

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNA AYA TSUBOUCHI  
MAYCON LUAN ROSA GONÇALVES DE OLIVEIRA  
MIRIAM DE OLIVEIRA NADUR**

**RENOBIO: INDÚSTRIA DE BIODIESEL**

**APUCARANA**

**2023**

**BRUNA AYA TSUBOUCHI  
MAYCON LUAN ROSA GONÇALVES DE OLIVEIRA  
MIRIAM DE OLIVEIRA NADUR**

## **RENOBIO: INDÚSTRIA DE BIODIESEL**

### **RENOBIO: Biodiesel Industry**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Profa. Dra. Maria Carolina Sérgi Gomes.  
Coorientadora: Profa. Dra. Caroline Casagrande Sipoli.

**APUCARANA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

#### RENOBIO: INDÚSTRIA DE BIODIESEL

Por

BRUNA AYA TSUBOUCHI  
MAYCON LUAN ROSA GONÇALVES DE OLIVEIRA  
MIRIAM DE OLIVEIRA NADUR

Monografia apresentada às 13 horas e 30 minutos do dia 13 de junho de 2023 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Profa. Juliana Guerra Sgorlon	Membro
Prof. Rafael Oliveira Defendi	Membro
Profa. Maria Carolina Sérgi Gomes	Orientadora



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **MARIA CAROLINA SERGI GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 14/06/2023, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **RAFAEL OLIVEIRA DEFENDI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 14/06/2023, às 17:44, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **JULIANA GUERRA SGORLON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 23/06/2023, às 13:52, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) [https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador (informing the verification code) **3499998** e o código CRC (and the CRC code) **362ACEAE**.

## RESUMO

O presente projeto contempla a problemática de esgotamento de fontes de energia não renováveis, sendo o petróleo a fonte e combustível fóssil mais utilizado atualmente. Isso faz com que haja cada vez mais pesquisas sobre possíveis alternativas, onde o biodiesel é uma delas. O principal meio de se obter esse biocombustível é reação de transesterificação, de modo que um óleo (fonte de triglicerídeos) reage com um álcool de cadeia curta na presença de um catalisador gerando biodiesel e glicerol como subproduto. As matérias-primas mais utilizadas no Brasil são óleos vegetais, gordura e óleo animal, sendo o mais comum o óleo de soja degomado pela sua disponibilidade no país. O catalisador empregado na reação pode ser ácido, alcalino ou enzimático, sendo o alcalino o que exige menor tempo de reação. O álcool mais utilizado mundialmente é o metanol, no entanto, o etanol é uma alternativa por apresentar baixa toxicidade, por ser de fonte renovável e pela grande disponibilidade no Brasil. Um problema enfrentado no mercado atual do biocombustível é a grande quantidade de efluente industrial gerado, portanto, neste trabalho é apresentado um processo alternativo, que realiza a separação por membranas tubulares cerâmicas na purificação do produto, reduzindo a quantidade de água adicionada e eliminando a etapa de decantação. A localização escolhida para a instalação da fábrica foi a cidade de Maringá/PR devido à grande oferta de mão de obra qualificada, incentivos fiscais, facilidade de escoamento e proximidade de grandes produtores de óleo de soja. A capacidade produtiva da planta será de 71,2 toneladas por dia de biodiesel e um consumo de óleo de 72 toneladas por dia, atingindo 98% de teor de ésteres etílicos no produto final. Ao final do processo, é feita a recuperação do etanol do produto desejado e da glicerina para que haja o seu reaproveitamento por meio da sua venda. Este coproduto também será vendido para indústrias que farão a sua devida purificação. Após a finalização do processo produtivo são apresentados os resíduos gerados e o seu devido tratamento. A fim de estudar sua viabilidade, análises foram realizadas e economias foram estabelecidas através de integrações energéticas no processo, e considerando todos custos e ganhos o projeto prevê taxas de retorno satisfatórias com TIR de 27%, valor acima da TMA adotada de 20% e lucro de R\$ 20.617.996,14 no final de 10 anos em operação.

Palavras-chave: biodiesel; energia renovável; transesterificação; glicerol; membrana.

## ABSTRACT

This project addresses the problem of depletion of non-renewable energy sources, with oil being the source and fossil fuel most used today. This means that there is more and more research on possible alternatives, where biodiesel is one of them. The main means of obtaining this biofuel is the transesterification reaction, in which an oil (source of triglycerides) reacts with a short-chain alcohol in the presence of a catalyst, generating biodiesel and glycerol as a by-product. The raw materials most used in Brazil are vegetable oils, fat and animal oil, the most common being degummed soybean oil due to its availability in the country. The catalyst used in the reaction can be acidic, alkaline or enzymatic, with alkaline requiring the shortest reaction time. The alcohol most used worldwide is methanol, however, ethanol is an alternative because it has low toxicity, because it is a renewable source and because it is widely available in Brazil. A problem faced in the current biofuel market is the large amount of industrial effluent generated, therefore, in this work an alternative process is presented, which performs the separation by ceramic tubular membranes in the purification of the product, reducing the amount of added water and eliminating the need for decantation. The location chosen for the installation of the factory was the city of Maringá/PR due to the large supply of qualified labor, tax incentives, ease of disposal and proximity to large producers of soy oil. The plant's production capacity will be 71.2 tons per day of biodiesel and an oil consumption of 72 tons per day, reaching 98% ethyl ester content in the final product. At the end of the process, the ethanol of the desired product and the glycerin are recovered so that it can be reused through its sale. This co-product will also be sold to industries that will carry out its proper purification. After the completion of the production process, the waste generated and its proper treatment are presented. In order to study its viability, analyzes were carried out and savings were established through energy integrations in the process, and considering all costs and gains, the project predicts satisfactory rates of return with an IRR of 27%, a value above the adopted TMA of 20% and profit of R\$ 20,617,996.14 at the end of 10 years in operation.

Keywords: biodiesel; renewable energy; transesterification; glycerol; membrane.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Logomarca da empresa .....	16
Figura 2 - Organograma.....	18
Figura 3 - Gráfico da variação interanual percentual, tendência e consumo total em mil m <sup>3</sup> de biocombustíveis líquidos no mundo .....	21
Figura 4 - Distribuição percentual do consumo dos biocombustíveis líquidos no mundo .....	22
Figura 5 - Demanda de biodiesel nos estados brasileiros.....	23
Figura 6 - Integração rodoviária do estado do Paraná.....	26
Figura 7 - Reação de transesterificação.....	29
Figura 8 - Representação da separação por exclusão de tamanho.....	31
Figura 9 - Diagrama de blocos da produção do biodiesel .....	38
Figura 10 - Balanços de massa e energia do aquecimento do óleo degomado .....	44
Figura 11 - Balanços de massa e energia da mistura alcalina .....	45
Figura 12 - Balanço de massa na etapa de transesterificação .....	47
Figura 13 - Balanço de massa do tanque de mistura ácida.....	49
Figura 14 - Balanço de massa do tanque de reacional mais água.....	50
Figura 15 - Balanço de massa na etapa de separação.....	51
Figura 16 – Etapa de recuperação do etanol do permeado .....	53
Figura 17 - Etapa de recuperação do etanol do concentrado .....	54
Figura 18 - Balanço de massa da caldeira .....	56
Figura 19 - Diagrama de Fluxo de Processos (PFD) da Indústria de Biodiesel RENOPIO.....	58
Figura 20 - Cascata Viável e Cascata Inviável .....	60
Figura 21- Diagrama Cascata .....	61
Figura 22 - Curva Composta do Processo .....	62
Figura 23 - Exemplo de Tanque armazenamento de ácido clorídrico .....	67
Figura 24 - Dimensões do Tanque de Ácido Clorídrico .....	68
Figura 25 - Tanque de Armazenamento de Biodiesel .....	68
Figura 26 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Biodiesel .....	69
Figura 27- Dimensões do Tanque de Armazenamento de Etanol.....	70
Figura 28 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Glicerina.....	71
Figura 29 - Exemplo de Tanque de Armazenamento de Glicerina .....	71
Figura 30 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Hidróxido de Sódio .....	72
Figura 31 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Óleo de Soja .....	73
Figura 32 - Dimensões do Misturador e Aquecedor de Óleo de Soja Degomado .....	74
Figura 33 - Exemplo de Tanque Encamisado de Mistura.....	74
Figura 34 - Dimensões do Misturador e Aquecedor de Etanol e Hidróxido de Sódio .....	75
Figura 35 - Dimensões do Misturador e Aquecedor de Ácido Clorídrico e Água .....	76
Figura 36 - Dimensões do Misturador e Aquecedor da Mistura Reacional e Água Acidificada .....	76
Figura 37 - Dimensões do Reator de Transesterificação.....	78
Figura 38 - Reator Encamisado.....	78
Figura 39 - Exemplo da Disposição do Módulo de Membranas .....	79
Figura 40 - Dimensões do Tubo de Membrana de Separação.....	80
Figura 41 - Exemplo de Evaporadores Industrial .....	81

<b>Figura 42 - Exemplo de Condensador Casco Tubo.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 43 - Exemplo de Trocador de Calor .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 44 - Layout da Indústria RENOBIO.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 45 - Demonstração do Resultado do Exercício (DRE).....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 46 - Fluxo de caixa.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 47 - Ponto de Equilíbrio .....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações do biodiesel .....	33
Tabela 2 - Caracterização da glicerina produzida e PA .....	35
Tabela 3 - Massa molar dos componentes envolvidos na etapa de transesterificação.....	46
Tabela 4 - Tabela Problema .....	60
Tabela 5 - Padrões da CONAMA para descarte de efluentes .....	64
Tabela 6 - Tempo de armazenamento das matérias-primas, produtos e subprodutos. ....	66
Tabela 7- Área de Troca Térmica dos Trocadores de Calor .....	82
Tabela 8 - Área destinada para cada setor na planta baixa da RENOBIO .....	86
Tabela 9 - Custos de Infraestrutura .....	88
Tabela 10 - Preço dos Equipamentos .....	88
Tabela 11 - Preço dos Equipamentos .....	89
Tabela 12 - Capital de Giro .....	90
Tabela 13- Custos Fixos .....	91
Tabela 14 - Custos Variáveis .....	92
Tabela 15 - Custos Matéria-Prima .....	92
Tabela 16 - Faturamento Mensal .....	93
Tabela 17 – Tributação.....	93
Tabela 18 - SAC .....	94
Tabela 19 - Payback .....	98



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGL	Ácidos Graxos Livres
ANP	Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
h	Hora
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
IRPJ	Imposto sobre a Renda de Pessoa Jurídica
ISS	Imposto sobre Serviços
Kg	Quilograma
M	Massa
MM	Massa molar
PA	Para análise
PFD	Diagrama de Fluxo de Processos
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIS	Programa de Integração Social
rpm	Rotações Por Minuto
SEAB	Secretaria Estadual da Agricultura e do Abastecimento
TAG	Triglicerídeo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VBP	Valor Bruto de Produção Agrícola

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\xi$	Extensão da reação
$\xi_{\text{máx}}$	Extensão máxima da reação
$\xi_{\text{real}}$	Extensão real da reação
$\nu$	Coefficiente estequiométrico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>15</b>
2.1 Objetivos Específicos .....	15
<b>3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA</b> .....	<b>16</b>
3.2 Visão .....	16
3.3 Valores .....	16
3.4 Organograma.....	17
<b>4 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>19</b>
4.1 Contexto histórico.....	19
4.2 Demanda de mercado .....	21
4.3 Público-alvo .....	24
4.4 Localização .....	25
<b>5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>28</b>
5.1 Matéria-prima.....	28
5.2 Transesterificação.....	29
5.2.1 Fatores que Influenciam a Reação.....	30
5.3 Separação .....	31
5.3.1 Fatores que Influenciam a Separação.....	32
5.4 Biodiesel .....	33
5.5 Glicerina .....	34
5.6 Utilidades do processo.....	35
<b>6 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS E BALANÇOS DE MASSA E DE ENERGIA</b> .....	<b>37</b>
6.1 Descrição das etapas.....	37
6.2 Balanços de Massa e de Energia do Processo.....	40
6.2.1 Aquecimento do Óleo Degomado .....	43
6.2.2 Aquecimento da Mistura Alcalina .....	44
6.2.3 Transesterificação .....	45
6.2.4 Aquecimento da Mistura Ácida .....	48
6.2.5 Separação .....	50
6.2.6 Recuperação do Etanol do Biodiesel .....	52
6.2.7 Recuperação do Etanol da Glicerina .....	53
6.3 Balanço de Massa e Energia da Caldeira .....	55
<b>7 DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSOS</b> .....	<b>57</b>

<b>8 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.....</b>	<b>59</b>
<b>9 TRATAMENTO DE EFLUENTES .....</b>	<b>63</b>
<b>9.1 Balanço de massa do tratamento de efluentes .....</b>	<b>64</b>
<b>10 DIMENSIONAMENTO E EQUIPAMENTOS DO PROCESSO.....</b>	<b>66</b>
<b>10.1 Tanques de Armazenamento.....</b>	<b>66</b>
10.1.1 Tanque de Ácido Clorídrico .....	66
10.1.3 Tanque de Etanol .....	69
10.1.4 Tanque de Etanol Hidratado.....	70
10.1.5 Tanque de Glicerina .....	70
10.1.6 Tanque de Hidróxido de Sódio .....	71
10.1.7 Tanque de Óleo de Soja Degomado .....	72
<b>10.2 Tanques Encamisados de Mistura e Aquecimento .....</b>	<b>73</b>
10.2.1 Misturador e Aquecedor do Óleo Degomado .....	73
10.2.2 Misturador e Aquecedor do Etanol e Hidróxido de Sódio .....	75
10.2.3 Misturador e Aquecedor do Ácido Clorídrico e Água.....	75
10.2.4 Misturador e Aquecedor da Mistura Reacional e Água Acidificada .....	76
<b>10.3 Reator .....</b>	<b>76</b>
<b>10.4 Membranas de Separação .....</b>	<b>79</b>
<b>10.5 Evaporadores .....</b>	<b>80</b>
<b>10.6 Condensadores .....</b>	<b>81</b>
<b>10.7 Trocadores de Calor.....</b>	<b>82</b>
<b>11 LAYOUT.....</b>	<b>84</b>
<b>12 BALANÇO ECONÔMICO .....</b>	<b>87</b>
<b>12.1 Investimento Inicial .....</b>	<b>87</b>
12.1.1 Infraestrutura .....	87
12.1.2 Equipamentos .....	88
12.1.3 Funcionários.....	89
12.1.4 Capital de Giro .....	90
<b>12.2 Custos Fixos .....</b>	<b>91</b>
<b>12.3 Custos Variáveis .....</b>	<b>91</b>
12.3.1 Energia .....	92
12.3.2 Matérias-Primas .....	92
12.3.3 Água .....	92
<b>12.4 Faturamento Mensal.....</b>	<b>92</b>
<b>12.5 Tributações .....</b>	<b>93</b>

<b>12.6 Financiamento .....</b>	<b>93</b>
<b>12.7 Fluxo de Caixa .....</b>	<b>95</b>
12.7.1 Ponto de Equilíbrio .....	96
12.7.2 Taxa Mínima de Atratividade .....	97
12.7.3 Taxa Interna de Retorno.....	97
12.7.4 Payback.....	98
<b>13 CONCLUSÃO .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO B – PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE A – CÁLCULOS BALANÇO DE MASSA.....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE B – CÁLCULOS BALANÇO DE ENERGIA .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE C – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES DO DIAGRAMA DE DE FLUXO DE PROCESSOS (PFD) .....</b>	<b>135</b>
<b>APÊNDICE D – REDE DE TROCADORES DE CALOR (RTC.....</b>	<b>138</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo e esgotamento de recursos naturais disponíveis no ambiente ameaçam o desenvolvimento humano e as gerações futuras, principalmente a redução da disponibilidade de combustíveis fósseis, fazendo com que cientistas estudem cada vez mais sobre possíveis alternativas (SHAHID; JAMAL, 2011). O combustível mais utilizado no mundo é o petróleo, ultrapassando o carvão, o gás natural, a energia nuclear e fontes de energia renováveis (DEMIRBAS, 2006).

Apesar de serem encontrados em grandes quantidades, o tempo de reposição de combustíveis fósseis na natureza é de milhões de anos, isso os caracteriza como uma fonte de energia não renovável (DEMIRBAS, 2006). Outros motivos para o Brasil investir em pesquisas sobre fontes de energias alternativas são minimizar as emissões de gases de efeito estufa, bem como diminuir a dependência externa de petróleo (LEITE; LEAL, 2007).

Um importante marco na economia brasileira foi a criação do Proálcool em 1975, o qual incentivou a produção de etanol como combustível, pois o país importava cerca de 80% de seu consumo energético (LEITE; LEAL, 2007). Outro programa importante criado pelo governo foi o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em 2004, com objetivo de implementar a produção e o uso de biodiesel no país (BRASIL, 2004).

A obtenção do biodiesel é feita a partir da reação de transesterificação de um óleo ou gordura com alto teor de ácidos graxos, um álcool de cadeia curta, em presença de um catalisador, gerando ésteres de ácidos graxos e o glicerol como subproduto (PARENTE, 2003). O método mais utilizado para fazer a separação das fases resultantes da reação é por decantação seguida pela lavagem úmida, a qual consiste na adição de água acidificada em grandes quantidades. Contudo, este método tem um consumo elevado de água e gera grande quantidade de efluentes.

Algumas vantagens da utilização do biodiesel são a utilização de fontes renováveis em sua produção, a capacidade de substituir parcialmente o diesel sem que haja alterações nos motores de ignição por compressão, menor emissão de poluentes na atmosfera, a valorização de grãos que seriam exportados como commodity, contribuição na economia brasileira, diminuição da importação de diesel, entre outros (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2011).

O biodiesel é um biocombustível empregado em motores de ignição por compressão interna (ciclo diesel), usado em várias aplicações, como veículos de transporte coletivo e cargas. Os motores do ciclo diesel são conhecidos por sua ignição por compressão, uma vez que o combustível, vaporizado e misturado ao ar, queima devido à compressão exercida por um pistão na câmara de combustão ou cilindro. A principal vantagem dos motores a diesel em comparação com os de gasolina é a maior potência obtida pelo primeiro, permitindo a realização de tarefas que requerem maior capacidade de tração (OLIVEIRA, 2008).

O presente trabalho, portanto, viabiliza a criação de um projeto industrial completo para produzir biodiesel, que mostrou enorme potencial de integração na matriz energética brasileira. Novas tecnologias garantem mais economia e agilidade na produção (DIESEL, 1937), como os módulos de membranas de ultrafiltração que modernizam a etapa de purificação (GOMES, 2012).

