atingir o peso ideal, que depois serão embalados a vácuo e passarão pela marcação de validade feita antes de serem encaixotadas. A rotulagem é feita conforme a legislação em vigor, contemplando as informações obrigatórias regulamentadas pela legislação brasileira e qualquer outra informação também deve obedecer aos regulamentos da legislação (BASSETTO, 2016).

3.4 CAPÍTULO 4 – A BORRA DE CAFÉ

A borra de café contém em sua composição compostos orgânicos como: ácidos graxos, aminoácidos, polifenóis, minerais e polissacarídeos, além de ser rica em açúcares polimerizados em estruturas de celulose (8,6 %) e hemicelulose (36,7 %), contendo 46,8 % de manose, 30,4 % de galactose, 19 % de glicose e 3,8 % de arabinose, que correspondem a um

pouco menos da metade de sua composição quando está seco (45,3 %), enquanto a concentração de carboidratos varia de grão para grão por conta da variedade e tipos de torra e extração (CAMPOS-VEGA, 2015).

Apresenta uma quantidade significativa de proteínas que varia entre 12,8 % e 16,9 % (MUSSATTO, 2011), formado por aminoácidos com destaque para o ácido aspártico (5,10 %), a treonina (4,71 %), o ácido glutâmico (4,13 %), a glicina (2,68 %), a leucina (2,49 %) e a alanina (2,34 %). Enquanto os aminoácidos essenciais representam cerca de 42 % do total de aminoácidos na borra de café, sendo eles: a arginina (0,01 %), histidina (0,39 %), isoleucina (0,94 %), leucina (2,49 %), lisina (0,59 %), metionina (0,26 %), fenilalanina (1,18 %), treonina (4,71 %), tirosina (0,33 %) e valina (0,69 %) (MARTINEZ-SAEZ et al., 2017).

Quanto à fração lipídica, a borra é composta em sua maior parte por triacilgliceróis (75 %), ésteres terpenos (14 %) e acilgliceróis parciais (5 %) e também sofre influência do tipo de torra que o grão foi submetido. Torras mais escuras fazem com que o café possua concentrações maiores de lipídios do que torras claras, o oposto do que acontece com a quantidade de carboidratos (SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006).

Já o teor de cafeína é maior na casca e na polpa do café do que na borra, podendo variar de acordo com o solvente e método utilizado na etapa de extração. Andrade et al. (2012), estudaram a extração da cafeína utilizando o método de ultrassom e soxhlet e como solvente o hexano, diclorometano e etanol. Sendo o diclorometano o solvente com maior capacidade de extração nos dois métodos, chegando a 38,2 µg de cafeína/mg de extrato utilizando o ultrassom e 25,9 µg de cafeína/mg de extrato utilizando o soxhlet. Enquanto Ramalakshmi et al. (2009) utilizaram como solvente a água a uma temperatura de 92 °C durante 6 horas de extração, obtendo 0,5% de cafeína e Cruz et al. (2012) utilizaram a borra de café advinda de café expresso, que pode servir como mecanismo de defesa química em algumas plantas, enquanto induz toxicidade adversa em outras plantas, como a alface, encontrando 452 mg de cafeína/g de extrato (CAMPOS-VEGA, 2015).

