

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Vítor Günther Dumke Trindade

**CONSTRUÇÃO DE UMA PLANTA DIDÁTICA PARA A PRODUÇÃO  
DE BIODIESEL**

Cachoeira do Sul, RS  
2021

**Vítor Günther Dumke Trindade**

**CONSTRUÇÃO DE UMA PLANTA DIDÁTICA PARA A PRODUÇÃO  
DE BIODIESEL**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Dr. Juan Galvarino Cerda Balcazar

Co-orientadora: Profa. Dra. Débora Faoro

Cachoeira do Sul, RS  
2021

**Vítor Günther Dumke Trindade**

**CONSTRUÇÃO DE UMA PLANTA DIDÁTICA PARA A PRODUÇÃO  
DE BIODIESEL**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Aprovado em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021

---

**Prof. Dr. Juan Galvarino Cerda Balcazar (UFSM-CS)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Profa. Dra. Débora Faoro (UFSM-CS)**  
(Co-orientadora)

---

**Prof. Dr. Cristiano Frandalozo Maidana (UFSM-CS)**

---

**Prof. Dr. Anderson Dal Molin (UFSM-CS)**

Cachoeira do Sul, RS  
2021

## RESUMO

# CONSTRUÇÃO DE UMA PLANTA DIDÁTICA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

AUTOR: Vítor Günther Dumke Trindade  
ORIENTADOR: Juan Galvarino Cerda Balcazar  
CO-ORIENTADORA: Débora Faoro

Este trabalho tem como objetivo a construir uma planta didática de baixo custo, para proporcionar o conhecimento acerca dos processos e insumos utilizados para obtenção do biodiesel, assim como apontar as características de funcionamento dos equipamentos utilizados na sua produção,. Para tanto, o trabalho apresenta algumas definições sobre o biodiesel, suas principais matérias primas, bem como os processos de produção e suas especificações de qualidade, conforme tabelas da Agencia Nacional de Petroleo, Gás Natural e Biocombustíveis. A partir desta abordagem foi definido um conjunto de peças e equipamentos necessários para construção desta planta didática. Da mesma forma foi feita a seleção de quais insumos seriam utilizados para a produção de biodiesel neste equipamento. Assim que os materiais, equipamentos e o processo de operação foram definidos, foi realizada a construção da planta piloto e produzidas bateladas de biodiesel para certificação do funcionamento do equipamento e do processo selecionado. Mediante a separação de fases pode-se perceber que os equipamentos e parâmetros utilizados são funcionais. No entanto, a falta de instrumentos para medir a qualidade do biodiesel abre brecha para futuras alterações destes parâmetros.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Produção de biocombustível. Planta didática.

## ABSTRACT

# CONSTRUCTION OF A DIDACTIC PLANT FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL

AUTHOR: Vítor Günther Dumke Trindade

ADVISOR: Juan Galvarino Cerda Balcazar

CO-ADVISOR: Débora Faoro

This work aims to provide knowledge about the processes and inputs used to obtain biodiesel, as well as to point out the operating characteristics of the equipment used in its production, with the objective of building a low-cost didactic plant. For that, the work presents some definitions about biodiesel, its main raw materials, as well as the production processes and its quality specifications, according to tables of the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels. From this approach, a set of parts and equipment necessary for the construction of this didactic plant was defined. In the same way, the selection of which inputs would be used for the production of biodiesel in this equipment was made. Once the materials, equipment and the operating process were defined, the pilot plant was built and batches of biodiesel were produced to certify the operation of the equipment and the selected process. Through the phase separation, it can be seen that the equipment and parameters used are functional. However, the lack of instruments to measure the quality of biodiesel opens a gap for future changes in these parameters.

**Key words:** Biodiesel. Biofuel production. Didactic plant.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reação de transesterificação de um triglicerídeo .....	14
Figura 2 - Fluxograma simplificado do processo de transesterificação alcalina.....	16
Figura 3 - Principais itens da planta didática produtora de biodiesel. ....	18
Figura 4: Desenho 3D da estrutura da planta.....	24
Figura 5: Desenho 3D dos suportes dos tanques.....	24
Figura 6: Desenho 3D com vista em corte do tanque álcool e catalisador.....	25
Figura 7: Desenho 3D com vista em corte do tanque da reação de transesterificação.....	26
Figura 8: Desenho 3D dos componentes da tubulação dos tanques.....	28
Figura 9: Diagrama da ligação elétrica dos componentes da planta.....	29
Figura 10: Representação 3D da disposição do painel de comandos da planta.....	30
Figura 11: Planta original física e representação 3D.....	31
Figura 12: Desenho esquemático da micro usina didática de biodiesel.....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Percentual de biodiesel e diesel fóssil na mistura comercializada no Brasil .....	13
Quadro 2: Aspectos da produção de biodiesel com metanol e etanol. ....	20
Quadro 3: Vantagens e desvantagens do metanol e etanol na produção de biodiesel no Brasil. ....	20
Quadro 4 - Especificação do Biodiesel.....	22
Quadro 5: Custo dos tanques reatores e seus componentes.....	27
Quadro 6: Custo das tubulações dos reatores.....	28
Quadro 7: Custo dos componentes do painel de comando.....	30
Quadro 8: Comparativo entre os principais quesitos das plantas de biodiesel.....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1 OBJETIVO GERAL .....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
1.3 JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
2.1 DEFINIÇÕES SOBRE O BIODIESEL.....	12
2.2 BIODIESEL NO BRASIL.....	12
2.3 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....	13
2.3.1 Transesterificação .....	14
2.3.2 Esterificação .....	15
2.3.3 Craqueamento .....	15
2.3.4 Processo de produção do biodiesel .....	15
2.3.5 Layout dos componentes da planta.....	17
2.4 MATÉRIA-PRIMA .....	18
2.4.1 Triglicerídeos .....	19
2.4.2 Álcool .....	19
2.4.3 Catalisadores.....	21
2.5 QUALIDADE DO BIODIESEL .....	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	23
3.1 INSUMOS DEFINIDOS PARA O PROCESSO .....	23
3.2 CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE PRODUÇÃO .....	23
3.2.1 Estrutura da planta.....	23
3.2.2 Tanque álcool e catalisador.....	25
3.2.3 Tanque da reação de transesterificação.....	26
3.2.4 Tubulação dos tanques.....	27
3.2.5 Painel de comandos.....	29

3.3 ETAPAS DE OPERAÇÃO DA PLANTA.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>6 REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a questão ambiental passou a ser uma das principais preocupações da sociedade pela notável quantidade de iniciativas políticas e privadas direcionadas a meios de preservação dos recursos naturais. Dentre estes mecanismo de preservação, os biocombustíveis ocupam grande parte dos esforços e investimentos dos interessados na preservação do planeta (BIODIESELBR, 2012).

Podem ser listadas diversas vantagens para o uso dos biocombustíveis e, no caso biodiesel, objeto deste estudo, estas vantagens podem ser encontradas na redução de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), uma vez que a matéria prima absorve CO<sub>2</sub> para se desenvolver, no fato de o biodiesel ser tão eficiente quanto o diesel de origem fóssil, ter biodegradabilidade e ser proveniente de uma fonte renovável (QUINTELLA et al., 2009).

Uma alternativa viável na produção do biodiesel é a utilização de óleos residuais <sup>1</sup> como o principal insumo, promovendo a reutilização de um material que pode ser problemático quando descartado de forma incorreta, contaminando águas de lagos, rios, lençóis freáticos e dificultando o processo das estações de tratamento de água (DA COSTA, 2011).

Neste estudo buscou-se encontrar, por meio de uma avaliação sistemática, as restrições e as oportunidade para a produção do biodiesel, através de análises dos insumos e tecnologias utilizadas. Com o objetivo de construir uma planta didática para a produção de biodiesel que sirva de ferramenta complementar ao processo de ensino/aprendizagem de professores, alunos e técnicos da UFSM Campus Cachoeira do Sul. Em vista disto, foi desenvolvido um equipamento que utiliza como insumo principal o óleo de soja residual, que foi planejado e construído com materiais de baixo custo, baixa complexidade de operação e da forma mais didática possível. Adicionalmente, a planta foi elaborada para que possa operar com os insumos de menor custo e fáceis de serem encontrados na realidade atual da cidade de Cachoeira do Sul.

