

**Planejamento fatorial e avaliação econômica do processo de produção de biodiesel a partir da gordura suína**

**Factorial planning and economic evaluation of the biodiesel production process from swine fat**

**Planificación factorial y evaluación económica del proceso de producción de biodiesel a partir de grasas porcinas**

Recebido: 03/08/2020 | Revisado: 14/08/2020 | Aceito: 17/08/2020 | Publicado: 20/08/2020

**Dayane Mylena Gomes Rêgo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4541-7972>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [dayane.mylena@yahoo.com](mailto:dayane.mylena@yahoo.com)

**Lucas Cavalcante da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6746-2264>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [lucas234cavalcante@hotmail.com](mailto:lucas234cavalcante@hotmail.com)

**Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2850-9437>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [marcelo.morais@ufersa.edu.br](mailto:marcelo.morais@ufersa.edu.br)

**Ricardo Paulo Fonseca de Melo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7448-9273>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [ricardo.melo@ufersa.edu.br](mailto:ricardo.melo@ufersa.edu.br)

**Shirlene Kelly Santos Carmo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7198-9114>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [shirlene@ufersa.edu.br](mailto:shirlene@ufersa.edu.br)

**Resumo**

O estudo econômico é um parâmetro essencial dentro de um processo, a partir deste, é possível definir a viabilidade de produção de um determinado produto. A preservação do meio ambiente é uma das grandes preocupações das últimas décadas, e cada vez mais tem se

buscado por fontes alternativas de energia e pelo desenvolvimento sustentável. Uma das soluções encontradas é o uso de biocombustíveis, por tratar-se de combustível baseado em fontes renováveis, eles podem contribuir para o desaquecimento global. O objeto de estudo nesta pesquisa foi a produção do Biodiesel a partir da gordura suína, via transesterificação ácida e básica, por rota metílica e etílica, visto que esta matéria prima apresenta propriedades favoráveis, além de haver uma oferta elevada na região Nordeste, as quais muitas vezes, é descartada inadequadamente ao meio ambiente. Os experimentos foram projetados de acordo com um planejamento fatorial, e diante destes obteve-se o biodiesel com uma razão molar 1:3 (gordura suína: álcool) via rota metílica, com rendimento de 97,23%. A rota etílica não apresentou resultados satisfatórios para a transesterificação, porém, ainda se encontra em fase de testes, objetivando encontrar menores proporções entre os insumos utilizados, visando a obtenção de menores custos. Após uma análise de custos do processo, relacionando os insumos de produção e o consumo energético, verificou-se uma melhor eficiência do processo em relação ao produto gerado via rota metílica, quando comparado ao obtido via rota etílica.

**Palavras-chave:** Energia renovável; Biocombustíveis; Reaproveitamento; Impactos ambientais; Benefícios.

### **Abstract**

The economic study is an essential parameter within a process, from this, it is possible to define the viability of producing a specific product. The preservation of the environment is one of the major concerns of the last decades, and it is increasingly sought by alternative sources of energy and sustainable development. One of the solutions found is the use of biofuels, as it treats fuel based on renewable sources, they can contribute to the global slowdown. The object of study in this research was the production of biodiesel from swine fat, via acid and basic transesterification, by methyl and ethyl route, seen as this main raw material favorable resources, in addition to having an offer available in the Northeast region, such as which it is often discarded inappropriately to the environment. The experiments were designed according to a factorial design and in these cases, detecting biodiesel with a 1: 3 molar ratio (swine fat: alcohol) via methyl route, with a yield of 97.23%. An ethylic route does not present satisfactory results for transesterification, however, it is still in the testing phase, aiming to obtain lower proportions between the inputs used, using the lowest costs. After a process cost analysis, relating production inputs and energy consumption, there was a better efficiency of the process in relation to the product generated by the methyl route, when used by the ethyl route.