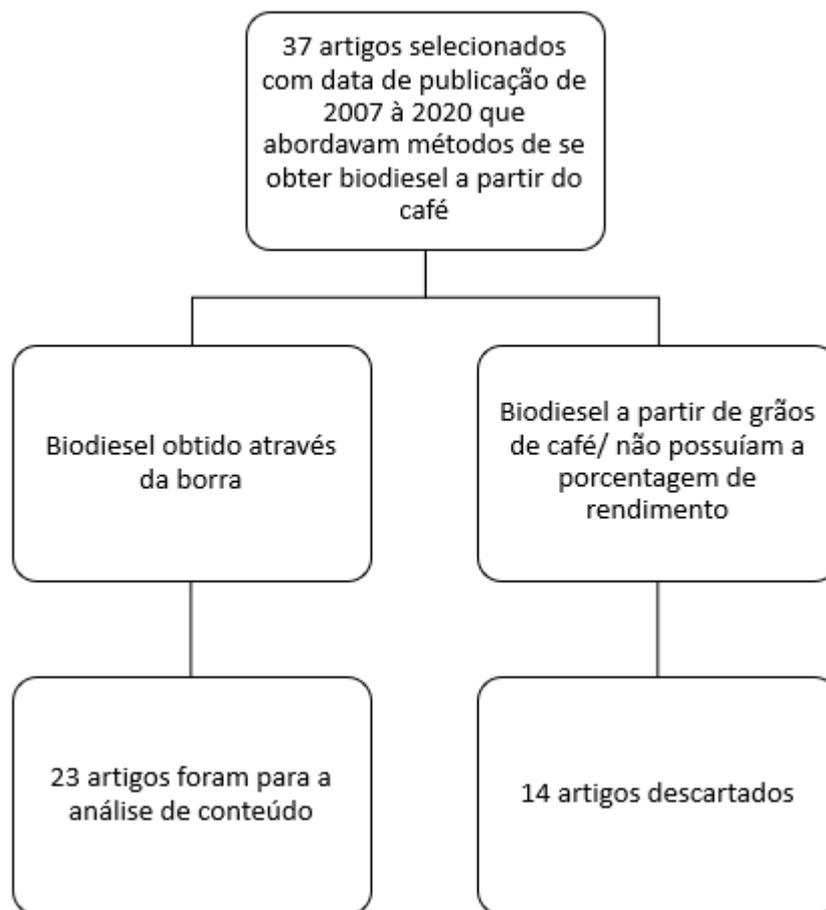
4. METODOLOGIA

O trabalho é uma revisão da literatura que se baseou em buscar artigos em bases de dados. As bases que foram utilizadas são *Web of Science*, *Scifinder* e *SCIELO (Scientific Electronic Library Online)* empregando como palavras-chave a borra de café; *transesterification*; resíduo; biodiesel; *coffee oil* e SCG.

A metodologia do projeto foi baseada em Bardin, que consiste em uma sequência de etapas sistemáticas de análise de mensagens que permite a obtenção de indicadores referentes a essas mensagens. A análise deu-se sobre três etapas, sendo elas, pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados e interpretações (BARDIN, 1977).

Na primeira etapa, foram selecionados 37 artigos que tinham a data de publicação entre os anos de 2007 e 2020 e foram avaliados realizando-se uma leitura flutuante para definir quais seriam ou não utilizados na pesquisa, o que fazia sentido analisar e o que ainda precisava ser coletado. Na segunda etapa, o material que constitui o corpus passou pela codificação e categorização do material, os artigos que se enquadravam nos critérios descritos anteriormente, ou seja, que tratavam assuntos pertinentes ao tema proposto, foram lidos na íntegra e o critério de exclusão foi descartar artigos, teses ou dissertações que não atendessem aos objetivos propostos. E, por fim, a terceira etapa, houve a fase de inferência, onde ocorreu a análise de conteúdo e sistematização das informações contidas nos estudos pesquisados contemplando os objetivos propostos nessa pesquisa, exemplificadas na figura 10 a seguir:

Figura 10: Fluxograma do processo de análise



5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Mesmo com baixa produção de óleo em comparação com outros grãos, a borra do café doméstica foi escolhida para a análise pela elevada quantidade de lipídeos presentes em sua composição e por ser um resíduo que é descartado diariamente em grandes quantidades, transformando-a em um composto de valor agregado, e trazendo opções alternativas como o biodiesel, já que se torna um risco de contaminação se descarregada de maneira incorreta no meio ambiente, pelo fato de conter em sua composição cafeína, taninos e polifenóis, o que torna a borra um resíduo tóxico (MUSSATO, 2011).

A versatilidade desse material residual faz com que ele também possa ser utilizado na alimentação de ruminantes, peixes, aves e coelhos, com o resíduo restante da produção de cogumelos de alto valor comercial, já que a degradação parcial da cafeína e de taninos, promovida pelo fungo, faz com que a borra seja menos tóxica e mais apta para ser empregada na alimentação de certos animais (FERREIRA, 2011).