---

<sup>1</sup> Óleos que perderam a capacidade de serem utilizados em sua aplicação de origem, ou seja, que seriam descartados.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é construir uma planta didática para a produção de biodiesel que seja funcional e possa ser utilizada na UFSM Campus Cachoeira do Sul como ferramenta complementar de ensino.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste estudo foram:

1. Conhecer os variados processos de produção de biodiesel e os diferentes insumos aplicáveis.
2. Selecionar um conjunto de insumos e processos, os quais devem ser aplicados na planta didática.
3. Definir um conjunto de peças e equipamentos que constituirão a planta didática, bem como um roteiro de funcionamento.
4. Construir o equipamento, testar e certificar seu funcionamento.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A elaboração deste trabalho justifica-se na ausência de um equipamento que proporcione o conhecimento para os alunos, professores e técnicos da UFSM – Campus Cachoeira do Sul sobre a fonte de energia renovável biodiesel. O conhecimento que este tipo de equipamento didático pode fornecer não se limita apenas ao curso de Engenharia Mecânica e pode ser utilizado em diferentes aplicações para os diversos cursos do Campus ou até mesmo para aplicações e demonstrações na comunidade local.

Com a implementação de uma planta didática para produção de biodiesel é possível conhecer em uma escala reduzida como funciona o processo de produção, as reações químicas, etapas de mistura e separação dos insumos e produtos, além de que o biodiesel produzido na mesma poderá ser aplicado em estudos principalmente na área de motores.

Outra motivação para realização deste trabalho encontra-se na oportunidade de construir uma planta didática produtora de biodiesel funcional com um custo muito inferior ao encontrado atualmente no mercado, de maneira que se torne viável a construção de equipamentos deste tipo em uma gama maior de instituições de ensino.

Este tipo de equipamento pode produzir um biocombustível com matéria prima renovável e com ciclos de carbono fechados, onde o carbono é liberado na combustão dos motores e a matéria prima absorve este carbono para se desenvolver. Esta matéria prima ainda pode ser de origem residual (proveniente de descarte), sendo assim é utilizada sem interferir na indústria alimentícia, tornando o equipamento ainda mais interessantes dos pontos de vista econômico e sustentável (BIODIESELBR, 2005).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 DEFINIÇÕES SOBRE O BIODIESEL**

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016), o biodiesel é um combustível renovável obtido na maior parte dos casos através de um processo químico denominado transesterificação. Neste processo, o glicerol, presente nos triglicerídeos provenientes de óleos ou gordura animal, é substituído por um álcool primário, geralmente metanol ou etanol, gerando o biodiesel (ANP, 2016).

Segundo a ANP (2016), para que o éster, biocombustível denominado de biodiesel, possa ser utilizado, o mesmo ainda precisa passar por processos de purificação para apresentar às especificações de qualidade e que tornem possível sua utilização em motores de ciclo diesel.

### **2.2 BIODIESEL NO BRASIL**

No Brasil, os estudos para a criação de uma política para o biodiesel tiveram início em 2003, com a criação de uma Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel pelo governo federal, que em 2004 lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, com o objetivo de implementar de forma sustentável, técnica e econômica, a produção e uso do biodiesel no Brasil (ANP, 2016).

Hoje, a maior utilização do biodiesel não se dá na sua forma pura, e sim misturado ao diesel fóssil. Esse processo de mistura começou de forma experimental e voluntária em 2004 e utilizava um teor de 2% de biodiesel na mistura comercializada. Até que em 2008, com a implantação do artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, este teor de 2% passou a ser obrigatório no diesel comercializado (ANP, 2016). Com o passar do tempo esse teor de biodiesel foi sendo sucessivamente ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética até o atual que é de 11% de biodiesel na mistura.

Quadro 1: Percentual de biodiesel e diesel fóssil na mistura comercializada no Brasil.

Mês/Ano	Percentual de biodiesel	Percentual de diesel fóssil
2004	Até 2	Entre 98 e 100%
Jan/2008	2%	98%
Jan/2008	3%	97%
Jul/2009	4%	96%
Jan/2010	5%	95%
Ago/2014	6%	94%
Nov/2014	7%	93%
Mar/2018	10%	90%

Fonte: Adaptado de (ANP, 2016)

Já que o biodiesel pode ser utilizado puro ou misturado com o diesel fóssil em determinadas proporções, então a nomenclatura desse tipo de diesel ocorre de acordo com o percentual de biodiesel no diesel fóssil e vai do diesel B2 com 2% de biodiesel até o B100 que é 100% de biodiesel, sem nenhum percentual de diesel fóssil (BIODIESELBR, 2006).

Segundo Corrêa (2021), o aumento do custo de produção da principal matéria prima do biodiesel no Brasil fez com que o percentual deste no diesel comercializado não tenha crescido com a mesma constância após 2018. Depois de algumas oscilações neste percentual, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis aprovou no dia 07 de agosto de 2021 o aumento da mistura do biodiesel de 10% para 11% no óleo diesel comercializado, válido a partir de 1º de setembro de 2021, conforme a resolução ANP nº798 de 1º de agosto de 2021 (CORRÊA, 2021).

### 2.3 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Segundo os estudos de Geis *et al.* (2007), as tecnologias empregadas na produção de biodiesel, na grande maioria dos casos utiliza como insumo o óleo vegetal e predominantemente acontecem por meio da alcoólise do óleo em meio alcalino, em condição anidra, ou por esterificação em meio ácido e são conhecidos por processos químicos.

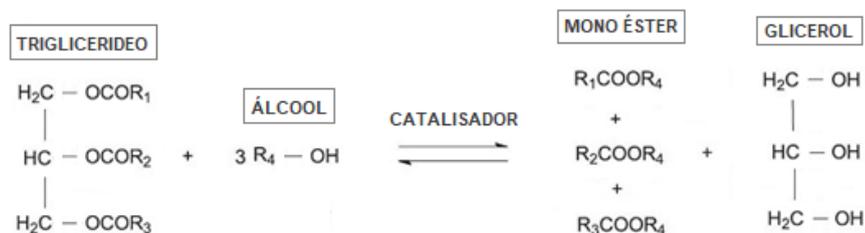
Pode ocorrer também por quebra das moléculas do óleo vegetal em alta temperatura e neste caso o processo é denominado de processo térmico. As tecnologias mais conhecidas na produção de biodiesel são a transesterificação, a esterificação e o craqueamento (GERIS et al., 2007).

### 2.3.1 Transesterificação

O processo de transesterificação, segundo Nascimento (2006) é o mais usual na produção de biodiesel, ele ocorre através da reação de um triglicerídeo com um álcool de cadeia simples (metanol ou etanol), formando ésteres (biodiesel) e glicerol. Neste processo o álcool é colocado em excesso para permitir a formação e a separação da fase do glicerol. Na transesterificação a catálise pode ser feita de forma ácida, básica, enzimática ou utilizando fluidos supercríticos, sendo a catálise básica a mais utilizada na indústria (RAMOS, 2011).

Na Figura 1 pode ser observada a representação da reação de 1 mol de triglicerídeo combinado com 3 moles de álcool, que geram 3 moles de monoésteres (biodiesel) e 1 mol de glicerol (GERIS et al., 2007).

Figura 1 - Reação de transesterificação de um triglicerídeo.



Fonte: Adaptado de Geris et al. (2007)

Além disso, é importante que na transesterificação alcalina o triglicerídeo tenha baixa acidez livre e durante toda a fase da reação não haja umidade. Caso contrário, acontecerá a formação de sabões emulsificantes os quais não são desejados (KHALIL, 2006).

### 2.3.2 Esterificação

Segundo Suarez *et al.* (2007) a esterificação é um dos processos utilizados para a obtenção do biodiesel que consiste na reação entre os ácidos carboxílicos, encontrados nos óleos vegetais, com metanol ou etanol, resultando na formação de ésteres metílicos ou etílicos e água. Esta reação geralmente é catalisada por ácidos, sendo o mais utilizado o ácido sulfúrico. No entanto, a utilização deste tipo de catalisador pode gerar efluentes prejudiciais ao meio ambiente, corrosão e dificuldade de reciclagem deste catalisador (REIS *et al.*, 2015).

Uma alternativa é a utilização de catalisadores sólidos ácidos que tem vantagens como a fácil separação do meio, não apresentam problemas de corrosão, possibilitam a redução das etapas de purificação, podem ser reutilizados e permitem a produção do biocombustível por processo contínuo (REIS *et al.*, 2015).