**Keywords:** Renewable energy; Biofuels; Reuse; Environmental impacts; Benefits.

## **Resumen**

El estudio económico es un parámetro esencial dentro de un proceso, a partir de esto, es posible definir la viabilidad de producir un determinado producto. La preservación del medio ambiente es una de las principales preocupaciones de las últimas décadas, y existe una búsqueda creciente de fuentes alternativas de energía y desarrollo sostenible. Una de las soluciones encontradas es el uso de biocombustibles, ya que es un combustible basado en fuentes renovables, pueden contribuir a la desaceleración global. El objeto de estudio en esta investigación fue la producción de biodiesel a partir de grasa porcina, a través de la transesterificación ácida y básica, por ruta metil y etil, ya que esta materia prima tiene propiedades favorables, además de tener un alto suministro en la región noreste, que a menudo se descarta de manera inapropiada para el medio ambiente. Los experimentos se diseñaron de acuerdo con un diseño factorial y, a la vista de estos, se obtuvo biodiesel con una relación molar 1: 3 (grasa porcina: alcohol) por vía metil, con un rendimiento del 97,23%. La ruta del etilo no presentó resultados satisfactorios para la transesterificación, sin embargo, todavía está en la fase de prueba, con el objetivo de encontrar proporciones más pequeñas entre los insumos utilizados, con el objetivo de obtener costos más bajos. Después de un análisis de los costos del proceso, relacionando los insumos de producción y el consumo de energía, hubo una mejor eficiencia del proceso en relación con el producto generado por la ruta del metilo, en comparación con el obtenido por la ruta del etilo.

**Palabras clave:** Energía renovable; Biocombustibles; Reutilizar; Impactos ambientales; Beneficios.

## **1. Introdução**

As fontes energéticas existentes em todo o mundo, em grande parte, são derivadas de combustíveis fósseis, além da previsão de esgotamento no futuro, são poluidoras e afetam diretamente o meio ambiente, provocando consequentemente, uma busca por novas alternativas energéticas. Assim sendo, o Biodiesel apresenta-se como uma possibilidade de combustível obtido por fonte renovável (Aprobio, 2013).

Os ambientalistas têm se preocupado cada vez mais com os dados alarmantes de desmatamento e expansão das monoculturas. Na busca pelo combate destas ações, enxerga-se no biodiesel produzido a partir de gorduras vegetais, animais ou residuais de frituras, um

biocombustível que além de apresentarem menores custos de produção, são ambientalmente aceitas.

Estudos relacionados ao uso de combustíveis alternativos, principalmente aos derivados de fontes renováveis, como o biodiesel, podem reduzir significativamente os problemas ambientais causados, pois minimizam os danos nos motores a diesel e as emissões de gases de efeito estufa (Messias et al, 2020).

Através de estudos comparativos entre os combustíveis fósseis e os biocombustíveis, observa-se que os combustíveis obtidos de fontes renováveis em sua queima, podem emitir em média, 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado e 67% menos hidrocarbonetos, quando comparada a queima do diesel de petróleo (Galina et al, 2020).

Quanto às gorduras provenientes de abate animal é um atrativo econômico para a produção do biodiesel, pois a grande quantidade indica baixo custo e disponibilidade da matéria prima, além do uso da gordura colabora também para a redução dos impactos ambientais, evitando o destino impróprio dos resíduos e não são processados e descartados incorretamente (Jardine, 2009).

O pescado foi a fonte de proteína mais produzida no mundo em 2017. Em segundo lugar vem a carne suína sendo responsável por 120 milhões de toneladas (Medeiros, 2018). Em 2019, os embarques de carne suína para o exterior totalizaram 635,5 toneladas, uma alta de 17,75% em relação ao ano interior, de acordo com números da Secretária do comércio exterior (SECEX).

Com isso, devido a crescente produção e consumo da carne suína, uma maior quantidade de rejeitos de gordura é gerada, cerca em torno de 2.216 milhões toneladas/ano, com aplicações na fabricação de rações, sabões, tintas, cosméticos, explosivos, farmacêuticos e lubrificantes. Além destes, com destinação mais recente, a gordura pode ser aplicada na produção de biodiesel (Faveiro et al, 2003).

A gordura de porco possui grande quantidade de ácidos graxos saturados e insaturados, ácido oleico e palmítico, correspondendo da metade de triglicerídeos (Azevedo et al, 2017).