No tópicos a seguir serão analisados os métodos empregados para a produção de biodiesel a partir da borra de café e quais são as suas vantagens.

5.1 Produção de biodiesel a partir da borra de café e suas vantagens

Tendo como base os artigos selecionados, pode-se dizer que existem diversos métodos diferentes para se produzir biodiesel a partir da borra de café (Tabela 7).

Tabela 7: Métodos selecionados para obtenção de biodiesel

Autor	Ano de publicação	Condições da reação	Método
KAMIL	2020	Solvente: Metanol Catalisador: Hidróxido de Sódio Temperatura: 60 °C Rendimento: 90 %	Transesterificação
ILIČKOVIĆ	2012	Solvente: n-hexano Temperatura: 20 °C Rendimento: 11,85%	Maceração e extração
MARX	2020	Solvente: Água destilada Temperatura: 300 °C Rendimento: 20 %	Liquefação hidrotérmica em lote (HTL)
NGUYEN	2020	Solvente/ Catalisador: 1,8-Diazabicycloundec-7-eno (DBU) Temperatura: 60,2 °C Rendimento: 97,07 %	Transesterificação direta utilizando DBU
TARIGAN	2019	Solvente: Metanol/ Hexano Catalisador: Hidróxido de Sódio Temperatura: 65 °C	Transesterificação direta - extração reativa soxhlet (RES)

IM	2020	Rendimento: 90 %	
		Solvente: Metanol e n-hexano	Transesterificação in-situ utilizando catalisador sólido a partir de casca de ovo
		Temperatura: 45 °C	
		Catalisador: casca de ovo	
		Rendimento: 8,7 %	

Dentre eles, pode-se destacar o que utiliza o processo de transesterificação trivial, onde o óleo é obtido seguindo 3 etapas principais: extração, enxágue e destilação, utilizando o hexano como solvente com um tempo de extração de 45 minutos. O processo de transesterificação é realizado por meio da reação do óleo obtido da borra de café com metanol e hidróxido de sódio, utilizado como catalisador da reação, onde ocorre a agitação durante 90 minutos à 60 °C. A razão molar utilizada de óleo para metanol foi de 1:6 e a proporção em massa de óleo para catalisador foi de 100:1,5, para aumentar a taxa de conversão da reação. O produto da reação é uma mistura de duas camadas distintas: glicerina na parte inferior e o biodiesel na parte superior, que são separados por gravidade utilizando um decantador por um período de 12 horas. Após a separação, o biodiesel bruto contém sabão, catalisador, metanol e glicérides que são removidos após sucessivas lavagens, obtendo-se um rendimento de 90% (KAMIL, 2020).

Iličković et al. (2012) obteve o rendimento de 11,85 % utilizando maceração a uma temperatura de 20 °C em diferentes razões borra / solvente (1/3, 1/5 e 1/7 g/ cm³) durante a duração da extração com 500 mL de n-hexano e 100g de borra no aparelho soxhlet em uma reação com o período de cinco horas, enquanto com éter de petróleo o rendimento atingiu 10,44%, sendo mais conveniente usar h-hexano do que éter de petróleo por ser menos volátil e inflamável. Durante os experimentos verificou-se que o rendimento do óleo aumentava com a duração da maceração e com a diminuição da relação borra de café/ solvente de 1/3 para 1/7 g/ cm³, mantendo os outros parâmetros constantes (ILIČKOVIĆ, 2012).