### 2.3.3 Craqueamento

Para Tapanes *et al.* (2013), o processo de craqueamento se dá através da quebra das moléculas do óleo, formando uma mistura de compostos químicos com propriedades similares às do diesel, gases e gasolina derivados do petróleo. Esta reação é realizada geralmente acima de 350°C, na presença ou não de catalisador. Portanto, o craqueamento pode ser denominado térmico ou catalítico (TAPANES *et al.*, 2013).

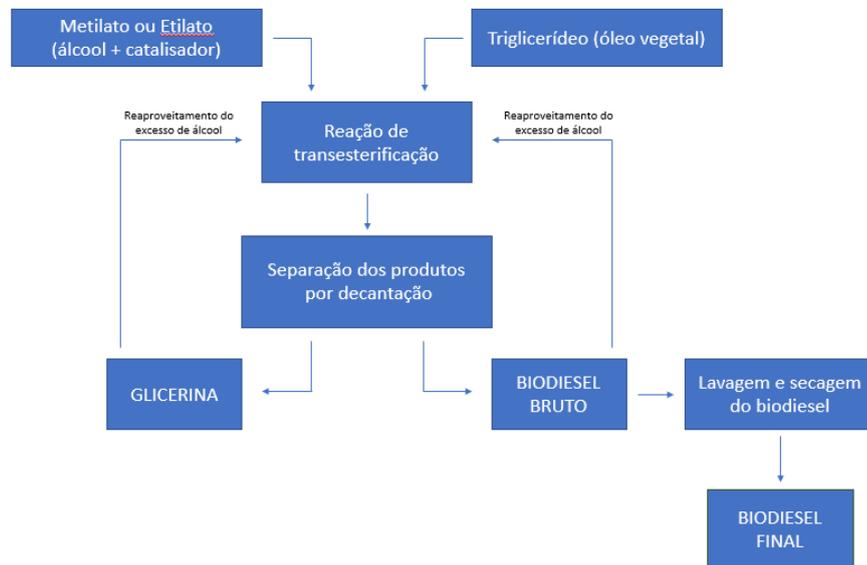
Durante o craqueamento acontece a remoção de oxigênio, o que elimina parte dos benefícios ambientais associados à utilização de compostos oxigenados e, embora o produto final possua propriedades muito semelhantes às do diesel de petróleo, o processo de craqueamento ainda possui custo elevado e gera moléculas oxigenadas de elevada acidez, exigindo novas reações para correção (TAPANES *et al.*, 2013).

### 2.3.4 Processo de produção do biodiesel

Em seus trabalhos, Nascimento (2006) apresenta que o processo mais utilizado na produção de biodiesel tem como fonte de triglicerídeo o óleo vegetal e utiliza a rota tecnológica de transesterificação alcalina, por motivos de viabilidade econômica. Esta rota, de acordo com o apresentado no tópico 2.3.1, se trata da reação de um triglicerídeo com um álcool na presença de um catalisador (NASCIMENTO, 2006). Como resultado desta reação,

temos como produto e coproduto o biodiesel e o glicerol, respectivamente. O fluxograma da Figura 2 mostra de maneira simplificada este processo de produção do biodiesel.

Figura 2 - Fluxograma simplificado do processo de transesterificação alcalina.



Fonte: Adaptado de PARENTE (2003).

Neste processo de produção do biodiesel é utilizando a transesterificação alcalina que inicia com, primeiro passo, a preparação do óleo o qual deve, se necessário, ser submetido a um processo de neutralização, utilizando lavagem com solução alcalina de hidróxido de potássio ou sódio; segundo passo, operação de secagem e desumidificação, isso com a finalidade de reduzir o máximo de umidade e acidez deste óleo (DORADO, 2004).

O terceiro passo é a preparação uma mistura do álcool e catalisador (neste caso uma solução alcalina), que deve ser feita em um tanque separado do qual se encontra o óleo. Para esta etapa, utiliza-se metanol ou etanol misturado ao hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH). As misturas são denominadas de metilato (base de metanol) ou etilato (base de etanol) (DORADO, 2004).

Quarto passo, após preparada a mistura de álcool e catalisador e alcançados os devidos parâmetros para o óleo, começa a etapa de reação de transesterificação, que consiste em aquecer o óleo até a temperatura ideal de reação em um tanque reator e adicionar a mistura álcool e catalisador neste tanque. É importante ressaltar que este processo deve ser realizado com um excesso de álcool para que o equilíbrio reacional se desloque no sentido dos produtos desejados (DELATORRE et al, 2011).

O tempo de reação pode variar de acordo com a qualidade dos insumos utilizados e o processo de separação acontece geralmente por decantação das fases presentes ao final da reação, mas pode ser realizada também por um processo mecânico como a centrifugação. A decantação gera uma diferença de cores entre os produtos que pode ser identificada visualmente (DELATORRE et al, 2011).

A fase mais densa presente da reação é composta, principalmente, por glicerol, já a fase menos densa é constituída por uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel bruto<sup>2</sup>) (PARENTE, 2003). Esta separação é uma etapa importante da produção de biodiesel, pois a necessidade de um melhor refino dada por descuidos nesta etapa pode elevar os custos de produção (DORADO, 2004).

Todo excesso de álcool utilizado para a reação deve ser removido dos produtos, porém grande parte deste álcool pode ser reutilizado. Essa etapa é denominada de reaproveitamento do álcool e é geralmente realizada por meio da evaporação feita nos produtos já separados. Neste processo, não evapora-se apenas o álcool, mas também a água e estes vapores podem ser novamente liquefeitos em um condensador (COSTA e OLIVEIRA, 2006).

Segundo os estudos de Geris et al. (2007), para que o álcool possa ser reutilizado é necessário que o mesmo seja desidratado, que se trará de um processo que ocorre geralmente por destilação. Se a reação de transesterificação for incompleta ou a purificação for insuficiente, o biodiesel produzido pode ficar contaminado com glicerol, triglicerídeos e álcool. A presença destes agentes indesejados pode prejudicar a qualidade do biodiesel, baixando o rendimento ou até danificando os motores de combustão interna (GERIS et al., 2007).

Por este motivo, o biodiesel deve ser lavado por centrifugação ou decantação e, posteriormente, secado, resultando finalmente no biodiesel purificado, o qual deverá atingir uma qualidade especificada de acordo com as normas técnicas estabelecidas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (GERIS et al., 2007).

### 2.3.5 *Layout* dos componentes da planta.

De acordo com Schneider (2019), um equipamento didático produtor de biodiesel deve possuir no mínimo dois tanques reatores que permitam reações individuais, mas que tenham

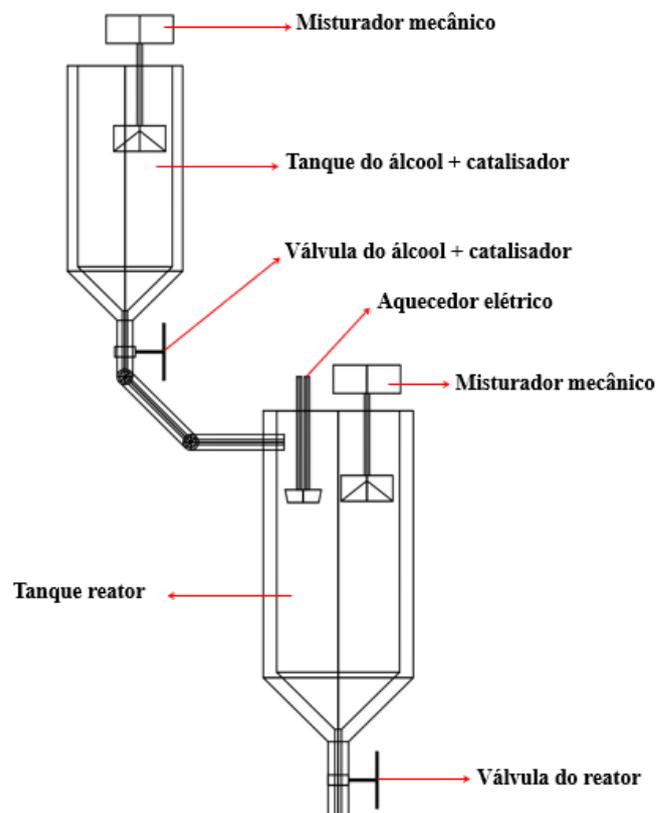
---

<sup>2</sup> Biodiesel que não passou por processos de limpeza e purificação.

um ligação entre si. Isso para que a mistura do álcool com catalisador já homogeneizada possa ser transportada para o tanque com o óleo, onde ocorrerá a reação de transesterificação.