Na obtenção do biocombustível a partir de óleos vegetais e gorduras animais, uma das técnicas mais utilizadas é a da transesterificação, que pode ocorrer como um processo não catalítico ou por catálise ácida, básica ou enzimática. Dentre estas, o processo mais utilizado é o da transesterificação homogênea via catálise básica. Essa reação consiste na interação entre os constituintes presentes nestas matérias primas e álcoois de cadeia curta e catalisadores

ácido e/ou básico, gerando o éster (chamado de biodiesel) e glicerol (Daryono & Sinaga, 2017).

A pesquisa baseou-se em dados experimentais em escala laboratorial para produção do combustível a partir da gordura suína. O estudo amparou-se em ferramentas matemáticas que avaliam as variáveis do processo de produção, através do planejamento fatorial, além disso, buscando estimar a viabilidade econômica do produto final, para fins de elucidar a substituição dos combustíveis por biocombustível, fez-se a análise do custo energético.

## 2. Metodologia

De acordo com Tartuce (2006 apud Pereira, 2018), “O conhecimento é um processo dinâmico e inacabado, serve como referencial para a pesquisa tanto qualitativa como quantitativa como forma de busca de conhecimentos próprios das ciências exatas e experimentais.”

Para tanto a pesquisa se deu por meio do método reacional e sistemático, ou seja, pelo método quantitativo em que a partir de dados obtidos pode-se fornecer um melhor entendimento sobre o objetivo do estudo (Pereira et al, 2018).

A matéria prima utilizada no estudo para obtenção do biodiesel, foi a gordura animal (suína), Figura 1.a, obtida diretamente de estabelecimentos e residências do Oeste Potiguar, mais especificamente, na cidade de Portalegre/RN.

Apesar de a transesterificação ser uma reação simples, muitas variáveis podem interferir no processo, tornando dificultosa a conversão necessária, devido a condição inicial do óleo utilizado, visto que o teor elevado de ácidos graxos livres (AGL) contidos em determinados óleos/gorduras podem influenciar qualitativa e quantitativamente na transesterificação (Costa et al, 2020).

Os catalisadores básicos, hidróxido de potássio (KOH) ou hidróxido de sódio (NaOH) são os mais utilizados devido ao baixo custo. A catálise básica resulta em altos rendimentos em biodiesel usando tempo curto e condições de reação mais suaves. Porém, para que isso aconteça, requer que a matéria-prima tenha baixos teores de AGL e água. Quando o valor AGL é elevado, pode ocorrer formação de sabão (Simonelli et al, 2019).

Para tornar o processo mais eficiente, um tratamento inicial deve ser aplicado ao óleo/gordura, buscando transformar a cadeia estrutural mais amorfa, preparando-a para a ação dos álcoois e catalisador. Com isso, o processo iniciou-se pelo aquecimento da gordura suína durante 4 horas a 100 °C, em uma chapa aquecedora com agitação magnética, conforme apresentado na Figura 1.b.

Além, aplicou-se um delineamento, por meio do planejamento fatorial em torno das variáveis do processo, e uma análise de custo econômico, avaliando os gastos energéticos empregados, ainda assim foi avaliado duas propriedades físico-química do produto final.

**Figura 1.** Gordura suína: antes (a) e depois do tratamento inicial (b)



(a)

(b)

Fonte: Autores.

## 2.1 Planejamento Fatorial

O planejamento tem por objetivo avaliar a condição que possibilite um melhor rendimento no processo de transesterificação para obtenção de biodiesel, através da catálise ácida e básica pelas rotas etílica e metílica. O estudo baseou-se em um planejamento fatorial  $2^4$  com quatro fatores variáveis: catalisador, razão molar, temperatura e tempo (Sousa, 2014). Os efeitos obtidos representam a influência de cada fator sobre o rendimento do Biodiesel.

Foram realizados 16 experimentos para cada tipo de álcool e catalisador, totalizando 32 experimentos. Com isso, pode observar a combinação das melhores condições para obtenção de uma maior conversão de Biodiesel.