Já Marx et al. (2020) tiveram um rendimento de 20 % produzindo o óleo por liquefação hidrotérmica em lote (HTL), usando uma autoclave de aço inoxidável 316 de 950 mL equipado com uma jaqueta de aquecimento, controladores de temperatura, indicadores de pressão e um agitador magnético. Utilizando uma razão 1:10 de borra/ água destilada a 300 °C

e uma carga de volume do reator de aproximadamente 50% vol. E após o carregamento da água e borra na autoclave, o sistema foi purgado três vezes com nitrogênio de alta pureza (UHP) para remover qualquer excesso de oxigênio e a pressão iniciou em 10 bar. As jaquetas de aquecimento aqueciam o conteúdo do reator a 300 °C a uma taxa de aproximadamente 2,5 K/ min. Assim que a temperatura foi atingida, ela foi mantida constante por 10 min, após o qual as camisas de aquecimento foram desligadas, e o reator foi resfriado até a temperatura ambiente usando um ventilador de convecção e quando a temperatura ambiente foi atingida, o reator foi purgado para o cromatógrafo gasoso para analisar o produto obtido, que foi removido do reator utilizando hexano como solvente. A mistura deixada por uma noite foi filtrada utilizando o filtro Buchner e papel de filtro. O produto foi lavado 3 vezes com hexano e a parte orgânica foi recuperada por gravidade em um funil de separação e o hexano foi removido por evaporação. O biodiesel foi seco em um forno durante a noite a 100 °C para remover todo o solvente residual e água e depois foi mantido em um recipiente hermético (MARX, 2020).

Em um processo de transesterificação típico, uma tonelada de óleo reage com 150 kg de metanol na presença de 15 kg de catalisador para produzir uma tonelada de biodiesel e 150 kg de glicerol. Esse processo consome uma quantidade substancial de água, energia e gera águas residuais. Pensando nisso, foi desenvolvido o método de transesterificação direta, onde a transesterificação e a extração do óleo ocorrem simultaneamente em uma única etapa, utilizando o 1,8-Diazabicycloundec-7-eno (DBU) como solvente comutável que pode alternar reversivelmente entre as formas não polares e polares, possui baixa toxicidade e alta eficiência de extração e como catalisador, pois possui fortes propriedades alcalinas e promove a solubilidade do óleo no álcool e isso faz com que a eficiência da reação aumente, além de poder ser reutilizado.

Nesse processo, a borra de café é utilizada na forma úmida para diminuir o consumo de energia e tempo. A reação foi realizada em um reator selado contendo 2 g de borra úmida sob as condições de reação da razão metanol para borra de 6,25 mL/g, razão DBU para borra de 14,46 mL/g, um tempo de reação de 25,65 minutos e uma temperatura de 60,2 °C sob agitação constante e o rendimento experimental obtido foi de 97,18 %. Não foi formado sabão quando o DBU foi usado como um catalisador para a transesterificação direta (NGUYEN, 2020).

Para verificar a reutilização do DBU, após a conclusão da reação, 5 mL por minuto de CO₂ foi borbulhado na mistura de reação por meia hora em temperatura ambiente seguido por centrifugação por 10 min a 6000 rpm. O biodiesel foi obtido, e a camada restante contendo a mistura polar de metanol-DBU foi aquecida a 90 °C com introdução simultânea de N₂ (5 mL/min) por 60 min para mudar o DBU para sua forma original (hidrofobicidade). Posteriormente, o DBU recuperado foi adicionado a um reator contendo metanol fresco e borra úmida para iniciar uma nova reação de transesterificação direta. Obteve-se um rendimento de 97,07 %, mostrando que o DBU pode ser empregado repetidamente por pelo menos 10 ciclos sem reduzir de forma brusca o rendimento do biodiesel formado (NGUYEN, 2020).