Além disso, o equipamento deve possuir um sistema de aquecimento controlado, dispositivos misturadores e um formato que permita a decantação. Portanto, para um equipamento didático produtor de biodiesel, a concepção com melhor custo benefício considerando segurança do equipamento, custo de implementação, custo de manutenção, didaticidade, funcionalidade, taxa de conversão do biocombustível, dimensões e massa total é a respresentada na Figura 3 (SCHNEIDER, 2019).

Figura 3: Concepção de um equipamento didático produtor de biodiesel.



Fonte: Adaptado de SCHNEIDER (2019).

## 2.4 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima a ser escolhida é determinante na produção de biodiesel, tendo em vista que ela impacta diretamente no processo, custo, viabilidade técnica e econômica. Além

do mais, ela é um elemento crucial para garantir a qualidade do biodiesel produzido. Para a produção de biodiesel por transesterificação alcalina, essa matéria-prima pode ser dividida nos seguintes componentes: triglicerídeo, álcool e catalisador (KHALIL, 2006).

#### 2.4.1 Triglicerídeos

As fontes de triglicerídeos utilizadas na produção de biodiesel são os óleos vegetais e as gorduras animais, dentre os de origem vegetal, temos os óleos tradicionais de soja, algodão e girassol, além de alguns mais exóticos, como os óleos de andiroba, pinhão e macaúba. No caso das fontes de origem animal, existem as provenientes de bovinos, suínos, aves e peixes (KHALIL, 2006).

Um dos principais parâmetros é o nível de pureza da matéria-prima, sendo fundamental para o seu desempenho na produção do biodiesel. Neste sentido, quanto mais puro for o insumo, menor serão as interferências indesejadas nas etapas de reação e de separação dos subprodutos (PARENTE, 2003).

Das oleaginosas de interesse para a produção do biodiesel, o Sul do Brasil tende principalmente para as culturas da soja e do amendoim. Destas culturas, o amendoim se apresenta mais apropriado para a produção energética, pois apresenta um teor de óleo superior a 45%, enquanto a soja situa-se em 18% (PARENTE, 2003).

No entanto, o preço do óleo de soja tem apresentado quedas permanentes no mercado, isso traz a competitividade para o uso desta oleaginosa, além do mais, a mesma pode ser encontrada de forma abundante como resíduo em alguns setores do comércio, tendo assim custo praticamente zero neste formato (PARENTE, 2003).

#### 2.4.2 Álcool

Dentre os álcoois empregados como agente de transesterificação dos óleos e gorduras, tem-se principalmente o metanol e o etanol, a escolha de um ou de outro define alguns aspectos do processo de produção levando a definir as rotas tecnológicas conhecidas como metílica e etílica, respectivamente para o uso de metanol e etanol (KHALIL, 2006).

O Quadro 2 traz alguns aspectos particulares de cada uma destas rotas, o que ajuda a entender por que a metílica geralmente é a mais utilizada.

Quadro 2: Aspectos da produção de biodiesel com metanol e etanol.

ASPECTO	ROTA DE PROCESSO VIA METANOL	ROTA DE PROCESSO VIA ETANOL
Quantidade consumida de álcool por 1.000 litros de biodiesel	90 kg	130 kg
Excesso recomendado de álcool	100%	650%
Temperatura recomendada de reação	60 °C	85 °C
Tempo de reação	45 minutos	90 minutos

Fonte: Adaptado de Parente (2003).

O Quadro 3 apresenta as principais vantagens e desvantagens da utilização de cada álcool.

Quadro 3: Vantagens e desvantagens do metanol e etanol na produção de biodiesel no Brasil.

ÁLCOOL	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>METANOL</b>	Menor Consumo Maior reatividade  Não absorve a umidade do ar	Risco à saúde Produto importado  Não biodegradável
<b>ETANOL</b>	Maior Rendimento Maior oferta Biodegradável	Maior consumo Absorve a umidade do ar Menor reatividade

Fonte: Adaptado de KHALIL, (2006).

Outro fator que possui relevância na escolha do álcool é a relação consumo de álcool em função do rendimento em biodiesel. Isto porque o consumo de metanol é menor, cerca de 105 g álcool a cada 1 kg de óleo transesterificado, produzindo 1,09 L de biodiesel, enquanto que o rendimento do etanol é maior, em torno de 150 g de álcool por 1 kg de óleo produzindo 1,17 L de biodiesel (KHALIL, 2006). No entanto, as questões de oferta, custo, logística e segurança operacional são geralmente consideradas mais relevantes.

### 2.4.3 Catalisadores

Os catalisadores são conceitualmente classificados como substâncias promotoras da reação química específica. Dentre estas substâncias, as mais empregadas nos processos de produção do biodiesel são compostos de caráter alcalino, tais como os hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH). As concentrações usuais destes compostos, previamente dissolvidos no álcool, variam entre 0,5 e 1,0% em relação à carga de óleo (KHALIL, 2006).

Segundo os trabalhos de Parente (2003), o hidróxido de sódio é o mais usado tanto por razões econômicas como pela sua disponibilidade no mercado. No processo de transesterificação, a acidez do triglicerídeo determinará se há necessidade de aumentar a concentração dos catalizadores. Dependendo do nível desta acidez, tem-se a opção de esterificação do óleo em meio ácido (PARENTE, 2003). Além destes, existem também catalizadores sólidos, os quais são empregados em alguns processos contínuos de transesterificação.

Outro grupo de catalizadores são os enzimáticos de ação específica, como por exemplo as lípases, os quais são eficientes, porém, ainda se encontram em fase de desenvolvimento (KHALIL, 2006).

## 2.5 QUALIDADE DO BIODIESEL

As propriedades do biodiesel podem variar de acordo com os insumos e com os métodos utilizados na sua concepção. Por esse motivo, foi necessário a criação de uma regulamentação para os parâmetros de conformidade para atestar a qualidade do biodiesel. Em atendimento a este item, no Brasil, a ANP criou a RESOLUÇÃO nº 4 de 2/2/2010 – DOU 3.2.2010 – Retificada no DOU 22/2/2010 que regulariza o biodiesel nacional e importado quanto aos teores de diversos elementos presentes no mesmo e também os métodos que devem ser utilizados para aferir estes teores, isto de acordo com a ABNT NBR 14883 (Petróleo e produtos de petróleo - Amostragem manual), ASTM D 4057 (*Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products*) e a ISO 5555 (*Animal and vegetable fats and oils – Sampling*) (ANP, 2010).

O Quadro 4 apresenta algumas características e os métodos de aferimento para a parametrização da qualidade do biodiesel.

Quadro 4: Especificação do Biodiesel.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITE	MÉTODOS			
			ABNT NBR	ASTM	EN	
1	Número mínimo de cetano.	-	51	-	D613	EN ISO 5165
					D6890	EN 15195
2	Massa específica a 20 °C.	kg/m <sup>3</sup>	761,2 - 806,5	7148	D1298	EN ISO 3675
				14065	D4052	EN ISO 12185
3	Ponto mínimo de fulgor.	°C	38	7974	D56	EN ISO 2719
				14598	D93	
					D3828	
					D7094	
4	Viscosidade Cinemática a 40°C.	mm <sup>2</sup> /s	2,00 - 4,50	10441	D445	EN ISO 3104
					D7042	
5	Destilação:					
5.1	10% vol., recuperados, mínimo.	°C	180	9619	D86	EN ISO 3405
5.2	50% vol., recuperados.		245,0 - 295,0			
5.3	95% vol., recuperados, máximo.		370			
6	Índice máximo de Acidez.	mgKOH/g	0,3	14248	D664	-
					D974	
7	Lubricidade máxima a 60°C.	µm	460	-	D6079	EN ISO 12156-1
8	Total de aromáticos, máximo.	% (m/m)	1,1	-	D5186	EN 12916
					D6591	SIS 155116
9	Teor máximo de enxofre.	mg/kg	10	-	D2622	EN ISO 20846
					D5453	EN ISO 20884
					D7039	
					D7220	
10	Teor máximo de cinzas.	% (m/m)	0,01	9842	D482	EN ISO 6245
11	Teor máximo de água.	mg/kg	200	-	D6304	EN ISO 12937
12	Contaminação máximo total.	mg/kg	24	-	-	EN 12662
13	Corrosividade ao cobre (3 h a 50 °C).	-	1	14359	D130	EN ISO 2160
14	Estabilidade à oxidação, máxima.	g/m <sup>3</sup>	25	-	D2274	EN ISO 12205
					D5304	
15	Teor de farnesano, mínima.	% (m/m)	96	-	D7974 e métodos de cromatografia gasosa	-
16	Ponto máximo de entupimento de filtro a frio.	°C	-6	14747	D6371	-

Fonte: Adaptado de ANP (2021).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 INSUMOS DEFINIDOS PARA O PROCESSO

Para esta planta didática produtora de biodiesel, foi selecionado um conjunto de insumos de baixo custo e abundante disponibilidade. Além disso, foram estipuladas etapas de produção que permitem a utilização destes insumos.