Foi utilizado uma matriz de delineamento composto por quatro fatores ( $2^4$ ) - 16 ensaios, em níveis (-1, +1). As variáveis avaliadas pelo planejamento, foram: Tipo de catalisador (ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e hidróxido de sódio (NaOH)), Razão molar (matéria prima: álcool),

Tempo e Temperatura de processo. Cada planejamento foi avaliado na rota etílica e na metílica, Tabela 1.

**Tabela 1.** Planejamento 2<sup>4</sup> – Níveis máximo e mínimo para rota Metílica e rota Etílica

Variáveis	Níveis Máximo	Níveis Mínimo
Tempo(min)	60-120	45-90
Catalisador (%)	1	0,5
Razão Molar	1:4-1:6	1:1-1:3
Temperatura (°C)	60-70	50-60

Fonte: Autores.

No que se refere a Tabela 1, a mesma foi construída fazendo um comparativo entre os níveis mínimos e máximos das respectivas variáveis avaliadas, sendo realizado 16 experimentos tanto para rota metílica quanto para etílica.

## 2.2 Transesterificação da gordura suína

A transesterificação promove a quebra de moléculas dos Triglicerídeos, gerando misturas de ésteres metílicos e etílicos, na presença do catalisador básico e ácido, o que vai constituir o Biodiesel e o Glicerol. O aparato experimental utilizou o condensador de refluxo, conforme pode ser visto na Figura 2.

**Figura 2.** Processo reacional de Transesterificação.



Fonte: Autores.

A reação ocorreu sob uma chapa aquecedora com temperatura variável de acordo com o planejamento fatorial. No processo de transesterificação, a escolha da melhor faixa de operação deste parâmetro contribui para reduzir a viscosidade dos triglicerídeos, melhorando assim, as propriedades do biocombustível obtido. Dessa forma, é utilizada uma barra magnética em uma faixa de 140 a 200 rpm para agitação vigorosa e obtenção de altos rendimentos, uma vez que é necessário a homogeneização entre mistura de álcool, gordura e catalisador.

Em seguida, a mistura reacional é submetida a decantação, para completa separação das fases, Figura 3.a, onde o glicerol localiza-se na parte inferior do funil e o Biodiesel na parte superior.

Após a separação das fases, é realizado o processo de lavagem do Biodiesel, para eliminação do excesso de álcool e catalisador presentes, para isso, utilizou-se uma solução salina de NaOH e água destilada, Figura 3.b. Em seguida o Biodiesel foi levado a estufa com circulação de ar pra secagem (retirada de água ainda presente no produto).

**Figura 3.** Separação de fases (a) e lavagem do Biodiesel (b).



(a)

(b)

Fonte: Autores.

Ao produto obtido foram realizadas algumas análises, como a determinação do valor de pH, visto que é necessário que o mesmo se encontre dentro das características estabelecidas pela regulamentação da ANP, para garantir a qualidade do produto e evitar danos relacionados a corrosão quando inserido em motores de aço carbono.

Além deste, foi feito teste de inflamabilidade do biocombustível, o qual consiste na menor temperatura em que o combustível ao ser aquecido sob condições controladas gera uma quantidade de vapor para se formar uma mistura inflamável.

### 2.3 Avaliação Econômica

Os parâmetros relacionados aos custos econômicos em que foi baseada a análise, foram: fonte de energia, catalisadores, (básico e ácido) e álcoois. A matéria-prima não entra como custo, visto que a mesma foi coletada de residências. Através dessa análise, foi proposta a Equação 1, para a análise de custo dos insumos (CI):

$$CI = C_{catal} \times m_{catal} + C_{alcohol} \times m_{alcohol} \quad (1)$$

Onde:  $C_{catal}$  = concentração do catalisador;

$m_{catal}$  = massa do catalisador;

$C_{alcohol}$  = concentração do álcool

$m_{álcool}$  = massa do álcool

Além dos parâmetros citados anteriormente, foi analisado também, a potência (w) dos equipamentos empregados no processo reacional de transesterificação (chapa aquecedora e estufa), assim como, o tempo de operação gasto, a partir da Equação 2, fornecida pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern, 2018):

$$\text{consumo (Kwh)} = \frac{P(w) \times \frac{h}{\text{dia}} \times n^{\circ} \text{ dia/mes}}{1000} \quad (2)$$

O Custo final (CF) obtido corresponde ao (*Consumo x tarifa + CI*). Atualmente, a tarifa é constante para todos os processos, sendo ela R\$ 0,1705 por Kwh fornecida pela assistência da COSERN, assim, pode-se avaliar CF de cada experimento em consonância ao tipo de rota.