Tarigan et al. (2019), obteve uma taxa de conversão da borra em biodiesel de 90 % utilizando a borra úmida no método de extração reativa soxhlet (RES) e hexano como co-solvente. A produção direta de biodiesel a partir da borra úmida foi conduzida em um aparelho soxhlet que possui duas câmaras separadas, 10 gramas de borra úmida em um dedal foram colocados na câmara de extração do soxhlet conectado ao condensador e 150 mL de mistura de hidróxido de sódio em metanol como catalisador a uma concentração de 0,75 M e hexano com a razão de 1:1 foram despejados na câmara de reação. O tempo de reação começou quando o co-solvente na câmara de extração caiu na câmara de reação e continuou tendo a duração de 30 minutos. O biodiesel dissolvido em hexano foi separado e lavado 3 vezes com 25 mL de água para remover as impurezas. Após evaporação da fase hexano, o biodiesel foi reconstituído com clorofórmio-D para análise de RMN. Foram testadas também a eficiência de conversão do biodiesel com a reutilização do catalisador, que permaneceu alta ($\geq 90\%$) após 5 ciclos, diminuindo apenas 5,8% em relação aos $96,3\% \pm 0,4$ observados no primeiro ciclo, que diminuiu à medida que a quantidade de glicerol aumentou, o que reduziu a concentração do catalisador. Quanto a eficiência energética, o dispositivo usado para conduzir o método RES foi um agitador magnético de placa de aquecimento regular que opera a uma temperatura de 65 °C por 0,5 horas. A necessidade de energia para processar 10 gramas de SCG úmido foi 30 kW h kg⁻¹, o que é equivalente a 108 MJ kg⁻¹ de biomassa úmida. O processo de extração consumiu 34,75 kW h kg⁻¹ ao usar um aparelho extrator regular, economizando energia e tempo em 38% e 96,3%, respectivamente, pois eliminou o processo de secagem que requer três dias de secagem ao sol e secagem durante a noite a 105 °C usando um forno de ar quente (TARIGAN, 2019).

Im et al. (2020), produziram biodiesel a partir de resíduos de borra de café (WCGs) usando catalisadores sólidos fabricados a partir de resíduos de casca de ovo (contidos por cartuchos para futura reutilização), empregando um processo direto com apenas uma etapa, que compreendia em extrair os lipídios da borra de café e a transesterificação simultânea desses lipídios com metanol em um reator. As condições de reação utilizadas com o cartucho foram 100% em peso de catalisador em relação a borra de café, sendo a mistura de 4,0 mL de metanol e 4,0 mL de n-hexano por grama de borra de café, à 45°C durante 9 horas utilizando uma rotação de 200 rpm, obtendo-se um rendimento de biodiesel de 8,7%. Os catalisadores sólidos retidos no cartucho foram reutilizados por sete rodadas seguidas de regime em batelada repetida e o rendimento de biodiesel foi superior a 92% do primeiro regime. Esse tipo de processo de transesterificação in situ elimina o custo associado à extração de lipídios, limpeza e refino (IM; YEOM, 2020).

Tendo em vista as diversas formas que o biodiesel pode ser produzido a partir da borra de café e que as formas continuam sendo aperfeiçoadas, pode-se dizer que é a matéria-prima mais barata dentre as opções disponíveis no mercado e contém uma proporção significativa de óleo que pode ser isolado por um processo de extração, ao invés de enxergá-la apenas como material para encher aterros, compostagem e meio de cultivo de cogumelos. E transformá-la em uma fonte de energia evitaria um aumento dos preços dos alimentos e escassez, que também são utilizados como matéria-prima para produzir biodiesel, como a soja.

Após a análise do conteúdo dos métodos selecionados, verificou-se que o fato de que o DBU pode ser reutilizado de forma eficiente na reação de transesterificação direta, tornando o processo econômico e eficiente e o maior gargalo para tornar o processo viável será a logística de arrecadação desse resíduo, o que exigiria um plano de gerenciamento de resíduos consistente com as regulamentações nacionais existentes. A Nestlé, por exemplo, a maior empresa de alimentos do mundo, se comprometeu a reduzir o desperdício na Europa até 2020, usando a borra de café como fonte de energia renovável em mais de 20 fábricas da Nescafé, a maior produtora de café instantâneo. Aqui no Brasil, as indústrias produtoras de café solúvel, poderiam contratar agências especializadas para coletar os resíduos e transportá-los ao destino onde seriam transformados em biodiesel.

6. CONCLUSÃO

Os óleos vegetais para obtenção de biodiesel podem gerar conflitos sociais e econômicos, pois além de combustível, também são fontes de alimento para a humanidade. Sendo assim, a possibilidade de investir na tecnologia de reaproveitamento dos resíduos de descarte, como a borra de café, acaba sendo uma solução sustentável, beneficiando tanto o ser humano quanto o meio ambiente.