## **2 OBJETIVO**

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um projeto industrial da produção de biodiesel desde o estudo de mercado até o processo produtivo utilizando o óleo de soja degomado como matéria-prima e aplicando um método alternativo de separação da mistura reacional a fim de reduzir a quantidade de efluentes gerados e tornar o processo mais eficiente. Além de avaliar financeiramente se o projeto é viável.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Desenvolver o projeto de uma indústria de biodiesel;
- Elaborar o estudo de mercado e público-alvo;
- Realizar os balanços de massa e energia do processo;
- Estabelecer o tratamento de resíduos da indústria;
- Desenvolvimento da integração energética do sistema industrial;
- Realização do dimensionamento dos equipamentos baseados nos valores produzidos;
- Elaborar a análise financeira completa da empresa;
- Construir o fluxograma do processo e a planta industrial.



### 3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa RENOBIO foi criada a partir da necessidade de se desenvolver um processo de produção de biodiesel menos nocivo ao meio ambiente e que gerasse menos efluentes. Além disso, visando a um desenvolvimento mais sustentável, as matérias-primas são de fontes renováveis, como o etanol e o óleo de soja. Desse modo, o nome surgiu após a junção das palavras 'renovável' e 'biodiesel'. Levando em consideração a quantidade de biodiesel produzida de 71,3 toneladas por dia, a empresa é de grande porte. A Figura 1 consiste na logomarca desenvolvida para representar a empresa.

Figura 1 – Logomarca da empresa



Fonte: Autoria própria (2022)

Os itens a seguir representam a missão, a visão e os valores da RENOBIO.

#### 3.1 Missão

Fornecer combustível a partir de fontes renováveis utilizando a tecnologia como aliada, visando ao desenvolvimento sustentável e à redução de resíduos gerados.

#### 3.2 Visão

Ser pioneira em tecnologia alternativa de purificação no processo produtivo do biodiesel e contribuir para uma matriz energética brasileira mais limpa.

#### 3.3 Valores

- Comprometimento com a credibilidade e a excelência;
- Inovação;
- Ética e sustentabilidade;
- Transparência;
- Respeito à diversidade humana, cultural e ao meio ambiente.

### 3.4 Organograma

A RENOBIO possui uma estrutura organizacional baseada em três pilares para o bom funcionamento de todos os setores da empresa, sendo eles o departamento administrativo, financeiro e de produção.

A direção junto à coordenação dos departamentos administrativo, financeiro e de produção irão estabelecer os planos da gestão. Ficará sob responsabilidade do administrativo o cumprimento das metas gerais traçadas supervisionando todas as demais para poder interferir caso necessário. Suas funções são amplas e abrangem toda a organização, garantindo o bem estar e funcionamento da empresa para realização dos objetivos, contando com profissionais de diversas áreas como recursos humanos e de serviços gerais.

A repartição de recursos humanos ficará responsável pelo gerenciamento de pessoas, promovendo uma boa convivência e um ambiente agradável para o trabalho, além da contratação de novos cooperadores que irão acrescentar na RENOBIO com seus respectivos talentos. É preciso ainda, gerenciar e organizar os processos burocráticos que envolvem cada pessoa na empresa como férias, pagamento, plano de saúde, entre outras necessidades que envolvem os direitos humanos. Os profissionais da repartição dos serviços gerais zelarão pela manutenção e conservação dos patrimônios da empresa, ficando sob sua responsabilidade solicitar a compra de produtos e equipamentos necessários para suas funções.

O departamento financeiro contará com especialistas que farão a contabilidade de todas as áreas da empresa, cuidando do fluxo de caixa, realizando planejamentos financeiros, gerindo riscos e contas, sempre visando atividades econômicas rentáveis e vantajosas. Ele deverá autorizar o orçamento de todos os projetos, que através de estudos analisará se a saúde da empresa será mantida, tendo assim o poder de decidir o direcionamento dos recursos da empresa.

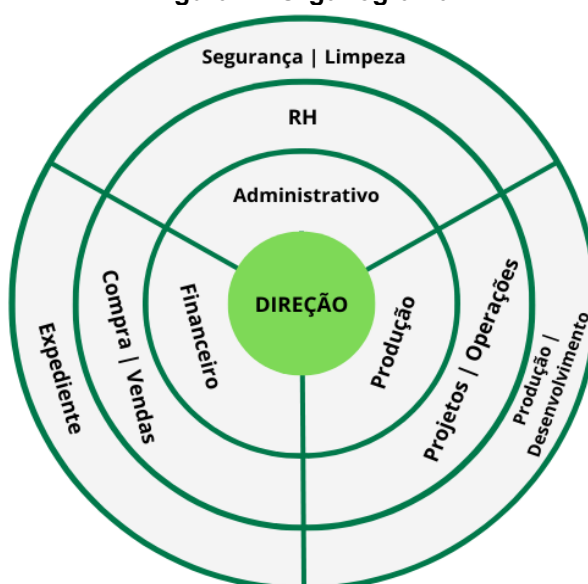
Ainda no departamento financeiro, a compras e vendas é uma repartição de extrema importância pois garantirá um relacionamento vantajoso com os fornecedores e clientes, garantindo assim, o fluxo de dinheiro. Nele contações devem ser realizadas para que os custos sejam menores e a determinação dos preços de vendas favorável para a empresa.

Toda empresa comercializa algo, a RENOBIO produzirá biodiesel, e essa atividade será realizada pelo departamento de produção, garantindo a confiabilidade

e a qualidade do produto, que sairá da indústria com todas as especificações para comercialização. Englobará todas as operações unitárias do processo garantindo que a execução está sendo realizada da melhor maneira possível, obtendo bons rendimentos, sem desperdícios, gerando o mínimo de efluente e tratando de maneira adequada os resíduos gerados.

A manutenção do portfólio de produtos, que sempre atenderá a demanda do consumidor, ficará sobre encargo do comprometimento das repartições do departamento de produção, garantindo que a empresa esteja alinhada com as novidades do mercado através de pesquisas e desenvolvimento, além da elaboração e implementação de projetos que manterá a RENOBIO atualizada. A figura 2 esquematiza de forma visual o organograma da empresa.

**Figura 2 - Organograma**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

## 4 CONTEXTUALIZAÇÃO

O biodiesel é um tipo de combustível renovável produzido por um processo químico chamado transesterificação, conforme definido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Ele pode ser misturado em qualquer proporção com o diesel de petróleo, o que incentivou muitos países a adotarem essa combinação em vez de utilizar o biodiesel puro.. Essa proporção é denominada pelo acrônimo BX (KNOTHE, 2006).

A escassez dos combustíveis tradicionais, juntamente com o aumento das emissões poluentes provenientes da combustão e os custos envolvidos, têm impulsionado o interesse nas fontes de biomassa (SENSOZ; ANGIN; YORGUN, 2000). De acordo com especialistas, as reservas de petróleo e gás natural disponíveis atualmente terão uma duração limitada de apenas algumas décadas. Diante da necessidade de suprir a demanda crescente por energia e substituir a redução das reservas de petróleo, os biocombustíveis, como o biodiesel e o bioetanol, surgem como alternativas tecnológicas avançadas e viáveis para motores de ignição por compressão (DEMIRBAS, 2006).

Porém, para ser aceito no mercado, o biodiesel precisa atender algumas especificações, dentre elas a estabilidade oxidativa, para não haver alterações em sua composição físico-química quando exposto ao meio ambiente e acabar danificando os motores. A quantidade de água, partículas sólidas, microrganismos e, um dos mais relevantes, o glicerol residual da reação de transesterificação definem a qualidade deste produto (LÔBO, *et al.*, 2009). Problemas como esses são solucionados por meio da etapa de separação. Atualmente, estudos com micro e ultrafiltração estão sendo avaliados utilizando membranas e, assim, obtendo sucesso na obtenção de um permeado com as especificações aceitas pela ANP de no máximo 0,02% em massa de glicerol retido no biodiesel (GOMES, 2012).

### 4.1 Contexto histórico

A ideia de que poderia ser possível desenvolver uma fonte de energia renovável surgiu na França na busca de uma independência energética das colônias africanas, em que motores funcionavam à base de óleo de amendoim. Mais tarde, por volta de 1920, começou-se a notar os danos que a alta viscosidade causava nos motores, por isso a separação do glicerol começou a ser executada e, a partir de

então, vários estudos começaram a ser realizados, tornando o biodiesel um dos combustíveis alternativos mais pesquisados (DIESEL, 1937).

As crises relacionadas à disponibilidade de petróleo impulsionaram a busca por métodos de transformação de óleos e gorduras em produtos semelhantes aos combustíveis fósseis em termos de propriedades físico-químicas, com o intuito de substituí-los parcial ou totalmente. Durante a Segunda Guerra Mundial, devido à escassez de petróleo nos mercados globais, pesquisadores de diferentes países empreenderam esforços para encontrar alternativas viáveis. Na Bélgica, surgiu a concepção de realizar a transesterificação de óleos vegetais com etanol, resultando na criação de um biocombustível atualmente reconhecido como biodiesel (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

A partir dos anos 1970, diante das crises recorrentes no mercado global de petróleo, o biodiesel emergiu como a principal alternativa ao diesel. Atualmente, países como o Brasil, França, Alemanha, Áustria e Estados Unidos têm implementado com sucesso a produção e utilização comercial do biodiesel. Em 2004, a Europa alcançou uma produção de 1.934 milhões de toneladas de biodiesel, enquanto os Estados Unidos produziram 87,5 milhões de litros (OLIVEIRA, 2008).

Ao longo dos anos 1920 até os dias atuais, o Brasil tem se dedicado à pesquisa e exploração dos benefícios dos óleos vegetais como fonte de combustível. Essa abordagem foi intensificada nos momentos de instabilidade no mercado de petróleo em 1973 e 1979, o que levou à criação do Programa Nacional de Óleos Vegetais para Produção de Energia (Pro-Óleo) e seus subprogramas correspondentes. No entanto, essas iniciativas foram interrompidas durante a década de 1980. Somente na segunda metade dos anos 2000, com a reformulação da matriz energética brasileira, houve um ressurgimento do interesse pelo biodiesel (RAMOS, *et al.*, 2011).

A combinação entre o biodiesel e o diesel de origem fóssil teve início em 2004 como um experimento, e posteriormente, entre 2005 e 2007, a sua comercialização foi iniciada de forma voluntária, com uma proporção inicial de 2%. A Lei nº 11.097/2005, por meio do seu segundo artigo, introduziu a exigência da inclusão obrigatória do biodiesel na matriz energética do país. Desde então, essa porcentagem tem sido gradativamente ampliada, chegando ao atual índice de 12% (GOV, 2020).

A fabricação anual de biocombustível no Brasil está prevista para ter um expressivo crescimento, saindo de 6,7 bilhões de litros neste ano e alcançando a marca de 10,2 bilhões até 2025. Essa projeção considera a possível retomada do

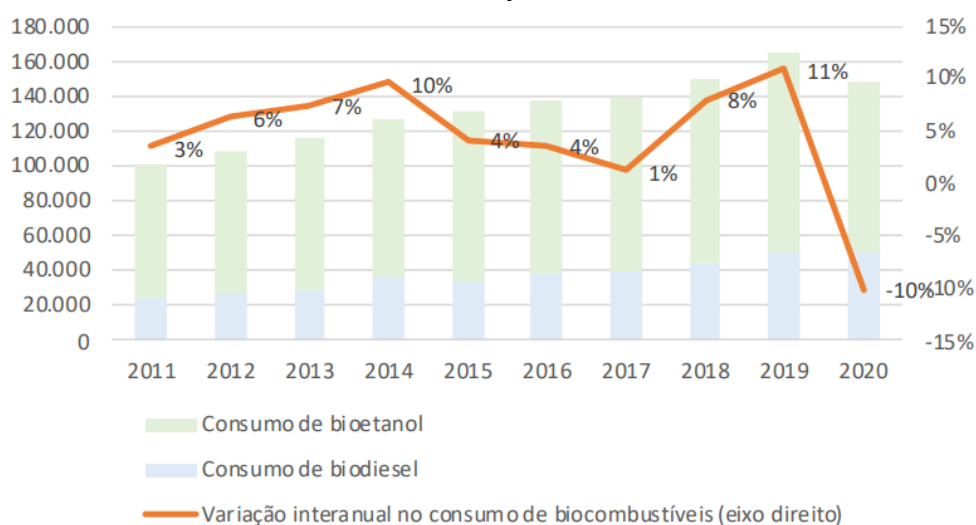
cronograma compulsório de combinações que estimulam a inclusão de biodiesel no diesel (FORBES, 2022).

Novos estudos tentam resolver problemas como: as propriedades do óleo em baixas temperaturas, estabilidade em relação ao oxigênio e outros materiais e a redução das emissões de gases de escape, que atualmente são desvantagens e empecilhos para o aumento da adição de biodiesel no diesel (KNOTHE, 2010).

## 4.2 Demanda de mercado

Entre os anos de 2011 e 2020, o consumo de biocombustíveis líquidos teve um crescimento de 47% no mundo, sendo alguns deles o bioetanol e o biodiesel. No ano de 2020 a produção mundial de biodiesel foi de 148 milhões de metros cúbicos ou aproximadamente 130.000 milhões de toneladas, como mostra a Figura 3 (TORROBA, 2021).

**Figura 3 - Gráfico da variação interanual percentual, tendência e consumo total em mil m<sup>3</sup> de biocombustíveis líquidos no mundo**

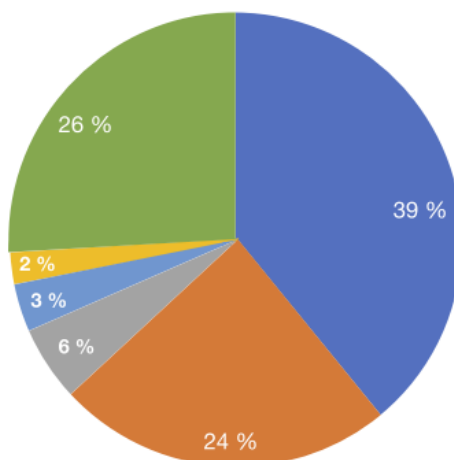


Fonte: TORROBA (2021).

O consumo de biocombustíveis se concentra principalmente em dois países: Estados Unidos (39%) e Brasil (24%), seguido de Indonésia (6%), Alemanha (3%) e China (2%), o restante está distribuído entre Canadá, Tailândia, Reino Unido, entre outros. Dados dispostos na Figura 4.

**Figura 4 - Distribuição percentual do consumo dos biocombustíveis líquidos no mundo**

■ Estados Unidos ■ Brasil ■ Indonésia ■ Alemanha ■ China ■ Restante do mundo



Fonte: TORROBA (2021).

A obtenção de biodiesel é proveniente de atividades agropecuárias, presentes em várias áreas produtivas. No momento, aproximadamente 70% do insumo utilizado na produção do biocombustível é composto por óleo de soja, o que acarreta em uma intrincada rede de elementos que afetam a formação do valor (CEPEA, 2022).

Até 2021, o biodiesel era adquirido por meio de leilões públicos conduzidos pela ANP. Nesses leilões, a Petrobras era a compradora exclusiva do biodiesel, que posteriormente era transportado pelas demais distribuidoras para realizar a mistura com o diesel, sem a necessidade de utilizar as instalações da estatal. Na prática, eram as distribuidoras que participavam dos lances nos leilões, a partir de um valor mínimo estipulado nos editais (CEPEA, 2022).

No entanto, a Petrobras, com o intuito de reorganizar seus recursos, direcionando-os para a exploração e produção de petróleo e gás, optou por se desfazer de sua divisão de distribuição. Após um processo de discussão e diálogo com o setor desde 2020, foi sugerida a eliminação da exigência de comercialização do biodiesel por meio de leilões (CEPEA, 2022).

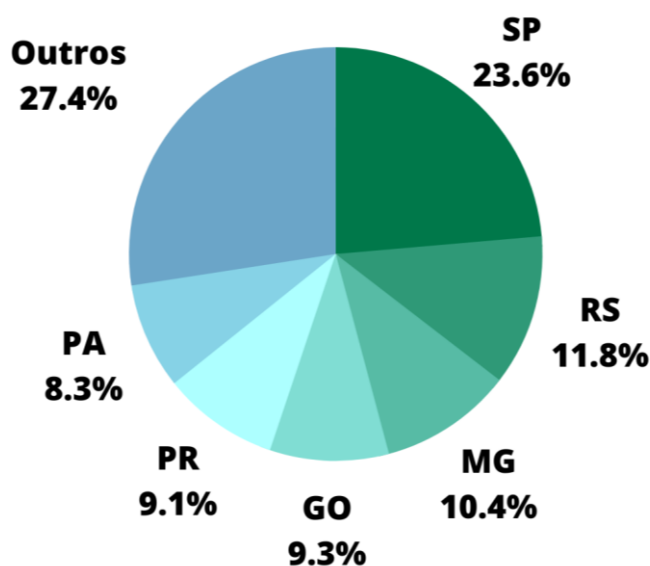
Em resumo, os produtores e distribuidores têm a flexibilidade de negociar livremente, com os contratos de fornecimento sendo previamente aprovados pela ANP. Em 28 de outubro de 2021, a ANP emitiu a Resolução 857, que traz atualizações nas regras relacionadas à obrigatoriedade de adição de biodiesel ao diesel. O Artigo 1º e o Parágrafo 1º permitem que os produtores comercializem o biodiesel com os distribuidores de combustíveis líquidos através de contratos de fornecimento de

biodiesel, podendo ser acordos a prazo ou transações realizadas no mercado à vista (*spot market*) (CEPEA, 2022).

A utilização desse combustível é viabilizada por meio da coleta realizada pelas distribuidoras em diversos pontos do país. Isso resulta em uma organização mercadológica complexa, que envolve a aquisição de insumos, produção e logística em escala global (CEPEA, 2022).

Conforme informações fornecidas pela ANP, a produção nacional de biodiesel em 2021 alcançou um volume de 6,8 milhões de metros cúbicos. Desses, 27,6% foram originados no estado do Rio Grande do Sul, enquanto o Mato Grosso contribuiu com 19,3%, o Paraná com 18,1% e Goiás com 14,3%. Outros nove estados foram responsáveis por 20,7% da produção total no referido ano. No que se refere à demanda,, merece destaque o estado de São Paulo, que adquiriu 23,6% do volume total em 2021, seguido pelo Rio Grande do Sul (11,8%), Minas Gerais (10,4%), Goiás (9,3%), Paraná (9,1%) e Pará (8,3%). Os demais 14 estados consumiram 27,4% do volume total de vendas de biodiesel em 2021 (CEPEA, 2022). Logo, podemos observar o grande potencial de produção no sul do Brasil, tanto pela alta disponibilidade de matéria-prima como por políticas públicas favoráveis. Os dados apresentados estão dispostos na Figura 5, abaixo:

Figura 5 - Demanda de biodiesel nos estados brasileiros



Fonte: Autoria própria (2022)

O mercado de exportação tem se mostrado cada vez mais relevante para o biodiesel. Só em junho de 2022, o setor exportou cerca de 7.902 toneladas, segundo o último balanço do Ministério da Economia. Esse é o maior volume destinado à



exportação em 6,5 anos. Somando a quantidade total de exportação no ano de 2022, pouco mais de 17.208 toneladas foram exportadas, sendo essa quantidade suficiente para fazer de 2022 o melhor ano para o setor no mercado internacional desde 2014 (UDOP, 2022).