Como fonte de triglicerídeos, utilizou-se o óleo de soja proveniente do descarte de lancherias e restaurantes, devido ao conhecimento existente sobre produzir biodiesel com este insumo, ao seu custo e disponibilidade.

Para reagir com o óleo de soja, foi optado pelo álcool metílico, pois além de ter algumas vantagens apresentadas no Quadro 3, atualmente seu custo é mais atrativo quando comparado ao álcool etílico.

Para atuar na catálise desta reação, foi selecionado o hidróxido de sódio (NaOH), devido ao seu custo específico ser o menor dentre os estudados, bem como sua disponibilidade ser a maior.

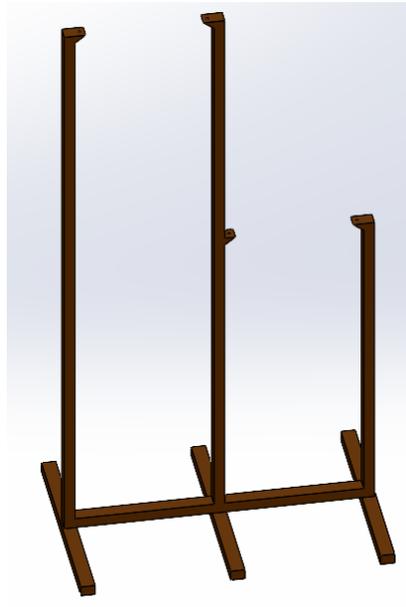
#### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE PRODUÇÃO

##### 3.2.1 Estrutura da planta.

Para a construção da estrutura que sustenta a planta, foram utilizados 7,5 metros de tubo retangular 40mm x 30mm, com parede de 1,2mm, unidos por soldagem com eletrodo revestido. Foi escolhido este tubo, pois além de ser facilmente encontrado em lojas de ferragens, era o de menor custo disponível no mercado e sua resistência mecânica é superior a necessária no projeto.

O custo para a construção da estrutura, considerando tubos, discos de corte, eletrodos e parafusos foi de aproximadamente R\$ 180,00 (cento e oitenta reais) e o seu formato pode ser observado na Figura 4:

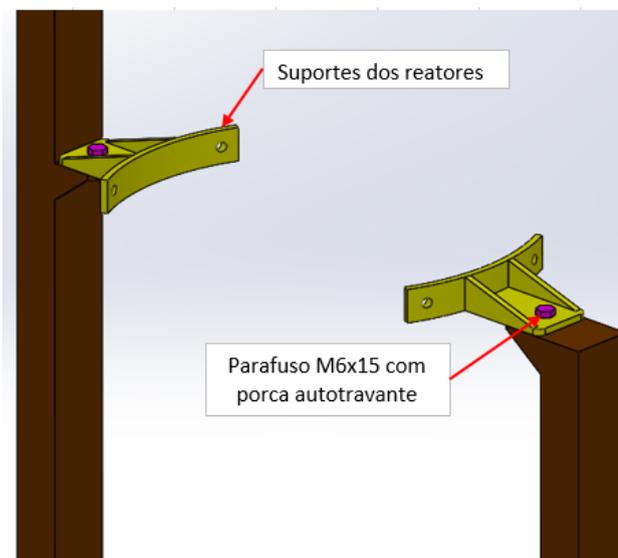
Figura 4: Desenho 3D da estrutura da planta.



Fonte: Autores.

Para suportar os tanques, foram desenvolvidos quatro suportes de chapa 1,2mm, calandrada com aba para fixação na estrutura por meio de parafusos M6x15, conforme desenho 3D da Figura 5:

Figura 5: Desenho 3D dos suportes dos tanques.



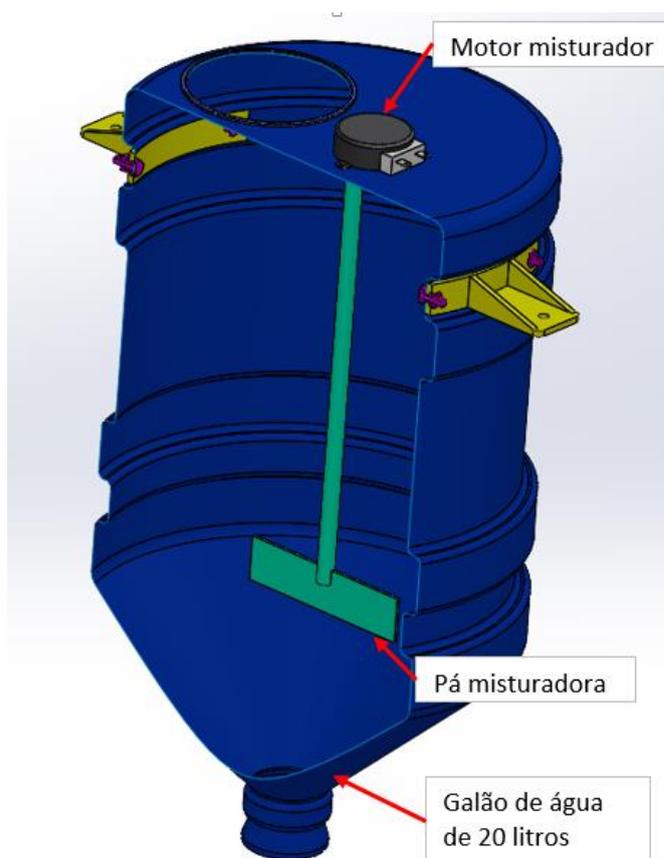
Fonte: Autores.

### 3.2.2 Tanque álcool e catalisador.

O tanque álcool e catalisador foi disposto na parte mais alta da planta para que a mistura após homogeneizada possa ser liberada através de uma válvula para o tanque da reação de transesterificação.

O tanque álcool e catalisador é composto por um galão de água mineral de 20 litros, com aberturas na parte plana para colocação das substâncias e para o encaixe do motor misturador. Além disso, faz parte deste tanque um motor de prato de micro-ondas de 3 W alimentado com corrente alternada de 220 v e com velocidade angular de 5/6 r/min para 50/60 Hz respectivamente), ligado a uma pá misturadora fabricada de chapa 1,2 mm e tubo de 8 mm. A disposição destes componentes é mostrada na Figura 6:

Figura 6: Desenho 3D com vista em corte do tanque álcool e catalisador.



Fonte: Autores.

Ainda na Figura 6 é possível observar que o tanque é preso aos suportes através de quatro parafusos M6x15 com uma arruela de borracha para evitar vazamentos.

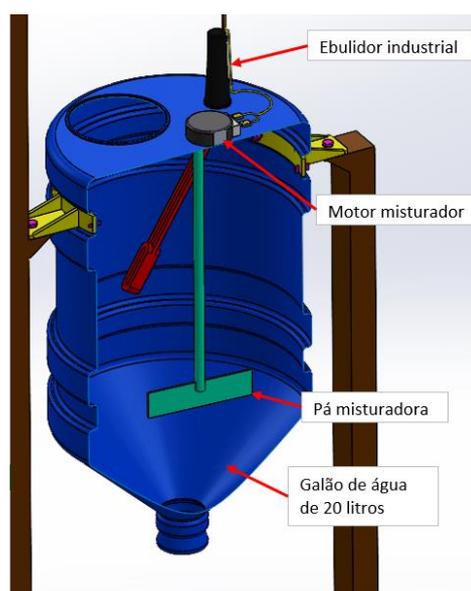
### 3.2.3 Tanque da reação de transesterificação.

O tanque da reação de transesterificação foi disposto um nível abaixo do tanque álcool e catalisador para que possa receber por gravidade o metilato homogeneizado do tanque álcool e catalisador, dispensando assim a necessidade de bombas hidráulicas que aumentariam consideravelmente o custo do equipamento.