O processamento de café gera quantidades significativas de resíduos a partir dos quais podemos obter a borra de café e que pode ser aplicada em diferentes áreas como, por exemplo, na produção de biodiesel, material de compostagem, na alimentação de ruminantes entre outras. Diante disso, o presente trabalho, analisou-se a possibilidade de produzir biodiesel a partir da borra de café a partir de dados da literatura. Foram analisados diversos métodos de produção de biodiesel, levando-se em consideração alguns fatores, como a porcentagem de conversão do produto final, o gasto de energia, a quantidade de água empregada e o tempo de duração do processo. Com isso, pode-se considerar que, dentre os métodos analisados, o mais vantajoso é o método que utiliza a transesterificação direta com DBU, pois torna o processo econômico, eficiente e ecológico, porque não utiliza solventes e catalisadores prejudiciais ao meio ambiente e a reação possui alto rendimento.

Levando em consideração que a cada ano milhares de toneladas de borra de café são descartadas, o biodiesel a partir deste resíduo tem grande potencial como fonte alternativa. Esta reutilização pode gerar uma nova fonte para produção de energia, novos empregos, estimular a inovação para a busca de novos processos, além de apresentar vantagem como ser renovável, reduzir a extração de recursos naturais, aumentar a lucratividade de empresas que descartam esse resíduo e diminuir impactos ambientais. A partir deste estudo pôde-se evidenciar que o biodiesel proveniente da borra de café pode atender a uma demanda global crescente de energia, além de ser uma solução promissora para reduzir a poluição ambiental, resultado do uso de combustíveis convencionais e, também, do descarte da própria borra de café. Para comprovar a utilidade da borra de café como meio de se obter biodiesel é necessário que estudos experimentais sejam investigados para que se consiga determinar quais as condições ótimas desse processo como, por exemplo, quais as variáveis para a extração do óleo proveniente da borra, a temperatura de operação, a razão mássica borra:solvente, o tipo de catalisador e qual o melhor solvente para a transesterificação.

BIBLIOGRAFIA

ALBIERO, Daniel. **Jornal Dia de Campo. Utilização de energia na agricultura parte I.** Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23369&secao=Colunas%20e%20Artigos>>. Acesso em 26 de jun. 2021.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. 2004. **Resolução ANP 45/2014.** Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-45-2014?origin=instituicao>>. Acesso em: 24 de jul. de 2021.

BARDIN, L. **Uanalyse de contenu.** Paris, Presses Universitaires de France, 1977.

BASSETTO, Priscilla; ESPÍRITO SANTO, R. S. **Processo produtivo do café torrado e moído.** Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, v. 10, p. 1-8, 2016.

Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). **Coffee, tea, cocoa.** In H.-D. Belitz, W. Grosch, & P. Schieberle (Eds.), *Food Chemistry* (4 ed., p. 938–951). Leipzig: Springer.

BIODIESELBR. **Glicerina, o tamanho do problema** – Ano1, nº3 – Fev/Mar – 2008.

BLINOVÁ, Lenka; BARTOŠOVÁ, Alica; SIROTIK, Maroš. **Biodiesel production from spent coffee grounds.** Vedecké Práce Materiálovotechnologickej Fakulty Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave so Sídrom v Trnave, v. 25, n. 40, p. 113, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Nacional de Agroenergia.** Brasília, 2005.

BUCUSSI, A. A.; **Introdução ao conceito de energia.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

CAFÉ, Louco do. **Tipos de grãos de café: arábica e robusta.** Disponível em: <<https://loucodocafe.com.br/tipos-de-graos-de-cafe/>>. Acesso em: 08 de Ago. de 2021.

CAMPOS-VEGA, R.; LOARCA-PI, G.; VERGARA-CASTA, H. A.; DAVE OOMAH, B. **Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects.** Trends in Food Science & Technology, v. 45, p. 24–36, 2015.

CARVALHO, Hugo Machado; RIBEIRO, Aldinei Barreto. **Biodiesel: Vantagens e desvantagens numa comparação com o diesel convencional.** Bolsista de Valor: Revista de

divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 49-53, 2012.