Atualmente a importação de biodiesel no Brasil é permitida somente para uso próprio do comprador ou para fins experimentais autorizados pela ANP. Está sendo analisada em pesquisa pública a liberação para comercialização no país do biodiesel importado, entretanto isso vai contra a vontade dos produtores brasileiros do biocombustível (GOV, 2022).

### **4.3 Público-alvo**

O biodiesel é comercializado em conjunto com o diesel de origem petrolífera em uma extensa rede de mais de 30 mil pontos de abastecimento em todo o território brasileiro. Esses locais são considerados um dos principais destinos da combinação realizada pelas empresas distribuidoras, enquanto uma parcela adicional é direcionada ao setor energético. Indicadores mostram que em 2011 cerca de 2,7 bilhões de litros do biocombustível foram produzidos no Brasil, mostrando seu grande potencial para esse mercado (GOV, 2021).

Segundo a Revista EPBR (2021), a comercialização do biodiesel mostra-se com duas vertentes, o modelo atual (leilões) e o novo modelo (contratação direta). Nos leilões, as negociações são aplicadas igualmente a todos os agentes, já no novo modelo de comercialização, as negociações para aquisição e fornecimento de biodiesel são estabelecidas de forma direta entre os produtores e distribuidores, os quais precisam acordar termos relacionados a prazos, valores, prestação de serviços, créditos e possíveis penalidades. O meio adotado pela RENOBIO foi a de contratação direta devido a facilidade e liberdade nos acordos.

Os compradores diretos de biodiesel e outros combustíveis no país são as empresas distribuidoras responsáveis por realizar as misturas do diesel, de acordo com a legislação e fazer a comercialização para os postos, chegando então ao consumidor final. De acordo com a Brasil Postos (2020), no setor de distribuição de combustíveis líquidos, existem no país três grandes distribuidoras: a companhia estatal brasileira de exploração de petróleo e as outras duas empresas do setor privado.

#### 4.4 Localização

Considerando a disponibilidade de óleo de soja, etanol, mão de obra qualificada e rodovias para escoamento do produto, bem como incentivos fiscais, a cidade escolhida para sediar a empresa foi Maringá, no estado do Paraná. O município apresentou cerca de R\$ 289,4 milhões no VBP em 2020, conforme divulgado pela SEAB. O VBP representa um indicador anual que é determinado levando em consideração tanto a produção agrícola de cada cidade quanto os valores obtidos pelos agricultores do Paraná (VALLIM, 2021).

Sendo assim, tem-se que a demanda agrícola na região é ampla e promissora, com espaço para a competitividade das indústrias que utilizam grãos como insumos, como por exemplo a BSBios, Potencial Biodiesel e Cocamar. Alguns fatores levaram a tal situação, como tecnologias, melhores sementes, cooperativismo, maquinários modernos, preços bons e clima favorável (VALLIM, 2021). Tanto é que a cidade recebeu o título de “ecossistema de startups” pela Associação Brasileira de Startup (ABstartup), sendo muitas delas na área do agronegócio (SENKOVSK, 2019).

Conforme Vidigal Filho, Vidigal (s.d.), Maringá é caracterizada por um clima de natureza predominantemente subtropical, apresentando uma média anual de temperatura superior a 20°C e verões marcados por precipitações pluviométricas significativas. Essas condições são ideais para o desenvolvimento do grão de soja, que participa dos lucros das safras de verão. Além do clima, o relevo de planalto da Região Sul favorece o desenvolvimento industrial pois facilita a construção de hidrelétricas, conseqüentemente, possui um alto potencial energético que abastece o setor produtivo (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2021).

Importantes rodovias que propõem uma integração de cargas pelo país estão localizadas no Paraná e proporcionam fácil acesso a Maringá, como a PR-151, BR-376 e BR-277, que juntas, formam a maior via terrestre de escoamento agrícola da América Latina (BLOXS, 2021). Como é possível observar na Figura 6, essas estradas ligam o Paraná com os maiores consumidores de biodiesel no Brasil, sendo eles a Região Sul e Sudeste. Com essa localização, portanto, será possível abastecer de maneira organizada o mercado consumidor interno definido (CEPEA, 2022).



Maringá, como uma cidade de destaque, apresenta um elevado nível de progresso urbano e proporciona serviços de qualidade no abastecimento de água, energia elétrica, sistema de esgoto e telecomunicações. Além disso, a região conta com um setor educacional de excelência, onde se encontram renomadas universidades que priorizam investimentos em pesquisa e tecnologia (VIDIGAL FILHO, VIDIGAL, s.d.).

A partir de ideias inovadoras e sustentáveis, proporciona ainda, incentivos para projetos revolucionários, como o edital ISS Tecnológico 2022, que devolve até 40% em benefícios fiscais para empresas que incentivem e invistam em pesquisas e tecnologias (LORE, 2022), que é uma das visões e valores propostos pela RENOBIO.

Diversas vantagens tributárias estão previstas na Lei Nº 6936/2005, a qual estabelece o PRODEM EMPRESA, um programa destinado a promover o desenvolvimento econômico de Maringá. Desde a sua aprovação pela Câmara Municipal de Maringá, ela vem sendo aprimorada, concedendo terrenos e isenção de impostos para aqueles que desejam abrir um novo negócio e comprove a geração de empregos, a rotação da economia, o porte da empresa, impacto sobre o meio ambiente, aplicação e utilização de tecnologia, entre outras exigências (LEIS MUNICIPAIS, 2021).

Para adquirir a matéria-prima, no caso o óleo de soja, fornecedores próximos que são empresas multinacionais e que possuem alta escala de produção, entre outras oferecem esse serviço. Tais empresas são grandes produtoras no mercado do agronegócio, sendo destaques no processo de produção e na distribuição de óleo de soja na região noroeste do Paraná (FORBES, 2022).

Outro fator importante para a localização é a proximidade de empresas que comprariam os resíduos gerados (álcool hidratado e glicerina) sem estarem purificados para o seu reaproveitamento nos respectivos processos produtivos, como a BBRAgro que utiliza da glicerina para produzir nutrientes para animais, Nova Produtiva que poderá utilizar o etanol hidratado para produzir etanol de maior pureza, e IndeleLab, que utilizaria a glicerina para a produção de cosméticos.

Após todas essas considerações de logística, o terreno escolhido para implementação da RENOBIO será no Parque Industrial de Maringá, na Zona Industrial 1, onde pode ser observado na Figura 7. O local permite qualquer tipo de porte de indústria, basta realizar o pedido de liberação junto à prefeitura de Maringá, além de já haver instalação elétrica e hidro sanitário (RESENDE, 2016). O terreno é avaliado em R\$3.300.000,00 e possui uma área de 6.149,26 m<sup>2</sup>, com uma topografia regular.

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 Matéria-prima

O valor agregado ao biodiesel está relacionado em grande parte à escolha da matéria-prima, sendo este responsável por 75% a 80% do seu custo. Por este motivo, países vêm investindo e dando apoio a pesquisadores que analisam e estudam novos insumos para a produção deste produto. Foram testadas diversas fontes de ácido graxos para a obtenção deste biocombustível, sendo possível classificá-los em grupos: óleos vegetais, gorduras animais, podendo ser comestíveis ou não comestíveis, além de novas tecnologias, como os óleos de alga por exemplo (BASHA, *et al.*, 2022).

A escolha das mais de 300 fontes possíveis de triacilglicerol para o biodiesel deve ser baseada em sua composição química, na distribuição de ácidos graxos, no nível de saturação e insaturação, no comprimento de cadeia de carbono, que darão as propriedades desejadas no produto final (SINGH, *et al.*, 2010).

No entanto, um dos fatores indispensáveis para a escolha da fonte de óleo é a região onde o processo se instalará devido à demanda. No Brasil e nos EUA, por exemplo, o domínio é do óleo de soja (ANP, 2011), uma vez que é um grão muito flexível de se trabalhar, porém possui uma maior fertilidade em locais com temperaturas entre 20 e 30°C, como o caso do território brasileiro durante a maior parte do ano (FERNANDES JÚNIOR, *et al.*, 2010).

O que torna a soja dominante neste mercado, segundo a ANP, é o fato de possuir a maior escala de produção para atender à demanda sem desfalcar a área alimentícia. Em ordem de destinação da soja no mercado estão os grãos para exportação, farelo de soja, óleo de cozinha e produção de biodiesel, atendendo a mais de 82% desse cenário no Brasil (EMBRAPA, 2021).

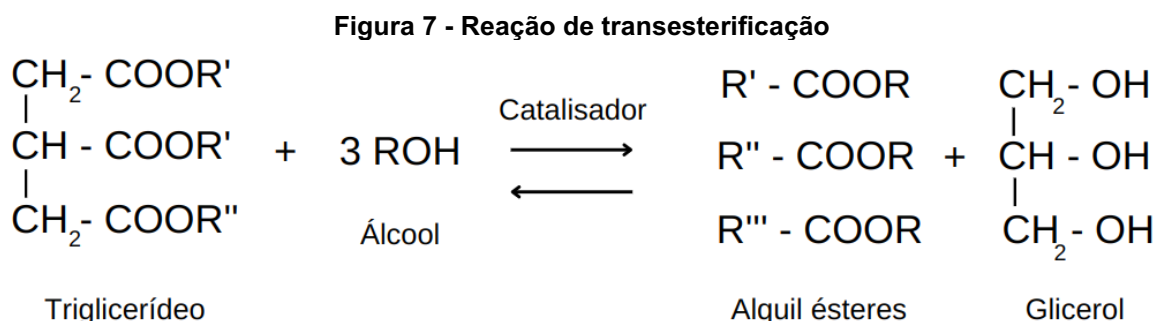
Segundo Gomes (2012), o teor de ácidos graxos livres na composição do óleo influencia na formação de aglomerados de glicerol na etapa de separação. Portanto, o óleo de soja degomado mostrou ser o mais adequado em relação ao óleo refinado de soja e de canola para a produção do biodiesel devido à sua acidez de 0,87%. Além disso, este óleo possui umidade de 0,13%, valor dentro dos limites estabelecidos pela ANP. As impurezas que o óleo pode apresentar serão removidas na etapa de separação por membranas, o que dispensa a necessidade de purificação da matéria-prima.

Inicialmente, qualquer tipo de álcool alifático de tamanho reduzido é viável para ser utilizado na reação de transformação de um óleo vegetal por meio de transesterificação, com a presença de uma base como catalisador. No entanto, aqueles que apresentam desempenho superior são os de menor peso molecular (C1-C4). Assim, à medida que a cadeia se torna mais reduzida, amplia-se a eficácia do álcool como reagente, o que justifica a escolha do etanol (LORA; VENTURINI, 2012).

## 5.2 Transesterificação

Existem quatro técnicas que têm sido exploradas como alternativas para diminuir a elevada densidade de óleos vegetais, viabilizando seu emprego em motores a diesel sem contratempos operacionais: a utilização de combinações binárias com petrodiesel, pirólise, microemulsificação e transesterificação. O método mais frequente é a transesterificação, uma vez que é o único que resulta em biodiesel. As outras três abordagens levam a misturas que ocasionam dificuldades como: combustão incompleta, obstrução de injetores e acúmulo de carbono no motor (KNOTHE, 2006).

A transesterificação, exemplificada na Figura 7, é a transformação que ocorre entre a gordura animal ou óleo vegetal e um álcool, gerando ésteres e glicerol, requerendo uma fonte de energia para se realizar. Devido à reversibilidade da reação, é imprescindível o emprego de álcool em excesso, de modo a deslocar o equilíbrio para o lado dos produtos. Nessa reação, também é utilizado um catalisador, responsável por otimizar a velocidade de reação e o rendimento dos produtos (MA; HANNA, 1999).



Fonte: Adaptado de Ambat, Srivastava e Sillanpaa (2018)

Há três categorias de catalisadores empregados em uma reação de transesterificação: catalisadores alcalinos, ácidos e enzimáticos (DEMIRBAS, 2006). O catalisador alcalino é utilizado com maior frequência porque possibilita um menor

tempo de reação se comparado com o catalisador ácido. No processo de transesterificação alcalina, grande parte do álcool e da glicerina podem ser recuperados e, para esse processo, é interessante que o óleo usado seja derivado de soja (LORA; VENTURINI, 2012). É aconselhável empregar uma proporção em massa de catalisador alcalino entre 0,1% e 1% em relação à massa de óleo (MA; HANNA, 1999).

A utilização do etanol permite obter um biodiesel em que os dois reativos, óleo e álcool, são derivados da biomassa. Porém, esse etanol deve ser completamente anidro, pois se a quantidade de água for maior que 2%, a reação química pode se inverter (LORA; VENTURINI, 2012). A rota metílica é a mais utilizada no mundo, porém, além de ser tóxica e não renovável, é um produto importado, o que o inviabiliza como matéria-prima. Ademais, no Brasil, a produção de álcool apresenta grande magnitude e possui preços altamente competitivos (BIODIESELBR, 2008).

### 5.2.1 Fatores que Influenciam a Reação

Ao utilizar catalisadores homogêneos básicos, a faixa de temperatura ótima é abaixo do ponto de ebulição do etanol, ou seja, entre 60 e 70°C (MA; HANNA, 1999).

Elevadas temperaturas também resultam na redução da viscosidade do óleo e em uma maior homogeneização dos reagentes. Entretanto, para os catalisadores alcalinos, o aumento da temperatura além do ponto ótimo estabelecido acarreta na diminuição da eficiência da produção de biodiesel, devido ao aumento da saponificação e à volatilização rápida do álcool empregado (GUNAY; TURKER; TAPAN, 2019).

A relação molar óleo:álcool é um dos fatores mais importantes que afetam a produção do biodiesel. A razão molar requerida pela estequiometria da reação é de 1:3, mas relações maiores como 1:6 e 1:8 podem ser mais efetivas na acentuação da solubilidade e podem aumentar a taxa de reação através do maior contato entre as moléculas de triglicerídeos e do álcool (NOUREDDINI; HARKEY; MEDIKONDURU, 1998).

Essa relação também está associada ao tipo de catalisador usado. Reações que utilizam um catalisador ácido normalmente requerem proporções maiores de álcool do que os catalisadores alcalinos, o que aumentaria o custo do processo (LORA; VENTURINI, 2012).

### 5.3 Separação

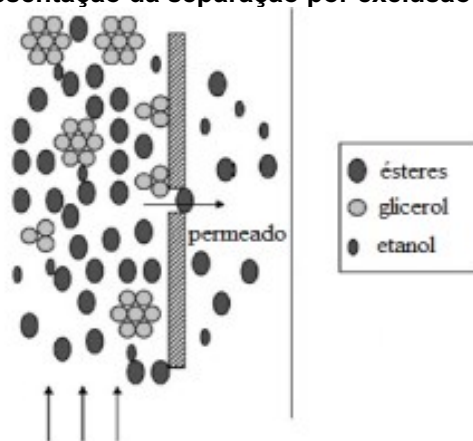
A etapa de purificação é de extrema importância, pois garante a qualidade de produto e evitar danos aos motores e mais emissões de gases poluentes, uma vez que a queima do glicerol desencadeia essas reações (CAVALLARI, 2012).

O método mais simples e relativamente barato já estudado e que domina o mercado de obtenção do biodiesel é a técnica que combina a decantação com lavagens aquosas. Entretanto, este método demanda muito tempo e grandes volumes de água em relação ao biodiesel, em uma proporção de 6:1 (ATADASHI, *et al.*, 2011).

Tais motivos levam à necessidade de alternativas mais sustentáveis para a etapa de separação dos ésteres. As mais efetivas e com potencial de substituir a lavagem a úmido são as lavagens a seco, como a filtração com a utilização de membranas cerâmicas, que a depender do processo pode economizar de 50% a 90% o volume de água utilizado (Cavallari, 2012). A utilização da membrana elimina as etapas de decantação e lavagem aquosa, tornando esse método ainda mais atrativo para o processo, pois economiza tempo, investimento e gera menos efluentes (GOMES, 2013).

A membrana opera baseada na exclusão por tamanho, formato e peso molecular das partículas filtradas de acordo com os poros de cada tipo de membrana. Dessa forma, a temperatura do óleo, a pressão aplicada, o tamanho dos poros da membrana e o tipo de álcool utilizado desempenham um papel crucial no resultado dessa etapa, visando alcançar um rendimento satisfatório (ATADASHI, *et al.*, 2011). A Figura 8 ilustra a interação da solução filtrada com a superfície da membrana, resultando na sua separação.

Figura 8 - Representação da separação por exclusão de tamanho



Fonte: Adaptado de Gomes, Arroyo e Pereira (2011)



Para o processo de purificação onde há solventes orgânicos, como na indústria de biodiesel, o mais recomendado é a membrana cerâmica de alumina e zircônia ( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ), pois as membranas orgânicas e poliméricas tendem a expandir, interferindo na conformação dos poros e, por consequência, na qualidade do produto gerado (TAKETA, *et al.*, 2009).

Desse modo, a corrente de mistura reacional com adição de água acidificada, fator que será descrito no tópico seguinte, é filtrada tangencialmente pelas membranas tubulares cerâmicas de ultrafiltração com tamanho de poros de 0,05  $\mu\text{m}$  presentes dentro de um módulo de membranas que é operado a 1,0 bar de pressão em um fluxo de 60  $\text{kg/h.m}^2$ . Essa informação será utilizada em etapas futuras de dimensionamento do módulo de filtração.

Após a diminuição do fluxo devido ao entupimento dos poros (*fouling*), a limpeza do módulo de membrana é realizada por meio da inversão do fluxo (*backflushing*) utilizando uma solução de água e detergente operada em fluxo inverso ao do processo de produção até que ocorra a desobstrução dos poros e, posteriormente, é feita a utilização de uma solução de limpeza de NaOH para total remoção de resíduos (GOMES, 2010).

Segundo Baker (2004), as membranas podem ser utilizadas em ciclos sucessivos até que o fluxo seja diminuído por conta do entupimento dos poros. Em geral, estima-se que a vida útil da membrana cerâmica seja de 2 a 3 anos.

### 5.3.1 Fatores que Influenciam a Separação

Um desafio importante na utilização de processos com membranas é a redução do fluxo de permeado por conta da polarização da concentração e incrustação (*fouling*). O *fouling* se caracteriza pela torta de incrustação formada na superfície da membrana. Esse fenômeno aumenta a resistência ao fluxo de permeado e resulta no declínio desse permeado com o tempo (GOMES; ARROYO; PEREIRA, 2013).

De acordo com Gomes (2012), a adição de água acidificada na mistura reacional gera emulsões, que auxiliam na formação das micelas, aumentando a retenção do glicerol pela membrana, além de minimizar o *fouling*. Em sua pesquisa, a condição de solução ácida (0,5% HCl) com uma proporção de 10% em relação à massa total da mistura, mostrou-se mais eficaz na retenção da fase polar que contém substâncias polares como glicerol e outras impurezas, além de diminuir a formação de incrustações na membrana.