Neste tanque também existem aberturas na parte plana para colocação dos insumos e para o encaixe do motor misturador. Além destas, existe outra abertura que permite a colocação de um ebulidor industrial de 1000 W, o qual é responsável por fornecer calor para os insumos.

Da mesma forma que no tanque álcool e catalisador, no tanque de reação da transesterificação também possui um motor de prato de micro-ondas de 3 W (alimentado com corrente alternada de 220 v e com velocidade angular de 5/6 r/min para 50/60 Hz respectivamente) ligado a uma pá misturadora fabricada de chapa 1,2 mm e tubo de 8 mm. A disposição dos componentes citados está apresentada na Figura 7:

Figura 7: Desenho 3D com vista em corte do tanque da reação de transesterificação.



Considerando os itens dos tópicos 3.2.2 e 3.2.3 temos o somatório de custos especificado no Quadro 5:

Quadro 5: Custo dos tanques e seus componentes.

ITEM	CUSTO POR UNIDADE (R\$)	QUANTIDADE UTILIZADA	TOTAL
EBULIDOR INDUSTRIAL 1000 W	R\$ 39,95	1	R\$ 39,95
MOTOR DE PRATO DE MICROONDAS	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
GALÃO DE ÁGUA DE 20 LITROS	R\$ 18,00	2	R\$ 36,00
PÁ MISTURADORA	R\$ -	2	R\$ -
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 95,95</b>

Fonte: Autores.

O ebulidor industrial pode ser adquirido em lojas de ferragens, já os motores de prato de micro-ondas podem ser encontrado por este valor em desmanches de eletrônicos. Os galões de água de 20 litros são vendidos na maioria das distribuidora de água mineral e as pás misturadoras não foram contabilizadas pois foram contruídas de sobra de material.

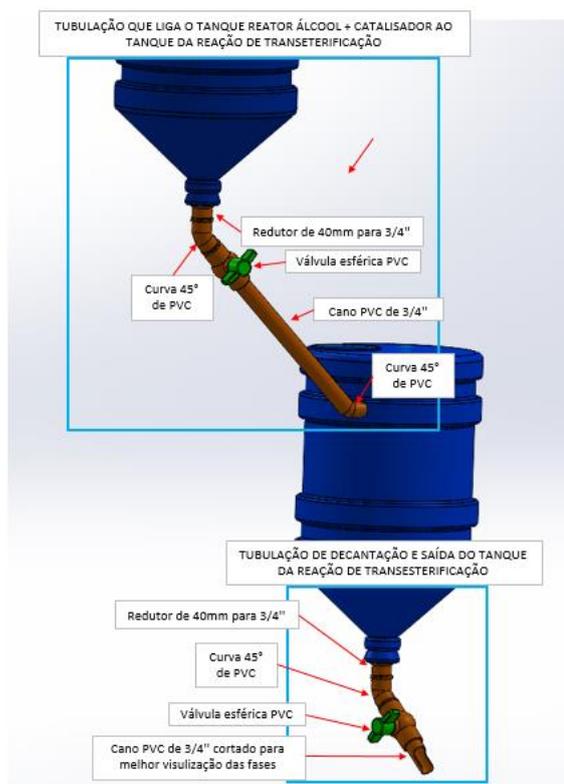
#### 3.2.4 Tubulação dos tanques.

Na tubulação foram utilizados canos e conexões convencionais de PVC (policloreto de vinila) com diâmetro de  $\frac{3}{4}$  de polegada, material que possui alta resistência, baixo custo e capacidade de suportar a temperatura de operação. Foram colados nas partes inferiores dos galões, adaptadores de 40 mm (diâmetro do bocal do galão) para  $\frac{3}{4}$  de polegada, o que permitirá a utilização da medida de  $\frac{3}{4}$  da tubulação.

A planta conta com uma válvula de restrição tanto para o metilato de sódio ser liberado para o tanque de reação da transesterificação, quanto para realizar a separação manual das fases neste tanque. Para isso foram utilizadas duas válvulas esfera de PVC, com acionamento de  $\frac{1}{4}$  de volta e conexão compatível com a tubulação de  $\frac{3}{4}$  de polegada. Esse tipo de válvula é facilmente encontrada e permite aberturas e fechamentos rápidos, possibilitando mais precisão para o processo.

A Figura 8 mostra como estes itens estão dispostos na planta.

Figura 8: Desenho 3D dos componentes da tubulação dos tanques.



Fonte: Autores.

Para a construção da parte de tubulações dos tanques da planta obteve-se um custo que esta especificado de acordo com o Quadro 6:

Quadro 6: Custo das tubulações dos tanques.

ITEM	CUSTO POR UNIDADE	QUANTIDADE UTILIZADA	TOTAL
Redutor de 40mm para 3/4".	R\$ 2,50	2	R\$ 5,00
Curva 45° de PVC de 3/4".	R\$ 1,25	3	R\$ 3,75
Válvula esférica PVC para 3/4".	R\$ 7,00	2	R\$ 14,00
Cano PVC 3/4".	R\$ -	0,4 metros	R\$ -
Cola de conexões PVC.	R\$ 3,00	1	R\$ 3,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 25,75</b>

Fonte: Autores.

Todos itens do Quadro 6 podem ser facilmente encontrados em lojas de ferragens ou de materiais de construção.

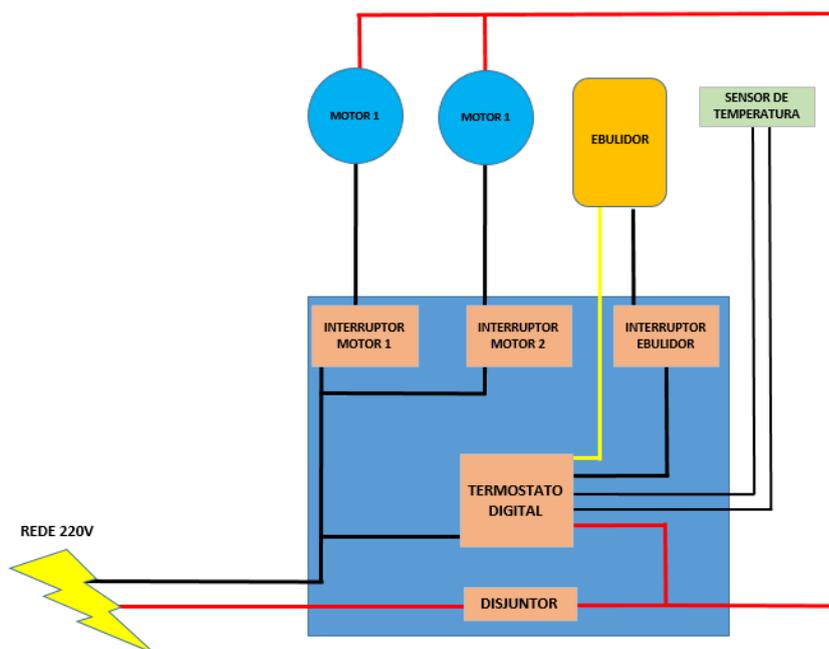
### 3.2.5 Painel de comandos.

Para a montagem do painel de comando, foi necessário um interruptor residencial externo de 10 A para controlar a ativação do ebulidor, dois interruptores convencionais residenciais de uso externo para o acionamento dos motores, um termostato digital com corrente máxima de saída de 10A e com faixa de operação de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$  e um disjuntor de 10A.

Todos os componentes foram ligados de maneira que dependessem do disjuntor, pois caso ocorresse algum curto circuito no sistema o disjuntor fará o desarme de todo o sistema elétrico do equipamento. O painel foi fixado na estrutura com porcas e arruelas M6 colocadas em dois parafusos M6x15 soldados à estrutura.