CARVALHO, J.F. **Combustíveis fósseis e insustentabilidade**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 30-33, set. 2008.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F. RAMOS, L. P. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras**. Química Nova, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DANG, Chi-Hien; NGUYEN, Thanh-Danh. **Physicochemical characterization of robusta spent coffee ground oil for biodiesel manufacturing**. Waste and Biomass Valorization, v. 10, n. 9, p. 2703-2712, 2019.

EL HALAL, Shanise Lisie Mello. **Composição, processamento e qualidade do café**. 2017.

EMBRAPA, MEIO AMBIENTE. **Cultivo do Café Orgânico**. Seropédica: Rio de Janeiro, 2004.

EMBRAPA, MEIO AMBIENTE. **Manual de Segurança e Qualidade para a Cultura do Café**. Série Qualidade e Segurança dos Alimentos: Brasília, 2004.

ENERGÉTICA, EPE EMPRESA DE PESQUISA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis - ano 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

FARINHOTO, R. J. C. R. (2012). **Análise física e química de cafés verdes com diferentes origens geográficas**. Dissertação. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa.

Ferreira, A. (2011). **Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (Lactuca sativa L .)**. Dissertação de Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar, Instituto politécnico de Bragança.

GONZALEZ, E.A.S. **Estudo da viabilidade de implantação de pequenas unidades de torrefação de café**. (2014). Trabalho final (Graduação em Bacharelado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estácio de Sá. Rio de Janeiro.

GONZALEZ, Wilma Araújo et al. **Biodiesel e óleo vegetal in natura**. Ministério de Minas e Energia, 2008.

GUIMARÃES JÚNIOR, Francisco Roberto Farias et al. **Análise da oferta de oleaginosas para a produção de biodiesel por meio da técnica de análise conjunta de dados de preferência declarada**. Production, v. 23, n. 4, p. 846-857, 2013.

HOFFMANN, C.E. (2001). **Resfriamento no processo de torra nas características e qualidade tecnológica e sensorial do café**. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

ILIČKOVIĆ, Zoran et al. **Analysis of the possibility for obtaining oil from the spent coffee grounds as potential raw material for biodiesel production/ Ispitivanje mogućnosti dobijanja ulja iz čvrstog ostatka zaostalog nakon spravljanja napitka od kafe kao potencijalne sirovine za dobijanje biodizela**. Hemijska industrija, v. 66, n. 4, p. 581-586, 2012.

IM, Gahee; YEOM, Sung Ho. **Repeated biodiesel production from waste coffee grounds via a one-step direct process with a cartridge containing solid catalysts manufactured from waste eggshells**. Biotechnology and Bioprocess Engineering, v. 25, n. 4, p. 623-632, 2020.

International Coffee Organization, Global Coffee Consumption. **The Current State of the Global Coffee Trade**. Disponível em: http://www.ico.org/monthly_coffee_trade_stats.asp. Acesso em: 10 de Jan. de 2021.

JORGE, Neuza. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Cultura Acadêmica, v. 1, p. 165, 2009.

Jornal Oficial da União Europeia: “Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Maio de 2003 relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes”, 17/05/2003.

KAMIL, Mohammed et al. **Economic, technical, and environmental viability of biodiesel blends derived from coffee waste**. Renewable Energy, v. 147, p. 1880-1894, 2020.

KNOTHE, G. Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales. Revista A&G. n. 2. v. 47, Tomo XII, 2001.

KONDAMUDI, Narasimharao; MOHAPATRA, Susanta K.; MISRA, Mano. **Spent coffee grounds as a versatile source of green energy**. Journal of agricultural and food chemistry, v. 56, n. 24, p. 11757-11760, 2008.

KRELL, Andreas Joachim et al. **A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável**. Revista de Direito Econômico e Socioambiental, v. 11, n. 2, p. 157-188, 2020.

LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS LIMPAS (LADETEL / USP-RP). **Biodiesel: estratégias para produção e uso no Brasil**. In: BIODIESEL: ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO E USO NO BRASIL, 2005, São Paulo: Unicorp, 26-27, abr. 2005. Anais... v.1, p. 34-37.