Outro fator importante é a facilidade de escalonamento do processo de purificação da mistura reacional por membranas, através do dimensionamento de um módulo tubular de membranas que atinja o fluxo elevado desejado e atenda à demanda de produção (HABERT, *et al.*, 2006).

#### 5.4 Biodiesel

Conforme as diretrizes estabelecidas pela ANP, conforme mencionado no Anexo A, o biodiesel deve cumprir certas especificações para ser comercializado. Essas especificações são resumidas de maneira simplificada na Tabela 1 abaixo.

**Tabela 1 - Especificações do biodiesel**

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	ABNT NBR
Teor de água, máx.	mg/kg	200	-
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341
			15771
Triacilglicerol	% massa	0,20	15342
			15344
			15908

**Fonte: Adaptado de Legisweb (2014)**

Os parâmetros apresentados acima são os principais e garantem o controle de qualidade do produto. O teor de água, teor de éster, glicerol livre e triglicerídeo influenciam na combustão e podem causar danos ao motor se apresentados em quantidades elevadas. Já a queima do fósforo presente no biodiesel na forma de fosfatídeos causa danos ao meio ambiente e o índice de acidez influencia na quantidade de sabões na mistura. Uma baixa concentração de ésteres dificulta a ignição nos motores e pode resultar na formação de depósitos de carbono nos cilindros (KRAUSE, 2008).

A queima do glicerol em temperaturas elevadas resulta na liberação da acroleína, que é uma substância tóxica (SANTOS, 2019). Nesse sentido, torna-se imprescindível a necessidade de se implementar um processo de purificação eficiente, visando reduzir o índice de glicerol presente no biodiesel para valores inferiores a 0,02%, conforme estabelecido pela ANP. Essa medida é essencial para garantir que o produto final esteja em conformidade com os padrões de segurança estabelecidos, preservar a qualidade do biodiesel produzido e evitar potenciais riscos ambientais e para a saúde humana.

Desse modo, será considerado que o biodiesel purificado após a filtração com membranas apresentará teor de glicerol livre inferior a 0,02%, valor requerido para comercialização e que corrobora com dados obtidos por GOMES (2012).

Para a remoção de etanol e águas residuais nesse biodiesel, a corrente de permeado passa por uma a evaporação flash onde o etanol será recuperado e retornado à usina de álcool a fim de mitigar custos com o etanol anidro requerido para o processo. Essa logística reversa é realizada considerando que o etanol recuperado é hidratado, e no processo é necessário etanol 95% v/v por conta do favorecimento de ocorrer paralelamente a reação de saponificação na presença de água (GENTIL; SERRA; CASTRO, 2012).

## 5.5 Glicerina

O glicerol, glicerina ou propano-1-2-3-triol, é um subproduto do processo de transesterificação e normalmente é recuperado devido ao seu valor comercial. A operação unitária convencional de purificação é a decantação, no caso de ésteres metílicos, ou pela centrifugação. Adicionalmente são também realizadas reações de neutralização e destilação (LORA; VENTURINI, 2012).

Existem diversos graus de glicerina disponíveis no mercado, os quais variam em termos de teor de glicerol e outras propriedades, como cor, odor e presença de impurezas. O glicerol possui aplicações na produção de medicamentos, cosméticos, creme dental, espuma de poliuretano, resinas sintéticas e ésteres de borracha. Além disso, a indústria de tabaco e alimentos também demanda quantidades significativas de glicerol e glicerídeos (KNOTHE, 2006). O valor da glicerina varia de acordo com a sua pureza, sendo cotada em sua forma bruta a R\$ 1,40/kg, a bi-destilada por R\$ 3,65/kg, enquanto a com índice de pureza maior que 99,5% pode ser vendida por até R\$ 564,00/kg (LORA; VENTURINI, 2012).

SANTOS, *et al.*, (2015) caracterizou a glicerina proveniente da transesterificação do óleo de soja com etanol e hidróxido de sódio e comparou seus resultados com uma caracterização da glicerina PA. O procedimento foi realizado visando determinar as características a serem otimizadas com o objetivo de atingir um potencial analítico da glicerina bruta. Os resultados demonstrados na Tabela 2 mostraram teores de acidez muito próximos de zero, enquanto a densidade, umidade, teor de glicerol e pH da glicerina bruta foram bem diferentes da PA, fatos que são

ocasionados pela reação ter ocorrido em meio básico e ainda conter muitas impurezas ao final da reação e separação.

**Tabela 2 - Caracterização da glicerina produzida e PA**

<b>Análise</b>	<b>Glicerina Produzida</b>	<b>Glicerina PA</b>
Acidez (%)	0,00 ± 0,01	0,26 ± 0,22
Densidade a 30°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,02	1,26
Umidade (%)	2,39 ± 0,10	1,32 ± 0,01
Teor de glicerol (%)	38,5 ± 0,04	96,3 ± 0,4

**Fonte: Adaptado de Santos, et al., (2015).**

A glicerina obtida na produção do biodiesel é uma mistura contendo várias impurezas como fosfatídeos, ácidos graxos, água, etanol, catalisador e sabão, o que a caracteriza como glicerina loira (bruta). Dessa forma, tal produto será destinado às empresas que realizem a sua purificação e a utilizem como matéria-prima. Nas indústrias têxteis, por exemplo, o glicerol é empregado com o propósito de suavizar e flexibilizar fibras têxteis. Outra aplicação ocorre na indústria tabaqueira, onde o glicerol tem sido utilizado para fortalecer as fibras do tabaco e prevenir sua quebra. Além disso, vale ressaltar outros usos, como a utilização do glicerol como lubrificante de máquinas, na fabricação de tintas e resinas, na produção de explosivos, entre outros (KNOTHE, 2006).

O álcool hidratado conforme já citado anteriormente, retorna às usinas de álcool e possibilitam uma diminuição nos custos da RENOBIO com matéria-prima (GENTIL; SERRA; CASTRO, 2012).

## **5.6 Utilidades do processo**

O vapor de aquecimento será gerado em uma caldeira aquatubular utilizando como combustível o cavaco de eucalipto, uma vez que possui um bom rendimento, baixo custo, menor risco ambiental e realiza a compensação de carbono com o seu plantio (CAVACOS, 2021). Esse cavaco de eucalipto pode ser obtido na região de Maringá, no Paraná. A produção de eucalipto tem crescido na região e desponta como opção de renda para produtores, sendo uma alternativa para o cumprimento da legislação ambiental que obriga a reserva de 20% de área rural para a preservação de matas nativas.

O vapor d'água será gerado a uma temperatura de 200°C, pressão de 16 atm e será utilizado em etapas como a transesterificação para fornecer energia e manter a eficiência, por ser uma reação endotérmica. Será utilizado, também, nos

evaporadores flash que fazem a recuperação do etanol hidratado contido no biodiesel e na glicerina após a separação por membranas.

Mesmo fazendo uma integração energética entre as correntes quentes e frias, que visa o máximo de economia na hora da queima de cavaco nesta planta industrial, e que será apresentada mais adiante (no tópico 7.8), ainda será necessário vapor d'água para atingir a temperatura ideal em alguns tanques de mistura. Como os tanques de mistura do catalisador NaOH + etanol e de óleo degomado que precisam estar a 45°C para entrarem no reator de transesterificação (GOMES, 2012).

A água a ser utilizada na caldeira deve ser isenta de sólidos suspensos e dissolvidos, bem como gases e microrganismos. Caso não haja o devido tratamento, pode ocorrer a corrosão, presença de incrustações e arraste de minerais pelo vapor (ZARPELON, 2015). Para evitar esses danos às tubulações e equipamentos, ela passará por uma etapa de tratamento.

O tratamento é físico-químico onde realiza-se uma filtração para remover sólidos em suspensão, abrandamento e desmineralização para remoção de íons utilizando resina e desaeração térmica para retirar gases dissolvidos no fluido de aquecimento (ZARPELON, 2015).

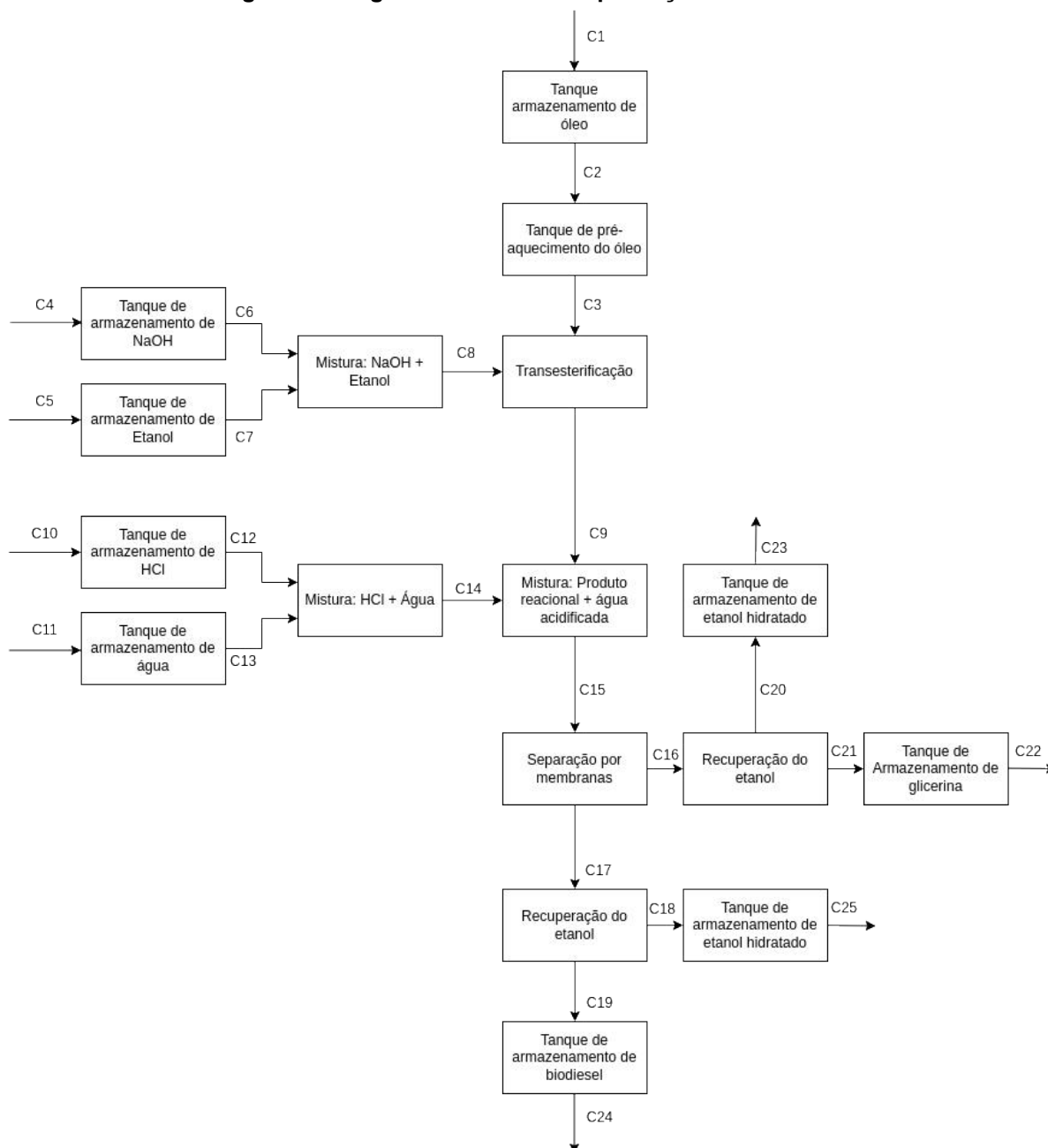
## **6 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS E BALANÇOS DE MASSA E DE ENERGIA**

Um fluxograma do processo, representado por um diagrama de blocos é apresentado na pela Figura 9 para melhor entendimento da descrição das etapas, bem como os balanços de massa e de energia necessários para a obtenção de 2.969,32 kg/h de biodiesel, que representa, conforme estudos de Gomes (2012), 98% de conversão do óleo degomado alimentado alcançada neste processo, conforme especificações estudadas. Posteriormente, o processo será otimizado com uma integração energética a fim de minimizar custos variáveis com cavaco e vapor d'água.

### **6.1 Descrição das etapas**

A Figura 9 representa todas as etapas que a matéria-prima passa, desde a sua chegada na planta de produção de biodiesel até a sua distribuição para o mercado consumidor.

**Figura 9 - Diagrama de blocos da produção do biodiesel**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

No processo são utilizadas matérias-primas que são produzidas nas proximidades da planta, em um raio de aproximadamente 64 km de distância (GOOGLE MAPS, 2023). Pela pouca distância dos possíveis fornecedores, os insumos chegarão de acordo com a demanda da empresa e a capacidade de estoque, sendo que os líquidos por meio de caminhões tanque e o NaOH, que será utilizado no estado sólido, em caminhões e embalagens devidamente sinalizadas e dentro das regulamentações para produtos perigosos que exigem a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2019).

O recebimento das matérias-primas, estão representadas pelas correntes C1, C4, C5, C10 e C11, que serão armazenadas em tanques de aço inox, na temperatura ambiente até a sua utilização. O material particulado presente no óleo será removido por decantação no próprio tanque pelo efeito da gravidade, melhorando as condições obtidas nas análises de verificação que passarão todas as cargas. Como possui matéria-prima classificada como líquido inflamável e combustível, a instalação seguirá as instruções Norma de Procedimento Técnico - 025 Parte 1 aprovada pelo Corpo de Bombeiros do Paraná (2012).

Para chegar no reator o óleo degomado deve ser aquecido até atingir 45°C, temperatura ideal para ocorrer a transesterificação, assim como a mistura de hidróxido de sódio (98%*m/v*) com etanol (99,5% *v/v*). Esta mistura deve ser realizada antes de ir para o reator, sendo que a vazão de NaOH será de 1% em relação à massa de óleo na corrente C6, e o etanol estará na proporção molar de 7,5:1 em relação ao óleo degomado na corrente C7, servindo para a solubilização do catalisador alcalino (GOMES, 2012).

Na transesterificação, os reagentes residirão no tanque encamisado de aço inox para manter a temperatura de 45°C por uma hora até toda a formação dos produtos. Para melhor aproveitamento de tempo e produção, um esquema de alternância será realizado, de modo que enquanto um produto reacional estiver passando pelas membranas para separação do éster e da glicerina o outro reator estará em funcionamento, garantindo assim, uma produção contínua de 24 horas por dia, com o auxílio de válvulas.

Após a reação, a corrente de mistura reacional (C9) é encaminhada para um tanque onde se juntará com uma solução aquosa de 0,5% *v/v* de ácido clorídrico (C14). Essa corrente representa 10% em massa da corrente dos produtos da transesterificação e chegará aquecida a 75°C para quando entrar em contato com a corrente C9, num tanque de mistura, entrarem em equilíbrio térmico de 50°C. As temperaturas foram encontradas utilizando a ferramenta Solver do Excel e, segundo Gomes (2012), a separação realizada por membranas por exclusão de tamanho de partícula tem melhor rendimento, após variados testes, nesta temperatura indicada.

A corrente C15, que contém a água acidificada junto com a mistura reacional, passa pelos módulos de membranas nas condições especificadas e, após a separação, resulta nas correntes de permeado (C17), com alto teor de ésteres, e de concentrado (C16), com elevado conteúdo de glicerol. No entanto, essas correntes



ainda contêm excesso de etanol e água, os quais devem ser removidos para assegurar a conformidade do produto final com as especificações estabelecidas pela ANP.

Resolvendo esse problema, as correntes C16 e C17 passam por evaporadores *flash* separadamente, sendo que a pressão de saturação e a temperatura de bolha das correntes, respectivamente, são de 1,55 atm a 89°C, e 1,13 atm a 81°C. As condições de operação dos evaporadores *flash* foram obtidas por meio da ferramenta Solver de um software.

De um evaporador sairão as correntes C19, contendo o biodiesel, e a C18, contendo o etanol hidratado, que serão armazenados em tanques de aço inox. Do outro evaporador as correntes C21, contendo glicerina, e a C20 contendo etanol hidratado, também serão armazenadas em tanques de aço inox.

O etanol recuperado será destinado a usinas de álcool estabelecendo uma parceria econômica e, por consequência, não sendo um resíduo a ser tratado. Já o catalisador será removido na etapa de separação e irá compor a glicerina, não sendo feita a sua recuperação.

A armazenagem do biodiesel deve seguir algumas exigências para manter a qualidade durante o tempo de estocagem. Ele é compatível com o aço inoxidável ou com o alumínio e precisa ser mantido em ambientes limpos, secos, protegidos de luz e temperaturas extremas. Estas condições são necessárias também para o transporte, que será realizado via rodoviária, por caminhões tanque das distribuidoras (ARANDA, 2012).

Mantendo-o nestas condições, o biodiesel pode ser armazenado por mais de um ano sem quaisquer problemas, no entanto uma resolução da ANP diz que após 30 dias sem ser comercializado ele precisa de um novo Certificado de Qualidade (LOMBARDO, 2012).

## **6.2 Balanços de Massa e de Energia do Processo**

O balanço de massa da reação foi feito a partir do princípio da conservação de massa apresentado na equação 1. Levando em consideração a estequiometria e a extensão de reação, em que 1 mol de óleo reagindo com 3 mol de etanol produzindo 3 mols de ésteres (biodiesel) e 1 mol de glicerol como subproduto. As Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram usadas para a realização dos cálculos, conforme exemplificado no

Apêndice A. Considerou-se também uma conversão de 98% da reação de transesterificação (GOMES, 2012).

$$\Sigma Entra - \Sigma Sai + \Sigma Gerado - \Sigma Consumido = Acúmulo \quad (1)$$

$$n^{\circ} \text{ de mols} = \frac{\text{massa}}{MM} \quad (2)$$

$$\xi_{\text{máx}} = \frac{n^{\circ} \text{ de mols final} - n^{\circ} \text{ de mols inicial}}{v} \quad (3)$$

$$\xi_{\text{real}} = \xi_{\text{máx}} * \text{rendimento} \quad (4)$$

$$n = n_i - v * \xi_{\text{real}} \quad (5)$$

$$\% \text{mássica} = \frac{\text{massa}}{\text{massa total}} * 100\% \quad (6)$$

O cálculo do balanço de energia foi realizado utilizando a Equação Geral do Balanço de Energia para um sistema aberto em estado estacionário, sendo obtido pela soma das energias: potencial ( $E_P$ ), cinética ( $E_C$ ), e interna ( $H$ ) (ÇENGEL, BOLES, 2013).

$$\Delta E_C + \Delta E_P + \Delta H = 0 \quad (7)$$

Para um determinado equipamento, considerando as entradas e saídas do sistema, é possível representar o acúmulo de energia ( $dE/dt$ ) pela Equação 8:

$$\frac{dE}{dt} = Q - \dot{\omega} + \Sigma F (E_C + E_P + H)_{\text{entra}} - \Sigma F (E_C + E_P + H)_{\text{sai}} \quad (8)$$

Onde  $Q$  representa o calor transferido entre o sistema e a vizinhança desse sistema,  $F$  representa a vazão molar do fluido e  $\dot{\omega}$  representa a transferência de energia realizada por trabalho de eixo (ÇENGEL, BOLES, 2013).