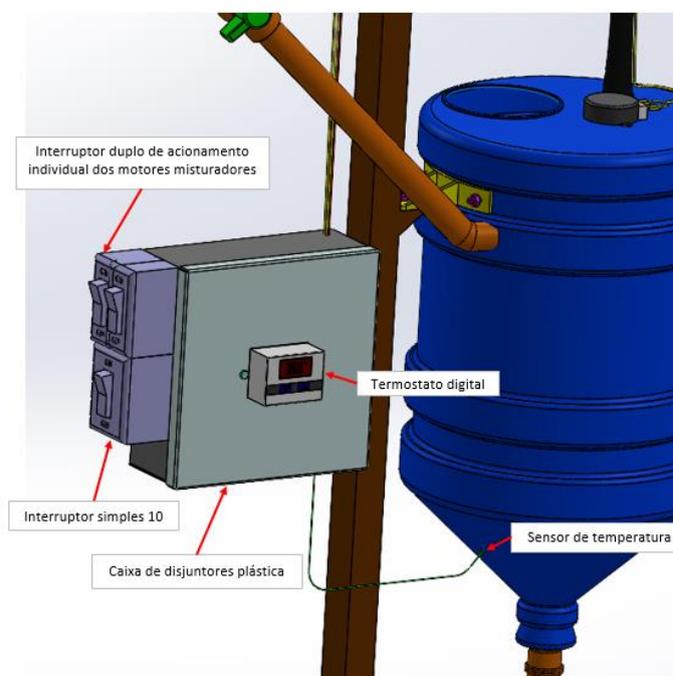
As ligações elétricas da planta estão demonstradas em forma de diagrama na Figura 9, bem como a representação 3D da disposição do painel de comando e seus componentes esta demonstrada na Figura 10:

Figura 9: Diagrama da ligação elétrica dos componentes da planta.



Fonte: Autores.

Figura 10: Representação 3D da disposição do painel de comandos da planta.



Fonte: Autores.

Para a montagem do painel de comando obteve-se o custo apresentado no Quadro 7:

Quadro 7: Custo dos componentes do painel de comando.

ITEM	CUSTO POR UNIDADE	QUANTIDADE UTILIZADA	TOTAL
Quadro de distjuntor.	R\$ 28,00	1	R\$ 28,00
Disjuntor 10A.	R\$ 12,00	1	R\$ 12,00
Interruptor externo 1 tecla, 10 A	R\$ 6,90	1	R\$ 6,90
Caixa externa com 2 interruptores	R\$ 9,00	1	R\$ 9,00
Termostato Digital	R\$ 69,80	1	R\$ 69,80
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 125,70</b>

Fonte: Autores.

Os itens do Quadro 7 são amplamente encontrados em lojas de ferragens e de material elétrico, com exceção do termostato digital que pode ser facilmente adquirido pela internet.

O conjunto de materiais e equipamentos utilizados na construção desta planta didática produtora de biodiesel gerou um custo total de aproximadamente R\$ 430,00 (quatrocentos e trinta reais).

O desenho do formato final deste equipamento e o equipamento podem ser observados na Figura 11:

Figura 11: Planta original física e representação 3D.



Fonte: Autores.

### 3.3 ETAPAS DE OPERAÇÃO DA PLANTA

#### 1. Preparação do óleo:

Nesta etapa, o óleo de soja foi previamente filtrado para que fossem removidos todos resíduos sólidos nele presentes. Após, o óleo foi adicionado ao tanque de reação da transesterificação, onde foi aquecido na temperatura média de 55 °C para que perdesse umidade.

Com 8 litros de óleo de soja o equipamento levou aproximadamente 40 minutos para aquecer a 55°C no ponto onde se encontrava o sensor. Como o ebulidor possui uma área de aquecimento pequena, o sensor foi posicionado mais abaixo no reator, para que a sua leitura trouxesse uma média aproximada da temperatura geral do óleo. Após 10 minutos com a temperatura mantida a 55°C, pode-se observar o término da saída de vapor do tanque, portanto, a umidade do óleo havia sido eliminada. Então, a temperatura do óleo foi reduzida a 50°C.

#### 2. Preparação do metilato:

Para a preparação do metilato foram utilizados 2 litros de metanol 99,8%, o que representa uma razão estequiométrica de 6:1 (considerando os 8 litros de óleo de soja), ou seja, com duas vezes mais álcool que o mínimo necessário. Para o catalisador foi utilizado aproximadamente 56 g de hidróxido de potássio, o que representa 0,7% da massa do óleo.

A preparação do metilato foi realizada no tanque álcool e catalisador apenas 5 minutos antes de ser liberada para o tanque da reação de transesterificação, isso para evitar ao máximo a evaporação do álcool.

#### 3. Reação e separação por decantação:

Nesta parte do processo o metilato foi liberado para o tanque de reação da transesterificação o qual estava com o óleo a 50°C e com agitação constante. O controle de temperatura e a agitação foram desligados após 30 minutos para dar início a decantação.

Os produtos da reação permaneceram decantando por aproximadamente 24 horas. Após esse período o glicerol, por ser mais denso, pode ser retirado através da válvula no fundo do reator.

#### 4. Lavagem do biodiesel:

Após a retirada do glicerol, foram adicionados 2,5 litros de água ao tanque de reação da transesterificação (aproximadamente 30% do volume de óleo de soja), onde o misturador mecânico foi ativado por mais 30 minutos. Aguardou-se 8 horas para a decantação e então a água com resíduos de glicerol foi removida através da válvula no fundo do reator.

Esta etapa de lavagem do biodiesel foi repetida duas vezes para uma limpeza mais eficaz do produto.

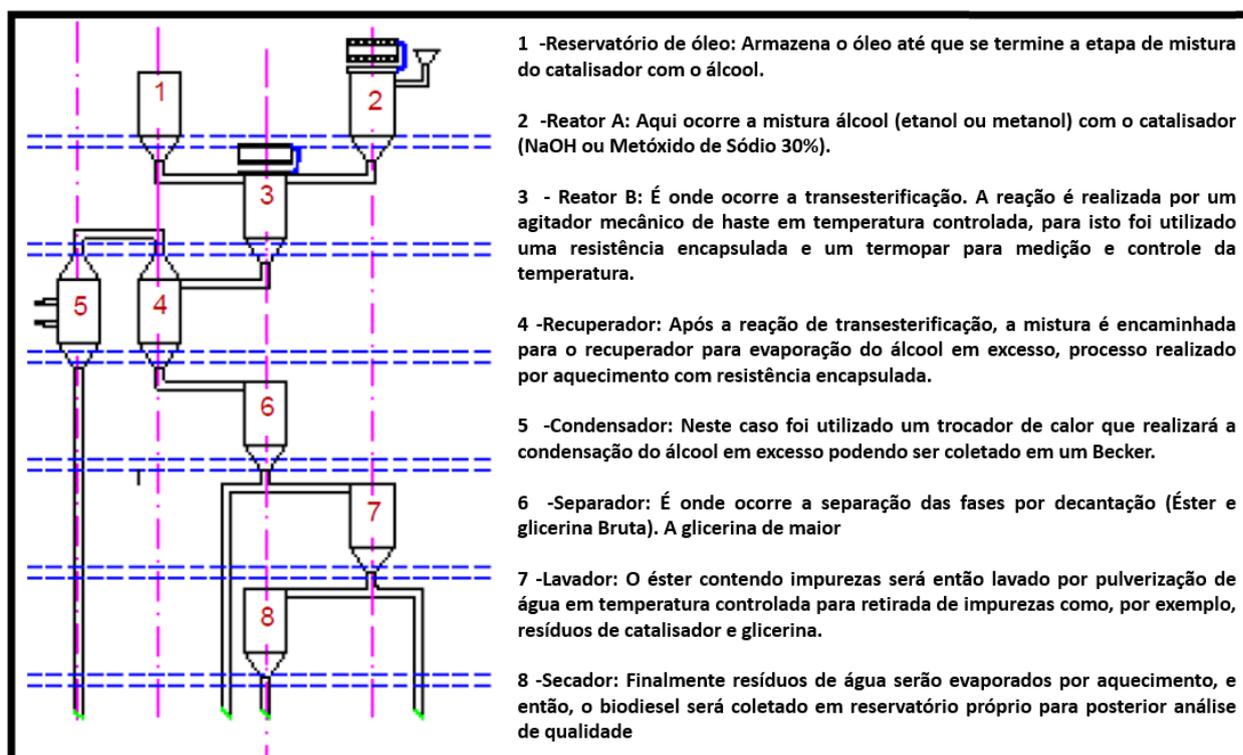
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A planta foi construída para operar com o processo de transesterificação alcalina, utilizando óleo de soja (como fonte de triglicerídeos), álcool metílico e hidróxido de sódio. Para este tipo de operação e com estes insumos, a mesma mostrou resultados satisfatórios em relação a separação das fases. No entanto, a qualidade dos monoésteres gerados neste processo só poderá ser medida através dos métodos citados no Quadro 4.