### 3. Resultados e Discussão

A partir do delineamento fatorial, dentre os resultados obtidos, observou-se o êxito por meio da rota metálica numa proporção de 1:3 (gordura: álcool), usando a massa de 20g da matéria prima e 0,5% de NaOH. A eficiência do processo resultou em um rendimento de 97,23% de Biodiesel. Segundo Alhassan et al. (2014), a razão molar óleo/gordura: álcool é um dos mais importantes fatores a serem observados no processo de transesterificação. O uso excessivo de álcool pode aumentar consideravelmente o tempo e o consumo de energia do estágio para separação entre biodiesel e álcool.

O valor do pH obtido foi 5,9, valor este determinado neutro, comparando com a normatização, se regulamentando aos valores adequados para o Biodiesel, o qual deve-se apresentar neutro, isso proporciona aos motores a vida útil prolongada, não causando desgastes a bomba injetora ou ocasionando corrosão do motor. (Miyashiro et al, 2013).

Ao analisar a inflamabilidade do produto pode-se notar a propagação, e que testes de inflamabilidade produzem a propagação da chama pra cima a partir do ponto de faísca, dessa forma o combustível é caracterizado como inflamável Figura 4.

**Figura 4.** Teste de Inflamabilidade.



Fonte: Autores.

Como mostrado na Figura 4, a gordura suína quando submetida ao teste de temperatura não deflagra chama, pois algumas de suas propriedades e composição dificulta a disseminação do fogo, proporcionando baixa volatilização e combustão incompleta.

Da mesma forma foi feito o teste de temperatura com o Biodiesel produzido, onde observou-se a temperatura de combustão inferior à da matéria prima, sendo considerada uma mistura inflamável por apresentar combustão, o que a leva a possuir características de um combustível.

Os experimentos realizados pela rota etílica não obtiveram resultados satisfatórios, visto que o  $C_2H_5OH$  possui baixa reatividade quando é submetido a reação com matéria prima de alta cadeia carbônica, então, necessitaria de testes usando uma maior proporção entre a razão gordura: álcool, trazendo assim, um maior custo ao processo como será apresentado mais adiante. O custo dos insumos foi baseado no valor médio dos produtos em lojas fornecedoras de produtos químicos, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Preço dos Reagentes Químicos.

Reagente	Concentração (%)	Preço (R\$)
$H_2SO_4$	98	50,0
$NaOH$	99	40,0
$CH_3OH$	99,8	19,36
$C_2H_5OH$	99,5	10,0

Fonte: Autores.

As variáveis presentes na análise de custo energético foram: energia, catalisadores, (básico e ácido), álcoois e tempo de operação. A potência correspondente aos equipamentos utilizados, foram respectivamente, 4000 W para a estufa e 500 W para a chapa aquecedora, o consumo adquirido pela rota metílica foi 21 kWh e a etílica 17,9 kWh. A tarifa é tabelada de

acordo com o tipo de consumo (kwh), sendo que nesses processos, em escala laboratorial, adequa-se ao tipo de consumo Residencial que equivale ao consumo de até 60 kWh/mês.

O CF corresponde ao (*Consumo x tarifa + Custo dos insumos*), onde a tarifa é constante para todos os processos, assim pode se avaliar o CF de cada experimento em consonância ao tipo de rota, Tabelas 3 e 4. Embora o etanol não apresente resultados satisfatórios até a proporção utilizada nesse estudo, realizou-se a análise econômica da sua produção, para fins de comparação com a rota metílica.

**Tabela 3.** Custo Final pela Rota metílica.

Custo por teste (Rota Metílica)						
Testes	Razão Molar (gordura: álcool)	Catalisador (mg)	Álcool (mg)	CI (R\$)	Consumo (kWh)	CF (R\$/Litro)
01	1:3	0,001	0,06	1,20	17,9	4,25
02	1:2	0,001	0,04	0,81	17,9	3,87
03	1:1	0,001	0,02	0,43	17,9	3,48

Fonte: Autores.