LIMA, Alice Medeiros de. **Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico-econômica da produção de biodiesel**. Embrapa Agroenergia-Documents (INFOTECA-E), 2011.

MARTINEZ-SAEZ, N.; GARCÍA, A. T.; PÉREZ, I. D.; REBOLLO-HERNANZ, M.; MESÍAS, M.; MORALES, F. J.; MARTÍN-CABREJAS, M. A.; DEL CASTILLO, M. D. **Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products**. Food Chemistry, v. 216, p. 114–122, 2017.

MARX, Sanette et al. **Biofuels from spent coffee grounds: comparison of processing routes**. Biofuels, p. 1-7, 2020.

MAZZARRI, Cateryna Aiello et al. **Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H₂SO₄ y transesterificación con KOH**. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, v. 29, n. 1, p. 53-66, 2019.

MEIRELLES, F. S. **Biodiesel**. Brasília, 2003.

MOTA, Claudio JA; DA SILVA, Carolina XA; GONÇALVES, Valter LC. **Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel**. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 639-648, 2009.

MUSSATTO, Solange I. et al. **Production, composition, and application of coffee and its industrial residues**. Food and Bioprocess Technology, v. 4, n. 5, p. 661-672, 2011.

NEGRELLO, Liliana; ZENTI, Luciana. **Nasce uma Potência**. Biodieselbr. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/002/nasce-potencia>>. Acesso em: 2 de jul. de 2021.

NGUYEN, Hoang Chinh et al. **Biodiesel production by direct transesterification of wet spent coffee grounds using switchable solvent as a catalyst and solvent**. Bioresource technology, v. 296, p. 122334, 2020.

OLIVEIRA, Leandro S. et al. **Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production**. Bioresource Technology, v. 99, n. 8, p. 3244-3250, 2008.

PARENTE, E. S. et al. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003.

PEITER, Gabrielle Caroline et al. **Alternativas para o uso do glicerol produzido a partir do biodiesel**. Revista brasileira de energias renováveis, v. 5, n. 4, p. 519-537, 2016.

PENIDO, Henrique Rocha. Biodiesel: debates e propostas. A inclusão social, a preservação ambiental e os ganhos econômicos. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, maio 2005. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/6702>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

PHIMSEN, S. et al. **Oil extracted from spent coffee grounds for bio-hydrotreated diesel production**. Energy Conversion and Management, Vol. 126, 2016.

PLÁ, J. A. **Histórico do Biodiesel e suas Perspectivas**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

Ramos L. P., Gazzoni L. D., Suarez P. **Vantagens e desvantagens do Biodiesel**. Biodieselbr. Disponível em:< <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel>>. Acesso em: 2 de jul. de 2021.

RAMOS, Patrick Luan Pacheco; PONCZEK, Roberto Leon. **A evolução histórica dos conceitos de energia e quantidade de movimento**. Caderno de Física da UEFS, v. 9, n. 1-2, p. 73-83, 2011.

RATHMANN, Régis et al. **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira**. II Seminário de Gestão de Negócios, v. 1, 2005.

SHAHID, Ejaz M.; JAMAL, Younis. A review of biodiesel as vehicular fuel. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 12, n. 9, p. 2484-2494, 2008.

SILVA, Paulo Regis Ferreira da; FREITAS, Thais Fernanda Stella de. **Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível**. Ciência Rural, v. 38, p. 843-851, 2008.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. **The lipid fraction of the coffee bean**. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 18, n. 1, p. 201–216, 2006.

TARIGAN, Juliati Br et al. **Direct biodiesel production from wet spent coffee grounds**. RSC advances, v. 9, n. 60, p. 35109-35116, 2019.

UDDIN, M. N. et al. **Waste coffee oil: A promising source for biodiesel production**. Energy Procedia, v. 160, p. 681, 2019.

Ventura, Carla Sofia Santos. (2010). **Biodiesel Obtido de Gordura Animal: Caracterização e Utilização como Combustível**. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Portugal, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. Revista Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 3, 2009.

ZUÑIGA, Abraham Damian Giraldo et al. **Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel**. Pesticidas, 2011.