Como estas medições de qualidade do biocombustível não puderam ser realizadas neste trabalho, então os parâmetros de temperatura, tempo de reação e tempo de decantação ainda podem ser amplamente explorados em trabalhos futuros. A aplicação de outros insumos também é uma variável a ser explorada, mas deve-se observar os limites de temperatura dos materiais da planta, pois este é o parâmetro mais propenso a causar a falha do equipamento.

Para efeito de comparação pode se utilizar o trabalho de Brasil *et al* (2011), no qual foi fabricada uma planta piloto didática com um reator de capacidade para 1 litro de biodiesel por batelada, possibilitando a utilização em laboratórios de produção e análise de biocombustíveis. A disposição e a descrição dos componentes desta planta pode ser observado na figura 12:

Figura 12: Desenho esquemático da micro usina didática de biodiesel.



Fonte: Adaptado de BRASIL, *et al.*, (2011).

A planta foi construída utilizando materiais e dispositivos de alta disponibilidade no mercado, os quais cumpriram com êxito a função proposta, portanto, não é necessária nenhuma alteração quanto às características e disposições destes materiais. Assim como na planta proposta neste trabalho, a planta de Brasil *et al* (2011) também utiliza a movimentação entre os tanques por gravidade. Outro fator em comum são os insumos utilizados para a produção do biodiesel, porém a quantidade de etapas diverge assim como o volume dos tanques e o material dos equipamentos.

No quadro 8 podem ser observados os pontos de vantagens e desvantagens entre os dois equipamentos, o que ajuda a elucidar para qual aplicação cada um é mais viável.

Quadro 8: Comparativo entre os principais quesitos das plantas de biodiesel.

<b>Quesito</b>	<b>Planta proposta por Brasil <i>et al</i> (2011)</b>	<b>Planta proposta no trabalho</b>
Materiais estrutura	Aço carbono	Aço carbono
Materiais tanques/tubulações	Aço inox	Polímeros
Sistema de aquecimento do óleo	Resistência encapsulada	Ebulidor industrial
Sistema de controle de temperatura	Termopar	Termostato digital
Sistema de agitação	Agitador mecânico	Agitador mecânico
Sistema de transporte entre os tanques	Gravitacional	Gravitacional
Quantidade de tanques	8	2
Insumos trabalháveis	Óleos vegetais, álcool metílico ou etílico e catalisador básico	Óleos vegetais, álcool metílico ou etílico e catalisador básico
Qualidade dos produtos	Não descrito	Não descrito
Reaproveitamento de álcool	Possuí	Não possui
<b>Custo total (R\$)</b>	<b>3500,00</b>	<b>430,00</b>

Fonte: Adaptado de BRASIL, *et al.*, (2011).

Pode-se perceber que a planta construída por Brasil *et al* (2011) possui materiais de maior qualidade/durabilidade, além de ter outras etapas que aumentam a eficiência do processo. No entanto, seu custo é aproximadamente 8 vezes maior, isto sem contabilizar a inflação dos últimos 10 anos, o que aumentaria consideravelmente essa diferença.

Percebeu-se que alguns itens poderiam agregar à eficiência da planta, por exemplo, motores misturadores mais velozes, pois aumentariam a velocidade de mistura dos insumos. Outro item de grande relevância seria uma torre de destilação para o reaproveitamento do

excesso de álcool da reação, uma vez que o álcool metílico é o insumo com o custo mais expressivo.

Foram realizadas duas bateladas com 8 litros de óleo de soja, 2 litros de álcool metílico e 56 g de Hidróxido de sódio, o que resultou em aproximadamente 7,8 litros de biodiesel e 1,9 litros de glicerol por batelada. O restante do volume dos produtos foi eliminado nas 2 etapas de lavagem do biodiesel. As quantidades de produtos foram estequiometricamente coerentes com a revisão bibliográfica, portanto se mantiveram dentro do esperado.

## 5 CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível conhecer os diferentes processos de produção de biodiesel, sendo a transesterificação alcalina a mais utilizada. Pode-se entender o funcionamento deste processo e quais os passos necessários para obtenção de biodiesel através do mesmo. Por meio da revisão bibliográfica foi possível conceituar os aspectos químicos e físicos do biodiesel, bem como os tipos de insumos empregados na produção deste biocombustível.

Diante disso, foi construído um equipamento didático para produção de biodiesel em pequena escala, o qual teve seus aspectos de construção detalhados na etapa de materiais e métodos. A construção deste equipamento teve o custo como fator dominante, portanto alguns aspectos relacionados a eficiência tiveram menor relevância, o que resultou em uma planta com etapas de produção e componentes com diversos aspectos para otimizações futuras.

Com tudo, pode-se concluir que o equipamento construído atendeu as expectativas de funcionalidade e assim que certificada a qualidade do biodiesel nele produzido, poderá ser utilizado para pequenas aplicações de cunho didático dentro da UFSM Campus Cachoeira do Sul de forma.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, [S.l], 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: outubro de 2019.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, [S.l], 2010. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2010/fevereiro&item=ranp-4-2010>. Acesso em: outubro de 2019.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, [S.l], 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-842-de-14-de-maio-de-2021-320059616> . Acesso em: Julho de 2021.

BIODIESELBR. **Biodiesel: Combustível renovável e ambientalmente correto.** [S.l], 2005. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/destaques/2005/combustivel-renovavel>. Acesso em: agosto de 2021.

BIODIESELBR. **Equipamentos: Pré-tratamento e processamento de biodiesel,** [S.l], 2012. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/revista/017/por-dentro-de-uma-usina-2.htm>. Acesso em: outubro de 2019.

BIODIESELBR. **O que é biodiesel?**, [S.l], 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel>. Acesso em: outubro de 2019.

BRASIL, Alex Nogueira. et al., **Usina de biodiesel didática e simulação industrial,** [S.l], 2011 Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/download/BIODIESEL/Leitura%203.pdf> Acesso em: Agosto de 2021.

CORRÊA, Douglas. **ANP aprova aumento do percentual de adição de biodiesel ao óleo diesel.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-08/anp-aprova-aumento-do-percentual-de-adicao-de-biodiesel-ao-oleo-diesel>. Acesso em: Agosto de 2021

COSTA, B.J; OLIVEIRA, S.M.M. Dossiê Técnico: Produção de biodiesel. **TECPAR**, Paraná, 2006.

DA COSTA, R.S. **Implementação de mini-usina piloto para obtenção de biodiesel, a partir de óleos de frituras usados.** Porto alegre, 2011 Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3174>. Acesso em: outubro de 2019.

DELATORRE, A.B. et al. Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. **Perspectivas Online**, Rio de Janeiro, 2011.

DORADO, M. P. Optimization of Alkali-Catalyzed Transesterification of Brassica Carinata Oil for Biodiesel Production. **Energy & Fuels**, [S.l], 2004.

GERIS, R et al. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, São Paulo, 2007.

KHALIL, C.M. As tecnologias de produção de biodiesel, **Coletânea de Artigos**, [S.l.], 2006. Disponível em: [http://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/O%20futuro%20da%20industria\\_Biodiesel\\_coletanea%20de%20artigos.pdf](http://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/O%20futuro%20da%20industria_Biodiesel_coletanea%20de%20artigos.pdf). Acesso em: outubro de 2019

NASCIMENTO, U. M. et al. **Montagem e implantação de usina piloto de baixo custo para produção de biodiesel**. João Pessoa, 2006, Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/download/BIODIESEL/Leitura%202.pdf> >. Acesso em: outubro de 2019

PARENTE, Expedito José de Sá. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. Fortaleza: Editora Tecbio, 2003.

QUINTELLA, C.M. et al. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: Uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, Salvador, 2009.

RAMOS, L.P. et al. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista virtual de Química**. Curitiba, 2011.

REIS, Michele .C. et al. Produção de biodiesel a partir de ácidos graxos provenientes do refino de óleos vegetais via catálise ácida heterogênea e micro-ondas. **Química Nova**, Rio de Janeiro, 2015.

SCHNEIDER, Robson Eduardo dos Anjos. **Projeto preliminar de equipamento didático produtor de biodiesel**. 2019 Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2019.

SUAREZ, Paulo.A.Z. et al. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química Nova**, [S.l.], 2007.

TAPANES. N.C. et al. Biodiesel no brasil: matérias primas e tecnologias de produção. **AS&T**, Rio de Janeiro, 2013.