**Tabela 4 –** Custo Final pela Rota etílica.

Custo por teste (Rota Etílica)						
Testes	Razão Molar (gordura:álcool)	Catalisador (mg)	Álcool (mg)	CI (R\$)	Consumo (kWh)	CF (R\$/Litro)
01	1:3	0,001	0,06	0,65	21	4,23
02	1:3	0,003	0,06	0,75	21	4,33
03	1:4	0,001	0,08	0,85	21	4,43
04	1:4	0,003	0,08	0,95	21	4,53
05	1:5	0,004	0,10	1,20	21	4,78
06	1:6	0,004	0,12	1,40	21	4,98

Fonte: Autores.

Fazendo um comparativo entre as Tabelas 3 e 4, verifica-se que a rota metílica se mostrou economicamente mais viável, pressupondo que devido a matéria prima ter um nível elevado de saturação, há uma dificuldade na quebra da cadeia pelo  $C_2H_5OH$ , fazendo-se assim o  $CH_3OH$  mais reativo na conversão do biocombustível.

Outra análise realizada a partir de dados obtidos neste trabalho, faz um comparativo entre o preço atual médio do Diesel, que se encontra em torno de R\$ 3,223/ Litro, no estado

do Rio Grande do Norte (RN), com o valor obtido para o Biodiesel produzido neste trabalho via rota metflica, cujo saiu em torno de R\$ 5,00/Litro.

Observa-se que, embora o preço do Diesel se encontre com valor inferior ao do Biodiesel de gordura suína, trata-se de um combustível sustentável e ambientalmente correto, e a obtenção de produtos sustentáveis encarece seu preço final, no entanto novos testes estão sendo realizados como forma de tentar baratear este produto por meio da redução nas proporções utilizadas e condições do processo.

Apesar do Brasil ser autossuficiente na produção de  $C_2H_5OH$ , nesses experimentos apresenta encarecimento do processo comparado com o uso do  $CH_3OH$ , então mesmo que apresente elevada toxicidade e exija adaptações no processo, o  $CH_3OH$ , torna-se mais atrativo na produção de Biodiesel a partir de materiais com alta cadeia carbônica, como é o caso da gordura suína.

Para tanto, a rota etflica torna-se eficiente na eliminação de emulsão do Biodiesel na glicerina, porém para que fossem obtidos resultados pela rota etflica, seria necessário a utilização em grandes quantidades do álcool o que se tornaria inviável economicamente e um custo alto atrelado ao processo.

#### **4. Considerações Finais**

O Biodiesel obtido nesse estudo apresentou um rendimento de 93,27% por meio da rota metflica, o que apresenta a gordura suína eficiente para uma produção desse biocombustível. Analisando o planejamento fatorial realizado, os custos obtidos por meio da rota metflica, numa razão molar (1:3), mostraram-se mais atrativos, quando comparados aos da rota etflica, fato este devido a não obtenção de êxito na conversão dos ácidos graxos da gordura a partir desta rota, nas proporções semelhantes a da rota metflica utilizada neste trabalho, o que induz, que para obter uma possível eficiência na transesterificação, seria necessário maiores quantidades de  $C_2H_5OH$ , acarretando um provável aumento energético ao processo, conseqüentemente, elevação dos custos, o que não seria atrativo. Além disso, a pesquisa tem como propósito, a inserção de novas alternativas energéticas que visam contribuir com a melhoria das condições ambientais, visto que cada vez mais, o universo sofre com o aquecimento global, grande parte deste, provocado por gases atmosféricos liberados em decorrência das atividades humanas. Essa energia renovável traz ainda, possibilidades de renda aos produtores rurais que dispõem de alta taxa de produção da gordura suína, além de poder proporcionar uma destinação adequada a esta matéria.

Como sugestão para trabalhos futuros, frisa-se a necessidade de um planejamento experimental ampliado, ajustando novas condições às variáveis de processo, buscando através disso, fornecer maior economia, e melhores resultados ao produto final desejado.