Como a maioria dos processos da RENOBIO operam em regime permanente, e sabendo que em processos químicos pode-se assumir que os  $\Delta E_C$  e o  $\Delta E_P$  são desprezíveis no processo, foi obtida a seguinte simplificação:

$$0 = Q - \dot{\omega} + \Sigma F(H)_{\text{entra}} - \Sigma F(H)_{\text{sai}} \quad (9)$$

Detalhando melhor a Equação 9, e abrindo os termos de energia interna do somatório, foi possível determinar a Equação 11:

$$0 = \dot{Q} - \dot{\omega} + \sum F_{entra} C_p (T_{entra} - T_{ref}) - \sum F_{sai} C_p (T_{sai} - T_{ref}) \quad (10)$$

Neste contexto,  $T$  simboliza a temperatura e  $C_p$  denota o calor específico, que é uma característica termodinâmica que quantifica a quantidade de energia térmica requerida para aumentar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em um grau Celsius (ou Kelvin) quando a pressão é mantida constante.. O calor específico a pressão constante é uma característica intrínseca de cada substância e varia de acordo com a natureza e composição da mesma (ÇENGEL, BOLES, 2013). Podem ser apresentadas outras modificações da Equação 10 com base nas condições operacionais do volume de controle analisado. Por exemplo, se a transferência de trabalho de eixo for desconsiderada, haverá apenas a troca de calor sensível e/ou latente com as vizinhanças, resultando na seguinte Equação 11:

$$\dot{Q} = \sum F_{entra} C_p (T_{entra} - T_{ref}) - \sum F_{sai} C_p (T_{sai} - T_{ref}) = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) + \sum F_j \cdot \lambda_j \quad (11)$$

Considerando o coeficiente  $\lambda_j$  como a entalpia de mudança de fase, quando não há troca de calor latente, que corresponde à energia necessária para a mudança de fase, a equação pode ser simplificada para a Equação 13. Essa simplificação é válida quando há apenas uma entrada e uma saída no sistema e não há acúmulo de massa:

$$\dot{Q} = \sum F_{entra} C_p (T_{entra} - T_{ref}) - \sum F_{sai} C_p (T_{sai} - T_{ref}) = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) \quad (12)$$

Nos equipamentos em que ocorre reação química, o balanço de energia também é influenciado pela energia interna de reação ( $\Delta H_{rx}$ ), resultando na seguinte variação:

$$\dot{Q} = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) + F_{i0} X \Delta H_{rx}(T) \quad (13)$$

Onde assim como nos tópicos anteriores o  $F$  representa a vazão molar do fluido,  $C_p$  o calor específico,  $T$  a temperatura,  $\Delta H_{rx}$  a entalpia de reação e  $X$  representa a conversão dos reagentes (ÇENGEL, BOLES, 2013).

Os regimes operacionais e equações adotados para os cálculos dos balanços de massa e energia foram selecionados com base nas condições operacionais específicas de cada processo.

Nos tanques de aquecimento e trocadores de calor, onde os processos ocorrem em regime permanente e isotérmico, foi utilizada a Equação 13 para os

cálculos. Enquanto isso, no reator em batelada, que opera em regime transiente e isotérmico, empregou-se a Equação 14 nos cálculos dos balanços de energia. Para o caso dos evaporadores, que envolvem a mudança de fase da água, considerou-se o regime permanente e isotérmico, utilizando a Equação 12 para os balanços de energia. Essas equações serão posteriormente aplicadas aos balanços de massa e energia de cada processo, selecionando a equação apropriada com base nas condições operacionais correspondentes.

### 6.2.1 Aquecimento do Óleo Degomado

Para que o rendimento esperado da reação seja obtido, é necessário que o óleo degomado seja pré-aquecido a 45 °C antes de ser inserido no reator de transesterificação (GOMES, 2012). Considerou-se uma alimentação de óleo degomado de 3.000 kg/h, sendo que a vazão de entrada neste tanque será a mesma de saída. A proporção dos componentes do óleo degomado se divide em 98,93% de triglicerídeos, 0,87% de ácidos graxos livres, 0,13% de água e 0,07% de impurezas (GOMES, 2012).

Para obtenção da energia necessária no tanque considerou-se apenas a contribuição do calor sensível, que depende da soma das vazões mássicas de entrada menos a de saída, assim como do calor específico de cada componente das correntes e da diferença entre ela e a temperatura que se deseja alcançar.

Após os cálculos, que estão dispostos no Apêndice A e B, utilizando dados do ANEXO B, foram obtidos os dados representados na Figura 10.

**Figura 10 - Balanços de massa e energia do aquecimento do óleo degomado**

Corrente 2 - Óleo Degomado		
Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)
Água	3,81	0,13
AGL	26,10	0,87
Impurezas	2,07	0,07
Óleo/TAG	2.968,02	98,93
<b>Soma</b>	<b>3.000,00</b>	<b>100,00</b>
T2	295,15	K
P2	1	atm

↓

Corrente 3 - Óleo Degomado Aquecido		
Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)
Água	3,81	0,13
AGL	26,10	0,87
Impurezas	2,07	0,07
Óleo/TAG	2.968,02	98,93
<b>Soma</b>	<b>3.000,00</b>	<b>100,00</b>
T3	318,15	K
P3	1	atm

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para manter a vazão mássica de 3000 kg/h na temperatura desejada de 45°C na saída do tanque foi necessário utilizar 69,3 kg/h de vapor, que fornece 156.476,96 kJ/h de energia para esse equipamento.

### 6.2.2 Aquecimento da Mistura Alcalina

Os dados de referência de Gomes (2012) foram empregados para o balanço de massa nesta etapa, sendo a mistura composta de 1% de NaOH, em relação à vazão mássica de óleo, e etanol na razão molar de 7,5:1 em relação à proporção molar do mesmo óleo. O tanque encamisado de aço inox que contém a mistura alcalina é o equipamento responsável por pré-aquecer essa mistura até os 45 °C. As mesmas considerações para o balanço de energia feitas no aquecimento do óleo degomado foram adotadas para essa etapa.

Na Figura 11 estão representados os resultados dos cálculos realizados no Apêndice A.

**Figura 11 - Balanços de massa e energia da mistura alcalina**

Corrente 6 - NaOH			Corrente 7 - Etanol		
Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)	Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)
NaOH	30,00	100,00	Etanol	1.188,19	100,00
Soma	30,00	100,00	Soma	1.188,19	100,00

T6	295,15	K	T7	295,15	K
P6	1	atm	P7	1	atm

↓

Mistura básica

↓

Corrente 8 - Mistura Básica		
Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)
NaOH	30,00	2,46
Etanol	1.188,19	97,54
Soma	1.218,19	100,00

T8	318,15	K
P8	1	atm

Fonte: Autoria própria (2023)

Para esta etapa, será necessário a utilização de 30,7 kg/h de vapor da caldeira para aquecer a corrente, que fornece 69.338,14 kJ/h de energia.

### 6.2.3 Transesterificação

Para o cálculo do balanço de massa para a etapa de transesterificação, foi utilizada a massa molar para o biodiesel calculada como sendo igual a 306,17 kg/kmol, como descrito pela Equação 7 do Apêndice A. As outras massas molares foram obtidas pela literatura, sendo a do óleo igual a 872,4 kg/kmol, a do etanol igual a 46,07 kg/kmol, e a do glicerol sendo 92,09 kg/kmol.

A corrente C9 é composta pelos produtos da reação de transesterificação, produtos da reação de saponificação, reagentes não consumidos, água e impurezas vindas do óleo de soja, com composição de 98,93% de triglicerídeos, 0,87% de ácidos

graxos livres, 0,13% de água e 0,07% de impurezas (GOMES, 2012). As impurezas presentes no óleo são fosfolipídeos, esteróis, produtos de decomposição de glicerídeos e substâncias odorantes.

Paralelamente à transesterificação, nas condições reacionais, a reação de saponificação também ocorre, de modo que os ácidos graxos livres reagem com a base formando sabões e água.

O mesmo cálculo para a reação principal foi utilizado para esta reação "indesejada" considerando um rendimento de 90% para os sabões conforme pesquisa de campo feita durante a elaboração do trabalho. As porcentagens dos componentes foram calculadas a partir das suas massas nas correntes. A Tabela 3 a seguir apresenta as massas molares dos componentes envolvidos no processo.

**Tabela 3 - Massa molar dos componentes envolvidos na etapa de transesterificação**

<b>Componente</b>	<b>Massa molar (kg/kmol)</b>	<b>Referência</b>
Óleo de soja	872,4	GOMES (2012)
AGL	283,0	MERCK (2017)
Biodiesel	303,9	GOMES (2012)
Glicerina	92,1	ISOFAR
Sabão	305,0	PERRY (2007)

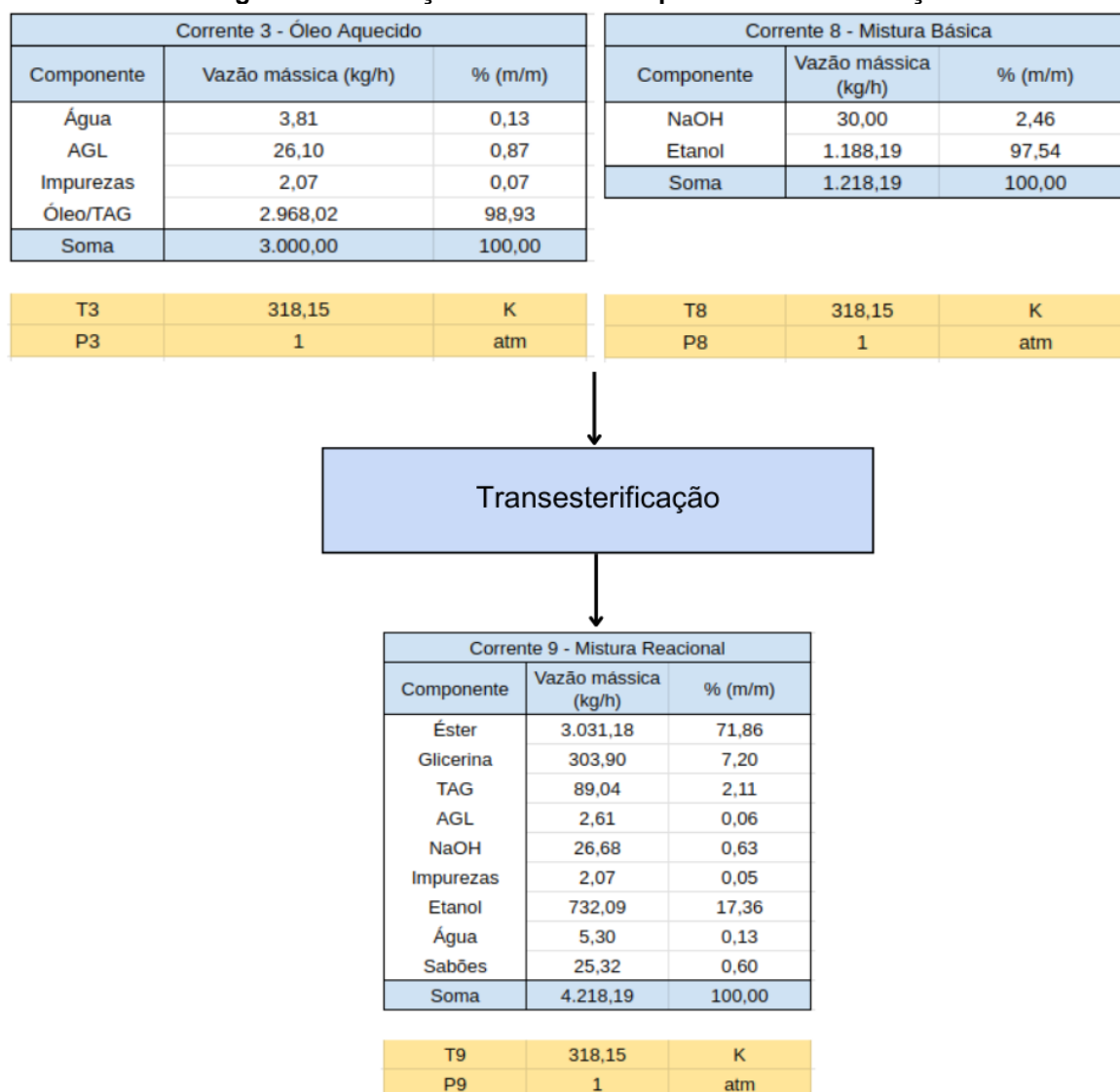
**Fonte: Autoria própria (2022)**

A estimativa da massa molecular do biodiesel foi obtida por meio do cálculo do balanço de massa da reação, utilizando os dados de massa molecular do óleo de soja, etanol e glicerina, seguindo as proporções específicas da reação de transesterificação.

O Apêndice A apresenta os cálculos das quantidades de produtos formados bem como os reagentes presentes nas soluções para as reações de transesterificação e de saponificação, respectivamente, obtidos através das Equações 1, 2, 3, 4 e 5.

Para a realização dos cálculos foi considerado uma vazão mássica de entrada de óleo de soja de 3.000 kg/h, assim produzindo 71.263,68 kg/dia de biodiesel e operando durante um período de 24 horas diárias. Considerando as vazões mássicas definidas, a RENOBIO terá uma capacidade produtiva de 26.011,24 toneladas de biodiesel por ano. A Figura 12 ilustra as correntes de entrada e saída da transesterificação.

**Figura 12 - Balanço de massa na etapa de transesterificação**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

A energia necessária para esta etapa requer alguns passos além dos já descritos até então devido à influência da entalpia de reação da transesterificação, uma reação química endotérmica. Esse tipo de reação absorve calor para se deslocar para os produtos, por isso a importância do fornecimento de calor constantemente para manter o sistema isotérmico, conforme a Equação 14 (FOGLER, 2013).

A partir do desenvolvimento dos cálculos de entalpia de reação no Apêndice B, determinou-se uma variação de entalpia positiva, confirmando o caráter endotérmico, o que significa que para garantir a máxima eficiência da reação é necessário manter constante o fornecimento da quantidade de vapor igual a 3.652,39 kg/h, que irá transferir cerca de 8.247.104,31 kJ/h de energia e manter o processo isotérmico.



#### 6.2.4 Aquecimento da Mistura Ácida

Nesta etapa será preparada uma mistura de HCl (1% v/v) (C6) e água (C7), sendo o HCl responsável apenas por 0,5% dessa mistura que corresponde a 10% da vazão mássica de óleo degomado. A mesma vazão que entra é a que sai neste tanque encamisado.

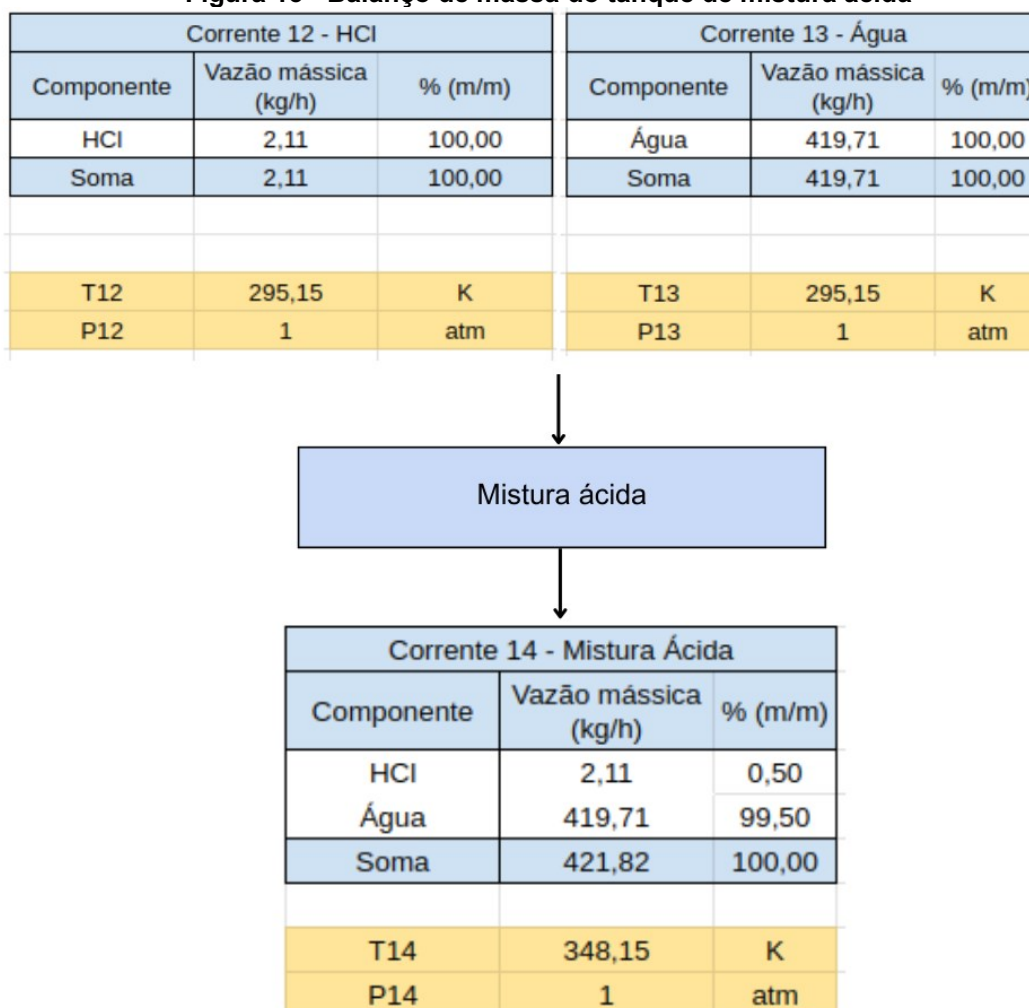
Esta corrente de água acidificada (C14) será adicionada à mistura reacional (C9) para formar uma emulsão que auxiliará na retirada de glicerina e impurezas do éster, uma vez que a glicerina é um composto polar e possui afinidade com a água acidificada, formando partículas maiores que ficarão retidas pela membrana enquanto o éster é permeado. Outra condição para o melhor rendimento da separação é a temperatura durante a separação por membranas, que deve estar a 50°C (GOMES, 2012).

A fim de alcançar essa temperatura ideal, fez-se estudos utilizando a ferramenta Solver do Excel para que a corrente C14 aquecesse de tal maneira que ao entrar em contato com a corrente C9 (que estará a 45°C) a temperatura final da mistura atingisse a condição desejada.

A temperatura encontrada para a água acidificada foi de 75°C, de modo que no tanque de mistura das correntes C9 e C14 terá a energia necessária para seguir para a separação sem ter a necessidade de aquecê-lo. Essa estratégia economiza energia, já que a vazão mássica do tanque de água acidificada é muito menor do que a vazão que escoar no tanque de mistura reacional + água acidificada.