## Referências

Alhassan, Y., Kumar, N., Bugaje, I. M., Pali, H. S., & Kathkar, P. (2014). Co-solvents transesterification of cotton seed oil into biodiesel: effects of reaction conditions on quality of fatty acids methyl esters. *Energy conversion and management*, 84, 640-648.

Azevedo, C. H., Lamounier, M. A. T., & Teixeira, N. C. (2017) Óleo de Soja x Banha de Porco – Diferenças e Preferências. *Revista Pensar Gastronomia*, 3(2).

Companhia Energética do Rio Grande do Norte – COSERN (2018). *Tabela de Tarifas e preços finais de energia elétrica - Grupo B*.

Costa, L. G., Siteo, B. V., Santos, D. Q., & Borges Neto, W. (2020). Quantificação do teor de biodiesel de crambe em misturas com diesel utilizando espectroscopia mir e seleção de variáveis. *Revista Química Nova*, 43(6).

Daryono, E. D., & Sinaga, E. J. (2017). Rapid In Situ Transesterification of Papaya Seeds to Biodiesel with The Aid of Co-solvent. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(1).

Faveiro, J. A., Crestani, A. M., Perdomo, C. C., Bellaver, C., Pillion, C. N., Fialho, F. B., Lima, G. J. M. M., Zanella, J. R. C., Mores, N., & Silveira, P. R. S. (2003). *Boas práticas agropecuárias na Produção de Suínos*. Circular Técnica, (39a ed.), 12.

Galina, D., Benedito, V. M., Freitas, R. R., & Porto, P. S. S. (2020). Analysis of the temperature and time on time on direct transesterification of *Nannochloropsis Oculata* for biodiesel production. *Research, Society and Development*, 9(7), 3.

Jardine, J. G. (2009). *Considerações sobre o biodiesel como biocombustível alternativo ao diesel*. ISSN: 1677-9274, Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária.

Medeiros, F. (2018). *Brasil é o 4º maior produtor mundial de Tilápia*. ANUÁRIO PeixeBR da Piscicultura, 122, 2018. Recuperado de <https://www.peixebr.com.br/piscicultura-brasileira-produziu-722-560-toneladas-em-2018-segundo-levantamento-da-peixe-br/>.

Messias, G. B., Chendynsk, L. T., Romagnoli, E. S., Moreira, I., Angilelli, K. B., Marques, L. C., & Borsato, D. (2020). Evaluation of the Behavior of the Kinetic Parameters of the Oxidation Reaction of Biodiesel in Contact With Metal Alloys During Storage. *Revista Virtual de Química*, 12, 610.

Miyashiro, C. S., Oliveira., Campos, E., & Teleken, J. G. (2013). Produção de Biodiesel a partir da transesterificação de óleos residuais. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 1, 63-76.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book], 1ª ed. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS.

Simonelli, G., Ferreira Júnior, J. M., Pires, C. A. de M., & Santos L.C.L. dos. (2019). Biodiesel production using co-solvents: a review. *Research, Society and Development*, 9(1).

Solutions, P. (2015). *Biodiesel - A (R)evolução nas mãos do Brasil*. Apoio: Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil – APROBIO, 2015. Recuperado de [https://aprobio.com.br/arquivos/2015\\_08\\_Biodiesel-A-R\\_Evolu%C3%A7%C3%A3onasM%C3%A3osdo-Brasil\\_Peterson\\_Aprobio.pdf](https://aprobio.com.br/arquivos/2015_08_Biodiesel-A-R_Evolu%C3%A7%C3%A3onasM%C3%A3osdo-Brasil_Peterson_Aprobio.pdf).

Sousa, D. de A. (2014). *Ocorrência de poluentes orgânicos persistentes em ovos de Caiman yacare (jacaré-do-Pantanal)*. 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Química) - UNESP, Instituto de Química de Araraquara.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Dayane Mylena Gomes Rêgo – 60%

Lucas Cavalcante de Oliveira – 5%

Marcelo Nascimento de Morais Oliveira – 5%

Ricardo Paulo Fonseca de Melo- 10%

Shirlene Kelly Santos Carmo – 20%