As considerações para o balanço de energia seguem as mesmas do aquecimento da mistura básica, e resultam em uma necessidade por 41,4 kg/h de vapor, o que equivale a 93.450,18 kJ/h de energia, ambos estão dispostos no Apêndice B. Os resultados do balanço de massa estão representados na Figura 13:

**Figura 13 - Balanço de massa do tanque de mistura ácida**



Fonte: Autoria própria (2023).

A corrente C15 é direcionada aos módulos de membrana, agora com a mistura reacional resultante do tanque de transesterificação junto com a água acidificada, na temperatura de 50°C. Nessa etapa, conforme mostra a Figura 14, não foi necessário a utilização de nenhuma utilidade, pois as correntes C9 e C14 entram em equilíbrio térmico quando se misturam e já resultam em uma corrente (C15) na temperatura necessária, igual a 50°C.

**Figura 14 - Balanço de massa do tanque de reacional mais água**

Corrente 9 - Mistura Reacional			Corrente 14 - Mistura Ácida		
Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)	Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)
Éster	3.031,18	71,86	HCl	2,11	0,50
Glicerina	303,90	7,20	Água	419,71	99,50
TAG	89,04	2,11	Soma	421,82	100,00
AGL	2,61	0,06			
NaOH	26,68	0,63			
Impurezas	2,07	0,05			
Etanol	732,09	17,36			
Água	5,30	0,13			
Sabões	25,32	0,60			
Soma	4.218,19	100,00			
T9	318,15	K	T14	295,15	K
P9	1	atm	P14	1	atm

↓

Mistura ácida + produto reacional

↓

Corrente 15 - Mistura Ácida + Prod Reacional		
Componente	Vazão mássica (kg/h)	% (m/m)
Éster	3.031,18	65,33
Glicerina	303,90	6,55
TAG	89,04	1,92
AGL	2,61	0,06
NaOH	26,68	0,57
Impurezas	2,07	0,04
Etanol	732,09	15,78
Água	425,01	9,16
Sabões	25,32	0,55
HCl	2,11	0,05
Soma	4.640,01	100,00
T15	323,15	K
P15	1	atm

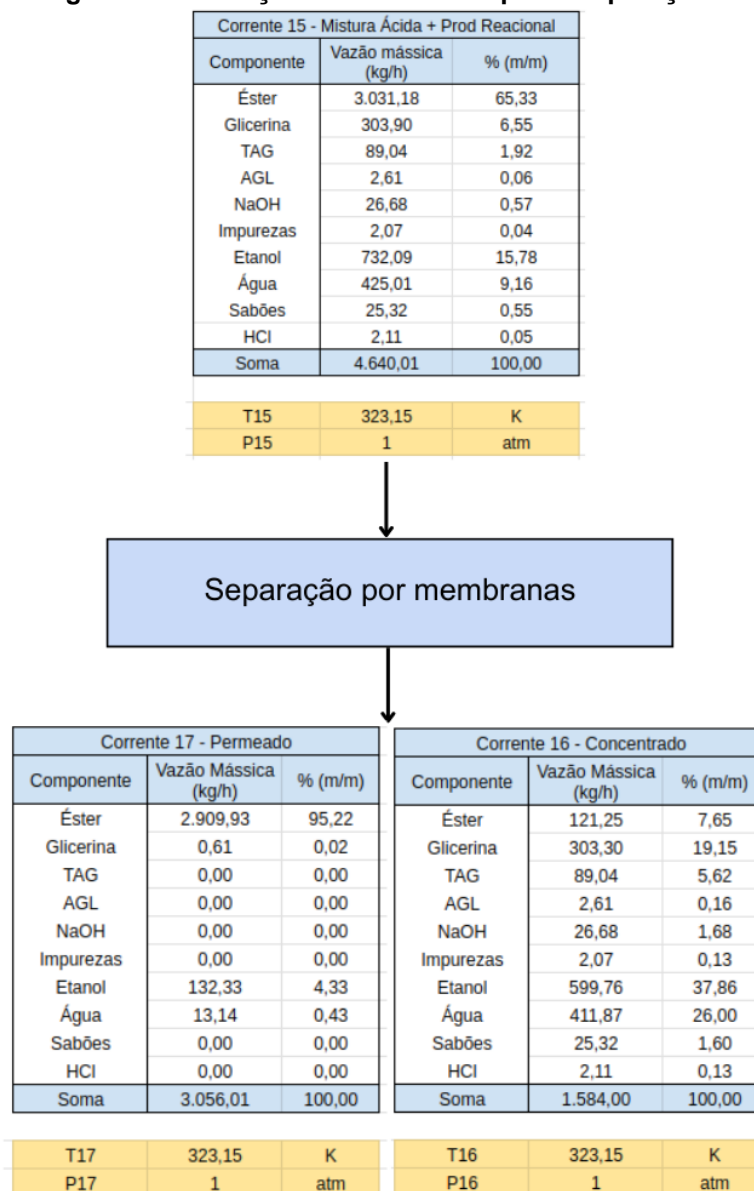
Fonte: Autoria própria (2023).

### 6.2.5 Separação

Segundo Gomes (2012), a membrana é capaz de reter 99,8% de glicerina e, assim, serão geradas as correntes C16 e C17. O fator de concentração, que é definido como a razão entre o volume inicial da mistura e o volume do concentrado, para a adição de 10% de água acidificada foi de aproximadamente 1,4, o que representa o melhor resultado relatado na literatura até o momento, gerando maior eficiência na separação (GOMES, 2012). No entanto, mesmo com esse alto fator de concentração, é importante destacar que ainda pode haver uma quantidade significativa de ésteres presente na corrente de concentrado.

A Figura 15 a seguir ilustra as correntes de entrada e saída na etapa de separação.

**Figura 15 - Balanço de massa na etapa de separação**



Fonte: Autoria própria (2022)

A composição da corrente C17 foi obtida a partir do trabalho de Gomes (2012), onde a membrana cerâmica foi efetiva na purificação do biodiesel e na separação das fases, retirando TAG, AGL, NaOH, impurezas, sabões, HCl e glicerina (C16). Assim, C17 será composta apenas de 95,22% éster, 0,02% glicerina, 4,33% etanol e 0,43% água.

Nesta etapa, devido ao isolamento térmico do módulo, não há variação de temperatura, o que implica que as correntes que atravessam as fronteiras das membranas possuem a mesma entalpia.

Entretanto, é estabelecido pela ANP um limite mínimo de 96,5% de ésteres no combustível e uma umidade de 0,02% em massa, portanto, uma etapa de evaporação flash é necessária para remover o etanol e a umidade presente na corrente. Semelhante, para a corrente de glicerina, tal operação deverá ser realizada também para futura comercialização.

#### 6.2.6 Recuperação do Etanol do Biodiesel

A remoção de etanol e águas residuais do biodiesel produzido ocorrerá por meio da evaporação *flash*, que é um processo de separação dependente de um aumento de pressão que em certa temperatura forma líquido e vapor saturado em equilíbrio, sendo o evaporado composto pelos componentes mais voláteis, que neste caso são a água e o etanol, e posteriormente serão condensados (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

Para obtenção das temperaturas no ponto de bolha, ou seja, a temperatura na curva de líquido saturado onde o líquido analisado inicia a transição para a fase gasosa, utilizou-se a ferramenta Solver do Excel, que num processo iterativo com a equação de Antoine, previu tanto a temperatura quanto a pressão de operação para os dados de vazão molar da corrente C17, que alimenta o equipamento. As condições encontradas foram de 81°C a 1,2 atm (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

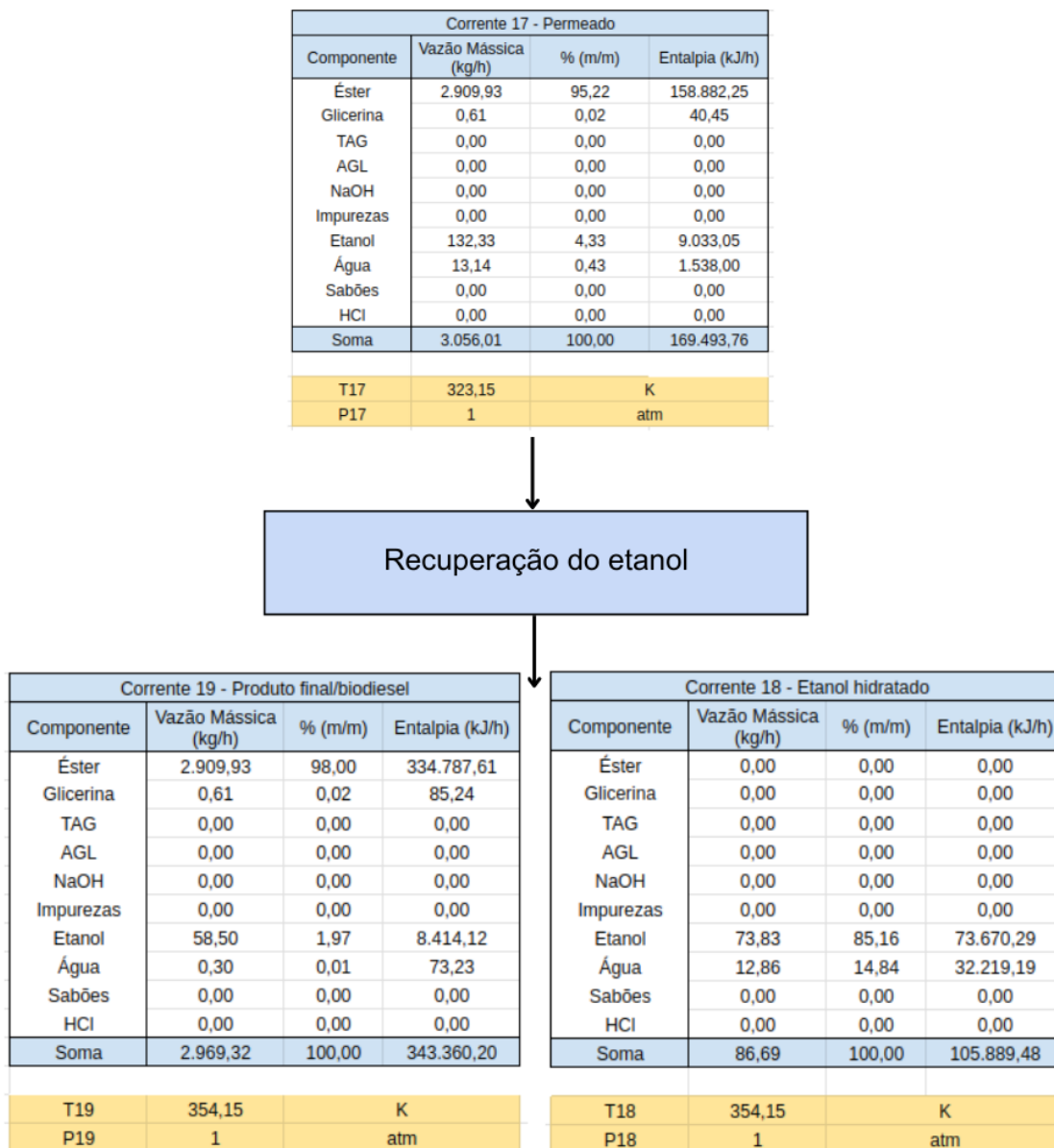
Os cálculos para o balanço de massa foram realizados considerando a porcentagem mássica máxima permitida de água no produto final (abaixo de 200 ppm) e levando em consideração que 55,8% do etanol seja evaporado. A vazão mássica de éster na corrente C19 será mantida constante.

O produto final apresenta os parâmetros exigidos pela ANP, uma vez que a sua pureza é de 98% e com apenas 0,02% de glicerina em massa na sua composição.

Para analisar o quanto de energia é necessária para elevar a temperatura do sistema da referência até 81°C os cálculos foram um pouco diferentes das demais etapas, visto que será necessária uma quantidade a mais de energia para a mudança completa de fase do etanol e da água para o estado de vapor, o calor latente influenciará nas entalpias. Portanto, foi determinada uma vazão mássica igual a 123,9 kg/h de vapor para fornecer 279.755,92 kJ/h de energia.

Na Figura 16 estão dispostas as correntes de entrada de saída do equipamento contendo os resultados calculados no Apêndice B.

**Figura 16 – Etapa de recuperação do etanol do permeado**



Fonte: Autoria própria (2022)

### 6.2.7 Recuperação do Etanol da Glicerina

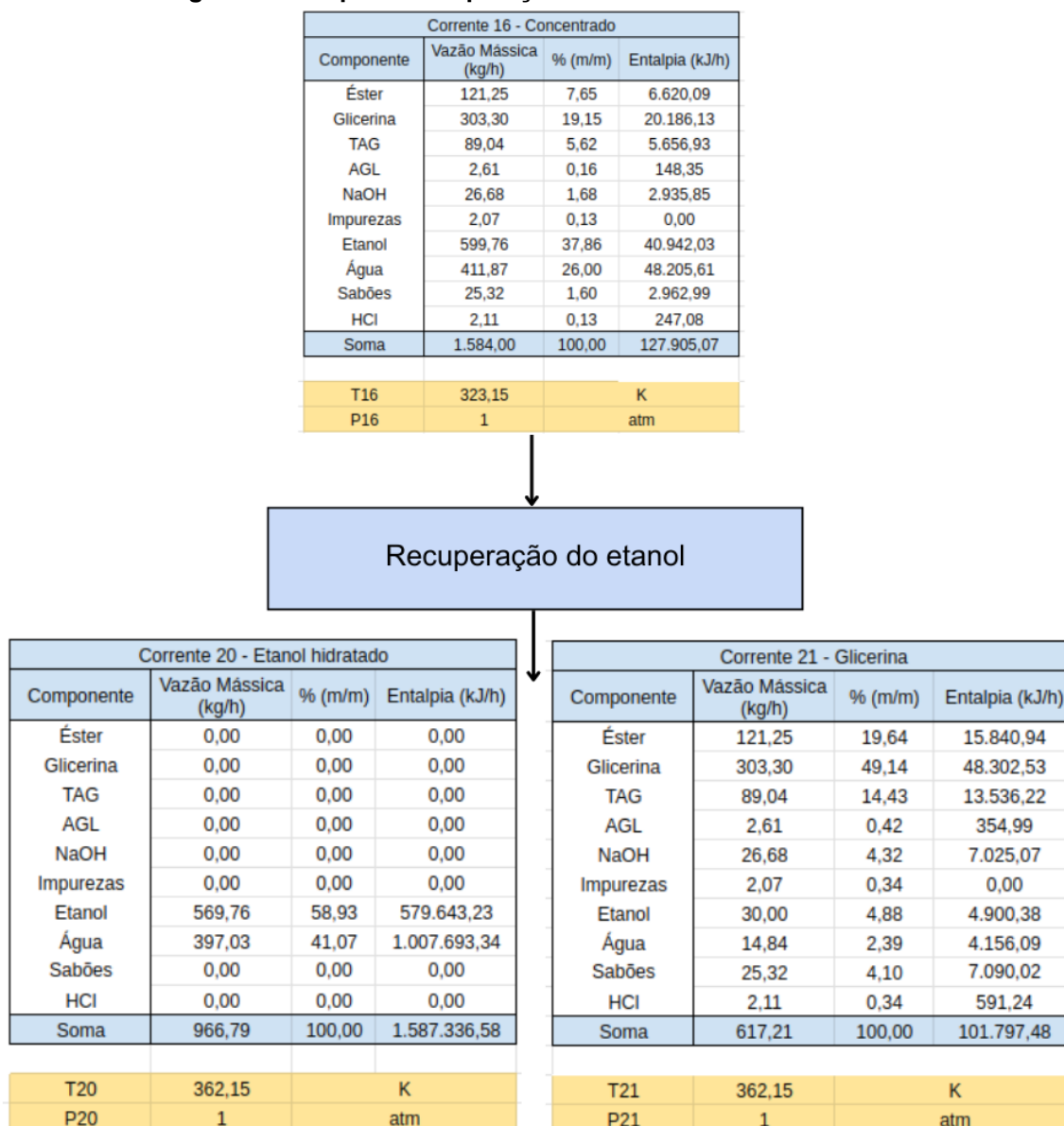
Considerou-se um teor de umidade de 2,39% em massa na C21 (Santos, *et al.*, 2015), obtendo assim, as composições das vazões mássicas de cada componente que foi utilizado no balanço de energia apresentado no Apêndice A.

A mesma avaliação da recuperação de etanol hidratado na corrente de biodiesel foi realizada na corrente de glicerina para obtenção da temperatura de bolha e pressão de saturação para operar o *flash*. Com o Solver do Excel, e de acordo com

as vazões mássicas da corrente de entrada no equipamento e os coeficientes termodinâmicos referentes à glicerina, obteve-se as condições para operação de 89 °C a 1,54 atm.

O balanço de energia também seguiu o mesmo procedimento e foi utilizada a Equação 12 para o cálculo dos valores de resultados de entalpia e, posteriormente, de energia, resultando em 691,4 kg/h de vapor para fornecer 1.561.228,99 kJ/h de energia. Os resultados estão dispostos na Figura 17 e os cálculos no Apêndice B.

**Figura 17 - Etapa de recuperação do etanol do concentrado**



Fonte: Autoria própria (2023).

### 6.3 Balanço de Massa e Energia da Caldeira

Uma caldeira aquatubular será utilizada no processo para gerar o vapor d'água necessário para o aquecimento dos tanques. Esta caldeira irá operar sob temperatura de 200°C e pressão de 1,6 MPa, que fornecerá condições de vapor superaquecido (ÇENGEL, 2022). O combustível será o cavaco de eucalipto.

A vazão mássica de água que é necessária na alimentação da caldeira para a geração de 2.717.540,68 kJ/h de energia, que é a quantidade de calor necessária para aquecer todos os sistemas do processo, foi calculada no Apêndice B, obtendo-se uma vazão mássica de 1.203,52 kg/h. A integração energética, que será descrita mais adiante, determinou uma grande economia de energia e consequentemente de vapor, reduzindo a quantidade de vapor necessária para 66,56 kg/h e a quantidade de energia para 150.294,14 kJ/h. Como na caldeira não há acúmulo ou perda de massa, a vazão mássica de saída é a mesma da entrada.

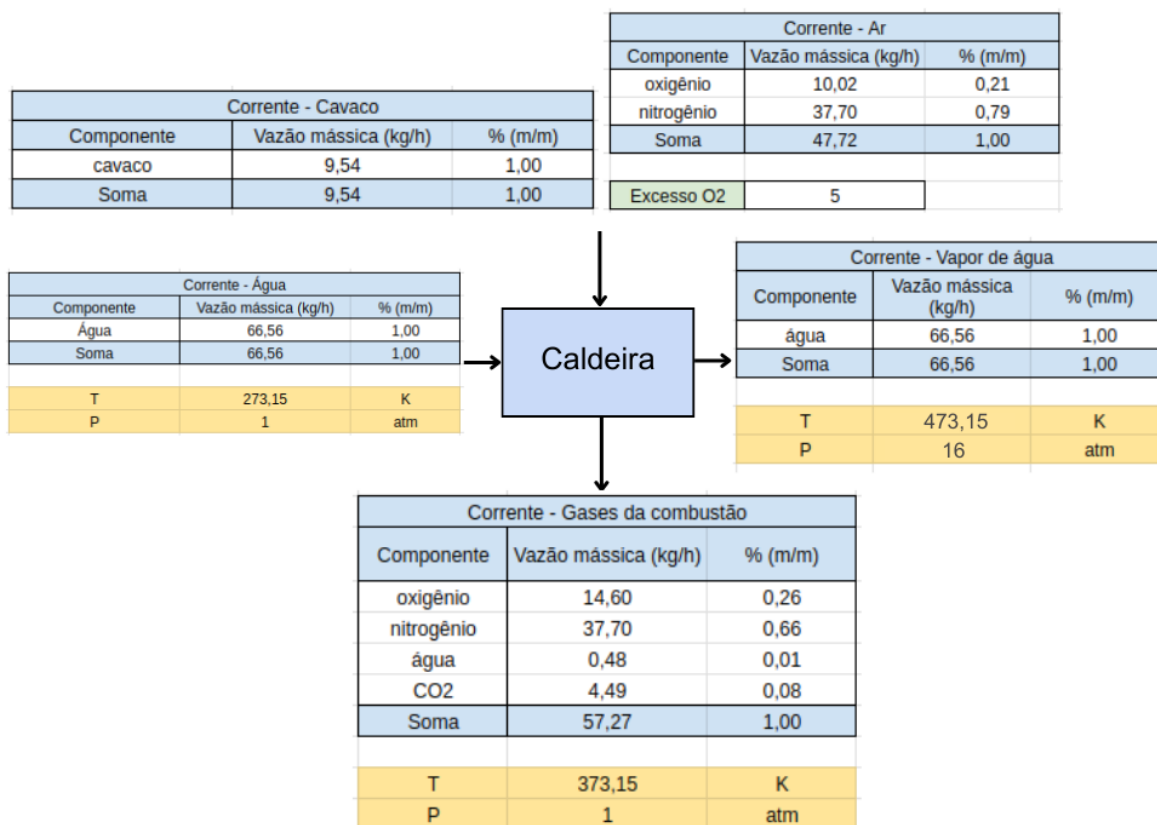
Para as vazões mássicas dos reagentes de combustão foi considerado que o cavaco de eucalipto é composto por 0,47% de carbono, 0,05% de hidrogênio, 0,02% de nitrogênio e 0,46% de oxigênio (COELHO; PIERO, 2022). Com esses valores, calculou-se a vazão mássica (kg/h) da corrente de saída dos gases de combustão do eucalipto conforme apresentado no Apêndice B.

Tendo conhecimento desta corrente e definindo a corrente de entrada de ar utilizada como fonte de oxigênio para a combustão (MORAN, 2013) como sendo 21% oxigênio e 79% nitrogênio (ÇENGEL, 2013), e garantindo a queima completa inserindo 500% de excesso de ar (SILVA SEGUNDO, 2014), obteve-se a quantidade de 170,17 kg de cavaco por hora que a caldeira precisaria ser alimentada. O valor foi definido realizando iterações com um Solver para que encontrasse uma massa de cavaco que fizesse o balanço de energia ir para zero, uma vez que a entalpia de combustão do cavaco de eucalipto é de 16.460 kJ/kg, caracterizando um sistema aberto em regime permanente.

Na Figura 18 é possível visualizar todos os valores obtidos pelos cálculos que estão detalhados no Apêndice B:



**Figura 18 - Balanço de massa da caldeira**



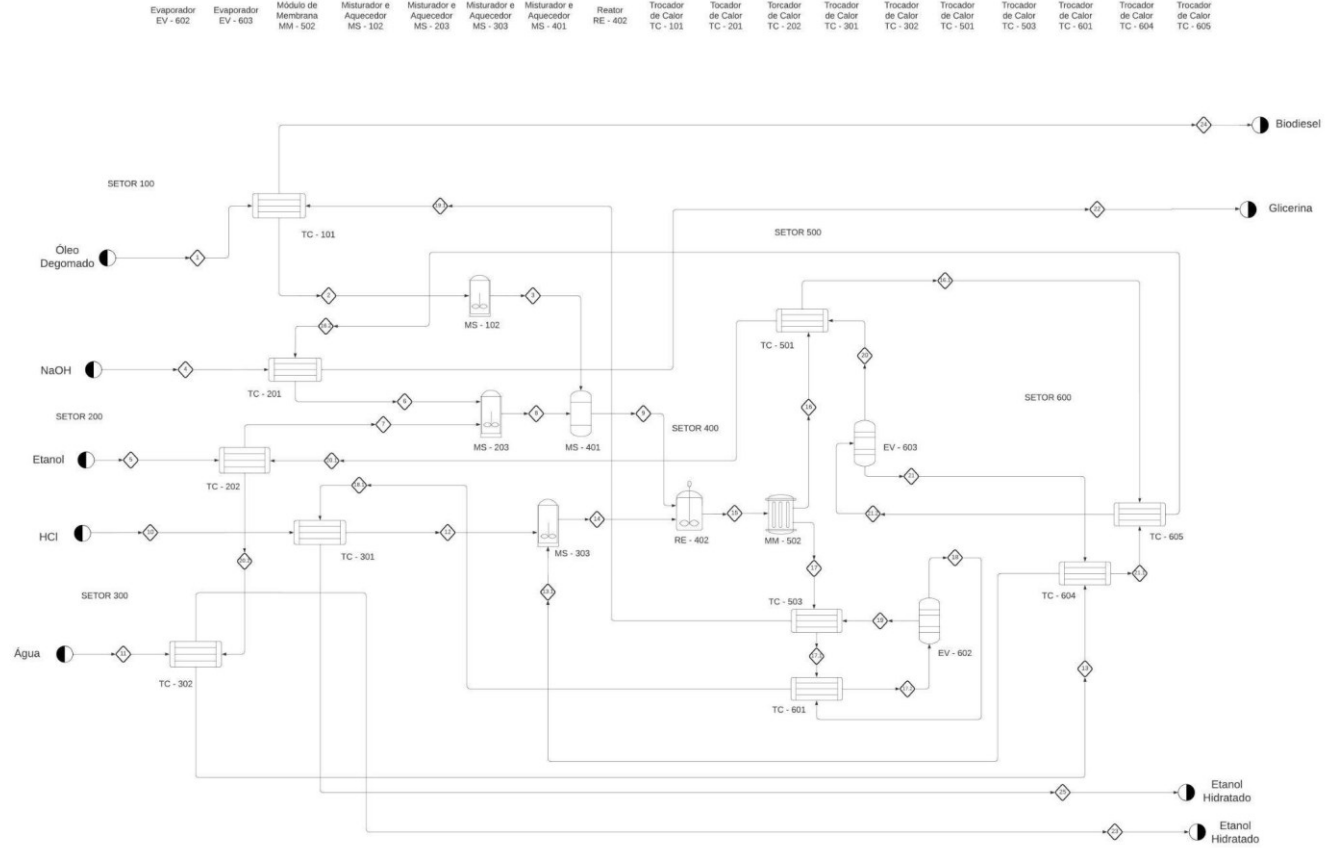
Fonte: Autoria própria (2023).

Sendo assim, foi possível determinar que para fornecer o vapor necessário para o processo, a vazão mássica de cavaco a ser queimada precisa ser igual a 9,54 kg/h. Com isso, serão gerados 66,56 kg/h de vapor e 150.294,14 kJ/h de calor pela caldeira.

## **7 DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSOS**

A fim de demonstrar detalhadamente os processos da planta da RENOBIO, fez-se necessário o uso de um Diagrama de Fluxo de Processos (PFD), que está disposto na Figura 19. Com o auxílio da plataforma de diagramas Lucidchart foi possível elaborar o diagrama completo da empresa, pensando não somente nas correntes de vazão de produtos e reagentes, mas também nas corrente de energia integrada na indústria. Juntamente com a Tabela 20, presente no ANEXO B, para melhor compreensão das correntes.

**Figura 19 - Diagrama de Fluxo de Processos (PFD) da Indústria de Biodiesel RENOBIO.**



Fonte: Autoria própria desenvolvido com o auxílio do software Lucidchart (2023).

## 8 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

A otimização energética de uma indústria é um aspecto crucial em qualquer organização, visando maximizar a utilização eficiente de energia nos processos, permitindo o reaproveitamento do calor de uma corrente quente para aquecer uma corrente fria (PERLINGEIRO, 2005). Como resultado dessa abordagem, é possível reduzir a dependência de fontes convencionais de energia, como vapor, água de resfriamento ou fluido refrigerante (SANTOS, *et al.*, 2015), contribuindo para uma maior sustentabilidade e eficiência operacional.

De acordo com Lazarini (2016), as empresas estão cada vez mais voltadas para a otimização de seus processos, buscando melhorar o desempenho operacional e reduzir os custos associados à produção de vapor. Essa abordagem visa não apenas aumentar a eficiência dos sistemas, mas também promover uma gestão mais sustentável dos recursos energéticos, alinhando-se às demandas atuais por redução do consumo e impacto ambiental. Ao adotar estratégias de otimização, as empresas podem obter benefícios econômicos e ambientais significativos, ao mesmo tempo em que se mantêm competitivas no mercado.

A técnica mais popular para integrar energia, e também escolhida pela RENOBIO, é conhecida como *Análise Pinch*, que visa recuperar o máximo de energia possível do processo, mostrando como as correntes quentes e frias podem trocar energia de forma mais eficaz. As informações para a realização da análise são as temperaturas inicial e final de cada corrente, capacidades caloríficas e taxas mássicas de cada uma (DEVEQUE, 2019).

Para isso, é necessária uma rede de trocadores de calor (RTC) e, também, a determinação da diferença mínima de temperatura ( $\Delta T_{\min}$ ), sendo o da RENOBIO igual a 10°C. Essa diferença é necessária para garantir uma menor área de troca térmica entre as correntes, garantindo maior eficiência e diminuindo custos (PERLINGEIRO, 2005).

Ao analisar o processo e a energia das correntes envolvidas, a *Análise Pinch* permite projetar essas redes de trocadores de calor com mais eficiência, gerando menor consumo de utilidades (LAZARINI, 2016). Essas correntes juntas fornecem todas as informações necessárias para a análise, e suas informações juntas constituem a chamada Tabela Problema, disposta pela Tabela 4, logo abaixo.

**Tabela 4 - Tabela Problema**

Corrente	Tipo	T entrada	T saída
C2	Fria	22°C	45°C
C6	Fria	22°C	45°C
C7	Fria	22°C	45°C
C12	Fria	22°C	75°C
C13	Fria	22°C	75°C
C16	Fria	50°C	89°C
C17	Fria	50°C	81°C
C18	Quente	81°C	22°C
C19	Quente	81°C	22°C
C20	Quente	89°C	22°C
C21	Quente	89°C	22°C

Fonte: Autoria própria (2023).

Em posse dos dados disponibilizados pela Tabela 4 e partindo da hipótese inicial de que não há fonte externa de utilidade quente, foi realizado o cálculo de cascata inviável, apresentada pela Figura 20. Nessa figura foram determinados os fluxos de calor em seus respectivos intervalos de temperatura. O menor valor de energia obtido na cascata inviável, igual a -150.294,14 kJ/h, representa o valor mínimo de utilidade quente para construir uma cascata viável, também apresentada na Figura 20. Na cascata viável o valor referente à utilidade quente encontrado é inserido em módulo no primeiro intervalo de temperatura, a fim de evitar fluxos de calor negativos, que não obedecem a Segunda lei da Termodinâmica (ÇENGEL, 2012).

**Figura 20 - Cascata Viável e Cascata Inviável**

Utilidade Quente	Intervalo	Cascata Inviável	Cascata Viável	Utilidade Fria
			150.294,14	
	A	-36.544,31	113.749,83	
	B	-21.242,77	92.507,06	
	C	-24.213,39	68.293,67	
	D	-31.266,24	37.027,43	
150.294,14	E	-37.027,43	0,00	Ponto de Pinch
	F	-106.003,26	44.290,88	
	G	-128.080,32	22.213,82	
	H	-21.866,45	128.427,69	128.427,69

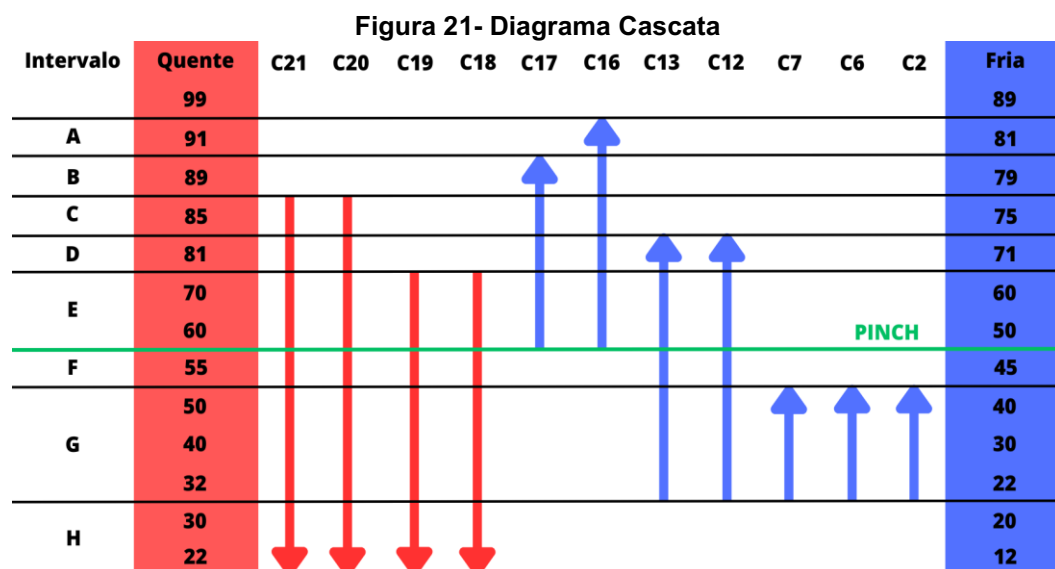
Fonte: Autoria própria (2023).

Os fluxos de calor referentes à cascata térmica viável e inviável foram ambos calculados utilizando a Equação 15:

$$Q_{i,casc} = \Delta H_{i-1} + \Delta H_i \quad (15)$$

A partir dos cálculos demonstrados, foi possível obter também o valor mínimo necessário para a utilidade fria, igual a 128.427,69 kJ/h, sendo esse o último valor obtido na cascata viável. Através desse método determinou-se a temperatura do ponto de *Pinch*, que localiza-se no intervalo em que a cascata viável é igual a zero, ou seja, entre o E e F. Na Figura 21 eles representam os valores de  $T=50^{\circ}\text{C}$  e  $T=60^{\circ}\text{C}$  (SANTOS; MORAES; ALVAREZ, 2017).

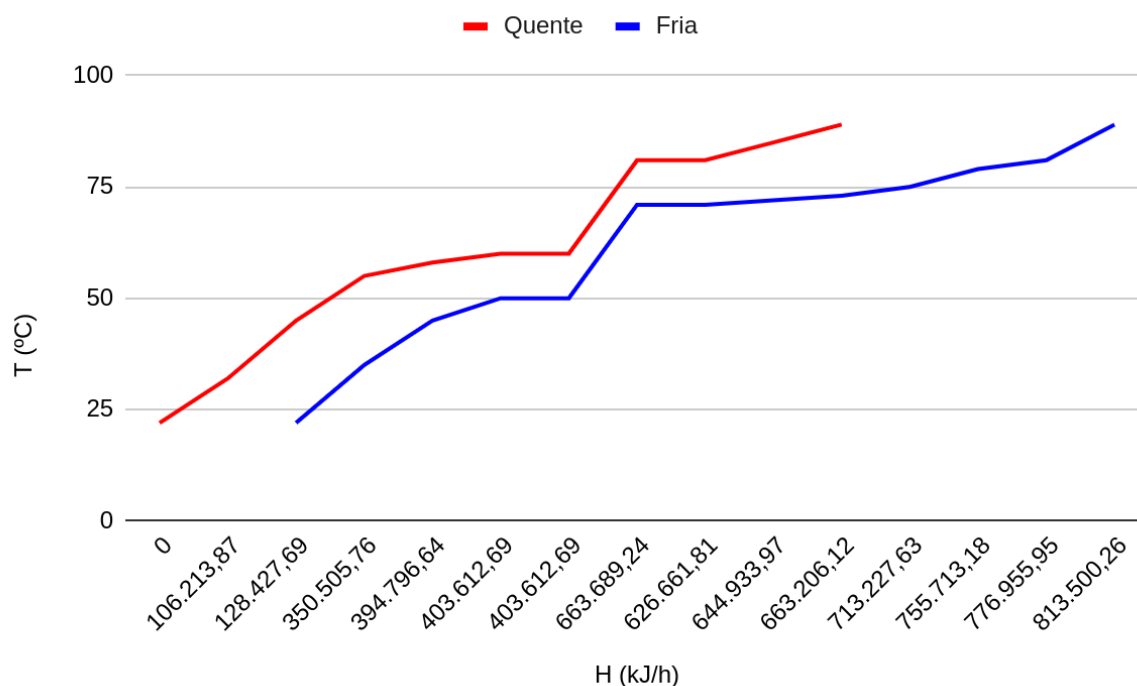
Após a determinação do *Pinch* foi possível separar o processo em duas regiões de temperatura: acima e abaixo do *Pinch*. Acima do *Pinch* tem-se uma região que precisa receber calor (utilidade quente), enquanto a região abaixo o *Pinch* é uma região com excesso de calor, que será transferido para uma utilidade fria (RESENDE, 2013). A Figura 21 ilustra as correntes em seus respectivos intervalos de temperatura, representando também a localização do ponto de *Pinch*.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Com os dados disponíveis, foi possível esboçar o Diagrama de Curva Composta (Figura 22), que ilustra uma curva quente, representando todas as correntes quentes da análise, e uma curva fria, representando todas as correntes frias. As curvas exibidas estão posicionadas em um diagrama e representam a Temperatura *versus* Entalpia Acumulada, e a região de máxima aproximação entre as duas possui valor igual ao  $\Delta T_{min}$ , sendo essa região o local onde está localizado o ponto de *Pinch*.

**Figura 22 - Curva Composta do Processo**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

De acordo com Kemp (2007), a partir de todas essas determinações é possível realizar a síntese dos trocadores de calor, que devem obedecer às seguintes regras:

- A região acima do *Pinch* não troca calor com a região abaixo do *Pinch*
- Quando a corrente for próxima ao ponto *Pinch*:
  - Acima do *Pinch*:  $mCp(Q) \leq mCp(F)$
  - Abaixo do *Pinch*:  $mCp(Q) \geq mCp(F)$
- Se a corrente não estiver próxima ao *Pinch*, não é necessário obedecer a regra anterior desde que o  $\Delta T_{min}$  seja respeitado.

A RENOBIO seguiu todas as regras para a determinação da RTC da indústria, que está disponibilizada em detalhes no Apêndice D. Após a realização de todos os cálculos, a análise determinou uma RTC com 10 trocadores de calor, requerendo agora apenas 150.294,14 kJ/h de energia da caldeira dos 2.717.540,68 kJ/h que seriam necessários sem a integração energética, gerando uma economia de energia de 94,47%.

Com isso, os únicos equipamentos que passam a possuir alguma demanda de vapor restantes são os evaporadores, requerendo agora apenas 150.073,52 kJ/h e o tanque de mistura ácida, requerendo agora os mesmos 220,61 kJ/h de antes.

## 9 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Durante a produção do biodiesel serão gerados efluentes e, para preservar e zelar pelo meio ambiente, eles devem ser gerenciados de maneira assertiva e consciente para seguir as normas de descarte como previsto em lei em âmbito nacional e estadual. Assim como o processo produtivo, o tratamento de resíduos deve ser analisado, havendo a possibilidade de descontinuidade das operações caso estejam fora das normas (FERREIRA, 2006).

A água residual dos processos utilizada em lavagens de tanques, reatores e módulos de membranas terão grandes quantidades de matéria orgânica diluída, bem como o material particulado retirado do óleo. Portanto, serão tratados por técnicas secundárias e se necessário, terciárias, como cita Rangel (2008). Haverá a instalação de lagoas de tratamento biológico, onde organismos vivos farão a oxidação tanto do óleo quanto da glicerina presente no efluente, tornando-o descartável conforme dita a Resolução CONAMA 430/2011. O processo completo do tratamento de efluente será realizado por um decantador, coagulador e lagoa biológica. Por ser um efluente de fonte vegetal, é biodegradável classificado pela sua periculosidade de Classe II - A, sendo o tratamento biológico suficiente para degradar os contaminantes oleosos presentes no efluente.

Para o tratamento da água de lavagem, é utilizado como floculador químico o Sulfato de Alumínio III ( $Al_2(SO_4)_3$ ) a 0,1 mg por litro de água de lavagem. A floculação ocorre para retirar particulados que decantam ou ficam sobrenadantes, para atConforme as orientações estabelecidas pelo CONAMA (BITTENCOURT, 2015), os efluentes sanitários e domésticos gerados pela indústria são categorizados como Resíduos Não-Perigosos (Classe II - A), conforme definido pela NBR 10004. Esses resíduos são considerados seguros, não inertes e passíveis de biodegradação. Eles são direcionados para a estação de tratamento e coleta da região. De acordo com o Art. 3º da Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, o esgotamento sanitário abrange as atividades, infraestruturas e instalações necessárias para a coleta, transporte, tratamento adequado e disposição final adequada dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou sua liberação de forma adequada ao meio ambiente (BRASIL, 2020).



## 9.1 Balanço de massa do tratamento de efluentes

Como citado anteriormente, por ser um efluente composto por matéria orgânica, será necessário um tratamento biológico para atender a Resolução CONAMA 430/2011, e através dos dados dos efluentes dispostos abaixo foi possível determinar o processo necessário para o tratamento desses efluentes gerados antes de retorná-los para os corpos hídricos próximos à indústria. O efluente que será tratado é composto pela água de lavagem dos tanques e reatores, ou seja, sua composição poderá ter a presença de todos os componentes utilizados no processo, mas sem uma vazão mássica definida de cada composto por ser uma água de lavagem.

Mantendo a responsabilidade ambiental sempre presente na RENOBIO, a empresa terá parcerias com laboratórios de análises técnica fundamentadas na Resolução CONAMA 430/2011, de acordo com a Tabela 5, legalmente habilitados para determinar a composição correta do efluente e da água tratada na lagoa para o descarte hídrico. Para melhor controle das amostras de efluentes, a empresa também terá um laboratório especializado para realizar análises biológicas e físico-químicas do efluente, de forma mais rápida e eficiente.

**Tabela 5 - Padrões da CONAMA para descarte de efluentes**

<b>Propriedade</b>	<b>Característica</b>
DBO	120 mg/L ou redução 60%
OV	50 mg/L
pH	De 5 a 9
Temperatura	40°C até 43°C
OD	4 mg/L
Sais dissolvidos	Mesma concentração do meio de descarte

**Fonte: CONAMA (2011).**

O efluente tratado será analisado, de acordo com a demanda de lavagens dos tanques, para garantir o descarte hídrico correto recomendado pela CONAMA.

Para a determinação do volume da lagoa de tratamento utiliza-se da soma dos volumes dos tanques do processo, pois sua lavagem consiste na adição e descarte de água para a retirada de resíduos que possam prejudicar o processo produtivo. Visto que, os tanques que utilizaram da lavagem serão tanques de mistura, reatores e módulo de membranas, que serão dimensionados no tópico a seguir do trabalho proposto. A somatória, com mais o dobro de garantia para casos de lavagens mais extensas, terá um volume de 82 m<sup>3</sup>.

De acordo com OCAMOTO, *et al.*, (2018) o tratamento ocorre em lagoa de lodo ativado, contendo microrganismos capazes de quebrar moléculas de matérias orgânicas presente no efluente. A estação de tratamento de efluentes (ETE) se divide nas etapas demonstradas a seguir:

- Decantador: separa quaisquer possíveis resquícios de óleo de soja provenientes da lavagem, garantindo quantidades desprezíveis para descarte;
- Coagulador e floculador: diminui a turbidez do efluente;
- Lagoa de lodo ativado: projetada para a planta e com capacidade de expansão para o tratamento bioquímico.
- Estação de eletrólise: caso necessite, o efluente passará por uma eletrocoagulação dos sólidos e emulsão do efluente e, concomitantemente, a flotação forçada das partículas agregadas, tendo capacidade de 5 m<sup>3</sup>/h. Retém o lodo resultante do tratamento em peneiras finas, que pode ser desaguado e seco em poucas horas. Trabalha em regime contínuo e emprega energia elétrica, assim como eletrodos sacrificáveis para promover a separação das fases.

## 10 DIMENSIONAMENTO E EQUIPAMENTOS DO PROCESSO

Para uma melhor eficiência no processo é necessário o estudo e pesquisa dos melhores equipamentos e projetos (dimensionamento) dos mesmos. Conforme mencionado por Barbosa (2004), é fundamental contar com ferramentas confiáveis e precisas durante o desenvolvimento e dimensionamento de equipamentos. Isso se torna indispensável para garantir resultados desejados e evitar contratempos ao longo do processo. Muitas vezes, surpresas podem ocorrer devido ao uso inadequado de parâmetros de projeto durante a fase de elaboração, destacando a importância de uma abordagem adequada nessa etapa (BARBOSA, 2004).

### 10.1 Tanques de Armazenamento

Os reservatórios de armazenamento desempenham um papel crucial ao guardar as matérias-primas conforme a necessidade de produção. A utilização de estoques, tanto de segurança quanto de cobertura para suprir uma determinada demanda durante o tempo de resposta, revela-se de extrema importância, uma vez que proporciona um nível de serviço mais elevado ao cliente e aumenta a competitividade da empresa em relação ao mercado atual (SANTOS; RODRIGUES, 2006).

Foi necessário determinar um tempo médio de estoque dos reagentes e produtos armazenados, para o cálculo de volume, mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Tempo de armazenamento das matérias-primas, produtos e subprodutos.**

<b>Matéria-Prima / Produto Armazenado</b>	<b>Tempo Médio (dia)</b>
Ácido Clorídrico	30
Biodiesel	9
Etanol	8
Etanol Hidratado	5
Glicerina	10
Hidróxido de Sódio	15
Óleo de Soja Degomado	10

**Fonte: A autoria própria, 2023.**

#### 10.1.1 Tanque de Ácido Clorídrico

Para os tanques de armazenamento, o cálculo foi realizado pela relação da vazão mássica e da massa específica, em que foi possível determinar o volume necessário em uma hora de armazenamento, mostrados na equação 16.

$$Q = \frac{m\left(\frac{kg}{h}\right)}{\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right)} \quad (16)$$

Sendo a massa específica do ácido clorídrico igual a 1.179 kg/m<sup>3</sup> e convertendo o valor para a quantidade de dias previamente definidos, é necessário um volume de 18,32 m<sup>3</sup> para 30 dias de armazenamento.

Para o melhor controle e segurança no armazenamento, e obtendo o volume útil como base, serão dois tanques de 10 m<sup>3</sup> cada, revestidos com material anti-corrosivo e com bacia de contenção em caso de vazamento, conforme mostrado na Figura 23.

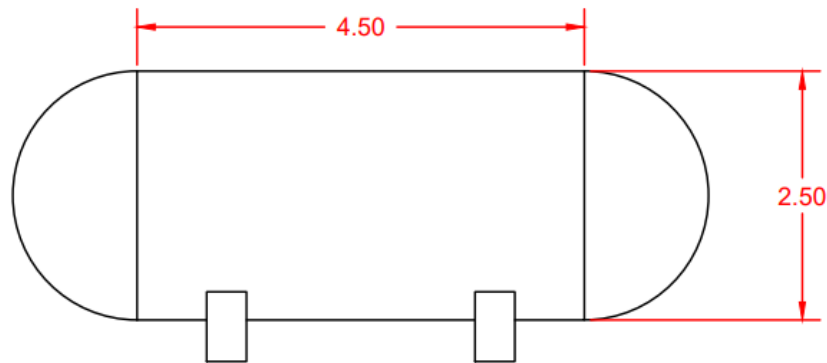
**Figura 23 - Exemplo de Tanque armazenamento de ácido clorídrico**



Fonte: Tanques e Bombas (2023).

A partir do volume útil do tanque e determinando o comprimento do tanque de 3,60m, utilizando o cálculo de volume do cilindro foi encontrado o diâmetro do tanque de 1,91m, conforme mostrado na Figura 24.

**Figura 24 - Dimensões do Tanque de Ácido Clorídrico**



**Fonte: Aatoria própria (2023).**

#### 10.1.2 Tanque de Biodiesel

De acordo com a Norma 270 da CONTEC, utilizada pela Petrobrás, para o armazenamento do biodiesel é necessário a utilização de um tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno. Com a massa específica de aproximadamente  $879,5 \text{ kg/m}^3$  e com a vazão mássica obtida a partir do evaporador, foi possível encontrar o volume de  $729,2 \text{ m}^3$  por nove dias de armazenamento. Sendo assim, serão instalados na planta quatro tanques de  $200 \text{ m}^3$ , tendo eles 5 metros de diâmetro e 11 metros de altura. A Figura 25 representa um exemplo do tanque de armazenamento.

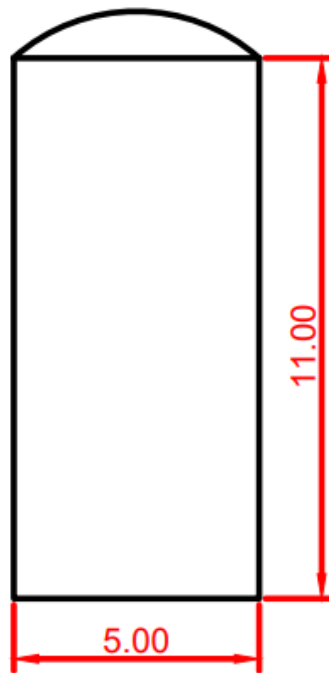
**Figura 25 - Tanque de Armazenamento de Biodiesel**



Fonte: ComprAço (2023)

A Figura 26 representa o tanque de armazenamento com suas respectivas cotas.

Figura 26 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Biodiesel

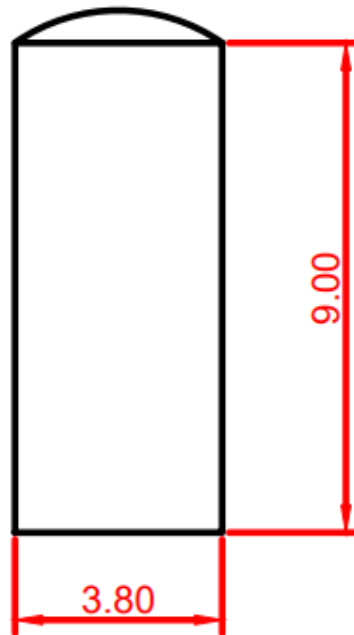


Fonte: Autoria própria (2023).

### 10.1.3 Tanque de Etanol

Seguindo o mesmo procedimento, com o valor da massa específica de  $791 \text{ kg/m}^3$  e com a vazão mássica de  $1.188,19 \text{ kg/h}$ , foi obtido o volume útil de  $36 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Considerando 8 dias de armazenamento, o volume útil necessário será de  $288,4 \text{ m}^3$ , sendo instalados na indústria três tanques de  $100 \text{ m}^3$ , com diâmetro 3,8 metros e altura de 9 metros, como mostrado na Figura 27:

Figura 27- Dimensões do Tanque de Armazenamento de Etanol



Fonte: Autoria própria (2023).

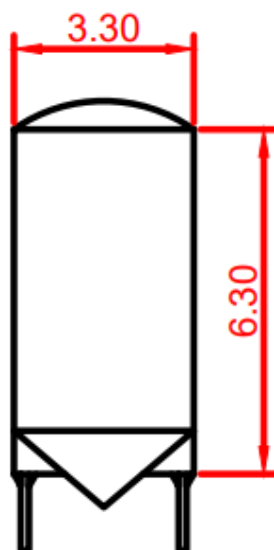
#### 10.1.4 Tanque de Etanol Hidratado

Seguindo o mesmo procedimento, com o valor da massa específica de  $789 \text{ kg/m}^3$  e com a vazão mássica de  $1053,48 \text{ kg/h}$ , sendo este valor somado de ambos os evaporadores, foi obtido o volume útil de  $32 \text{ m}^3$  por dia. Considerando 5 dias de armazenamento, o volume útil necessário será de  $160,2 \text{ m}^3$ , sendo instalados na indústria um tanque de  $200 \text{ m}^3$ , com diâmetro 5 metros e altura de 11 metros, semelhante ao armazenamento de biodiesel.

#### 10.1.5 Tanque de Glicerina

A glicerina terá dez dias de armazenamento na indústria, e a partir deste dado e de sua vazão volumétrica, obtida após a evaporação, obteve-se um volume útil de  $118 \text{ m}^3$ . Portanto, será instalado na indústria quatro tanques de  $50 \text{ m}^3$  com diâmetro de 3,3 metros e altura de 6,3 metros, conforme mostrado na Figura 28.

**Figura 28 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Glicerina**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Figura 29 demonstra um exemplo do tanque encontrado no mercado conforme medidas encontradas.

**Figura 29 - Exemplo de Tanque de Armazenamento de Glicerina**



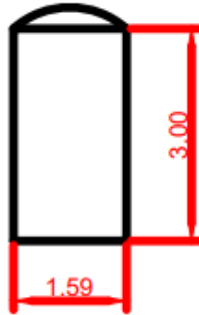
**Fonte: ULLER (2023).**

#### 10.1.6 Tanque de Hidróxido de Sódio

Para o tanque de hidróxido de sódio com armazenamento de 15 dias, foi utilizada a vazão mássica de 30 kg/h e massa específica de 2.130 kg/m<sup>3</sup>, encontrando assim o volume útil de 5,07 m<sup>3</sup>. Portanto, o tanque instalado na indústria será de 6 m<sup>3</sup>, com diâmetro de 1,59 metros e altura de 3,0 metros, conforme mostrados na Figura 30:



**Figura 30 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Hidróxido de Sódio**

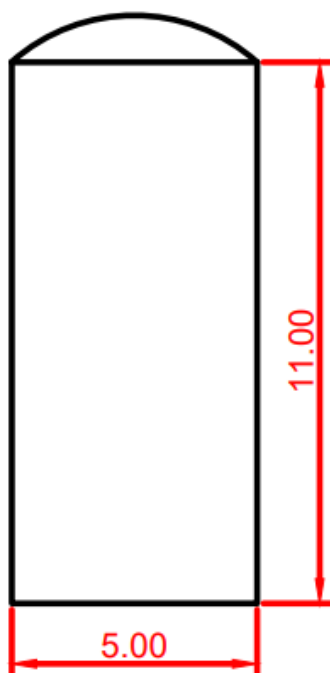


**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 10.1.7 Tanque de Óleo de Soja Degomado

De acordo com a informação de segurança de produtos químicos descrita pela BSBIOS, o óleo degomado possui massa específica de  $0,9231 \text{ g/cm}^3$ . Seguindo com a mesma estratégia de vazão mássica, determinou-se  $779,9 \text{ m}^3$  de volume útil para dez dias de processo. De acordo com a Norma 270 da CONTEC para fluidos de alta viscosidade, deve-se aplicar tanques verticais de teto fixo, com teto flutuante interno. Na RENOBIO será empregado quatro tanques de  $200 \text{ m}^3$  com 5 metros de diâmetro e 11 metros de altura, conforme mostrado na Figura 31. O armazenamento do óleo de soja será semelhante aos tanques de biodiesel, já demonstrados na seção.

**Figura 31 - Dimensões do Tanque de Armazenamento de Óleo de Soja**



Fonte: Autoria própria (2023).

## **10.2 Tanques Encamisados de Mistura e Aquecimento**

O dimensionamento de um tanque de mistura envolve diversos parâmetros, como o tipo de mistura, as propriedades dos fluidos envolvidos, o tempo de mistura desejado e outros. Os misturadores utilizados no processo são MS102, MS202, MS303 e MS401, os tanques têm como objetivo principal fazer a mistura dos reagentes e matéria-prima e aquecimento do fluido, antes dos processos destinados de acordo com a temperatura adequada, como transesterificação e filtração por membranas.

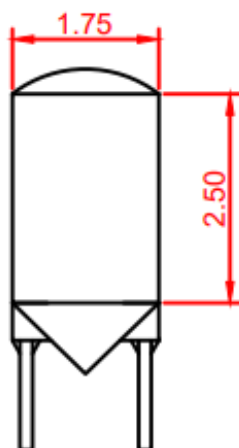
### **10.2.1 Misturador e Aquecedor do Óleo Degomado**

O misturador do setor 100 tem como objetivo aquecer o óleo na temperatura de 45°C e misturar a matéria-prima mantendo sempre homogênea em todo o tanque.

Para isso foi dimensionado o projeto baseado no volume total do reator de transesterificação, em que a proporção de óleo degomado na vazão mássica é de 71,1%, com 3000 kg/h. Sabendo que o reator possui um volume total de 4,68 m<sup>3</sup>, temos que o volume do misturador precisa ter no mínimo 3,33 m<sup>3</sup>, pois é necessário considerar 28,9% da mistura de etanol e hidróxido de sódio.

Para melhor aproveitamento do processo, o misturador e aquecedor encamisado, terá o volume de 6 m<sup>3</sup> com diâmetro de 1,75 metros e altura de 2,5 metros, a Figura 32 mostra o tanque encamisado com suas respectivas cotas.

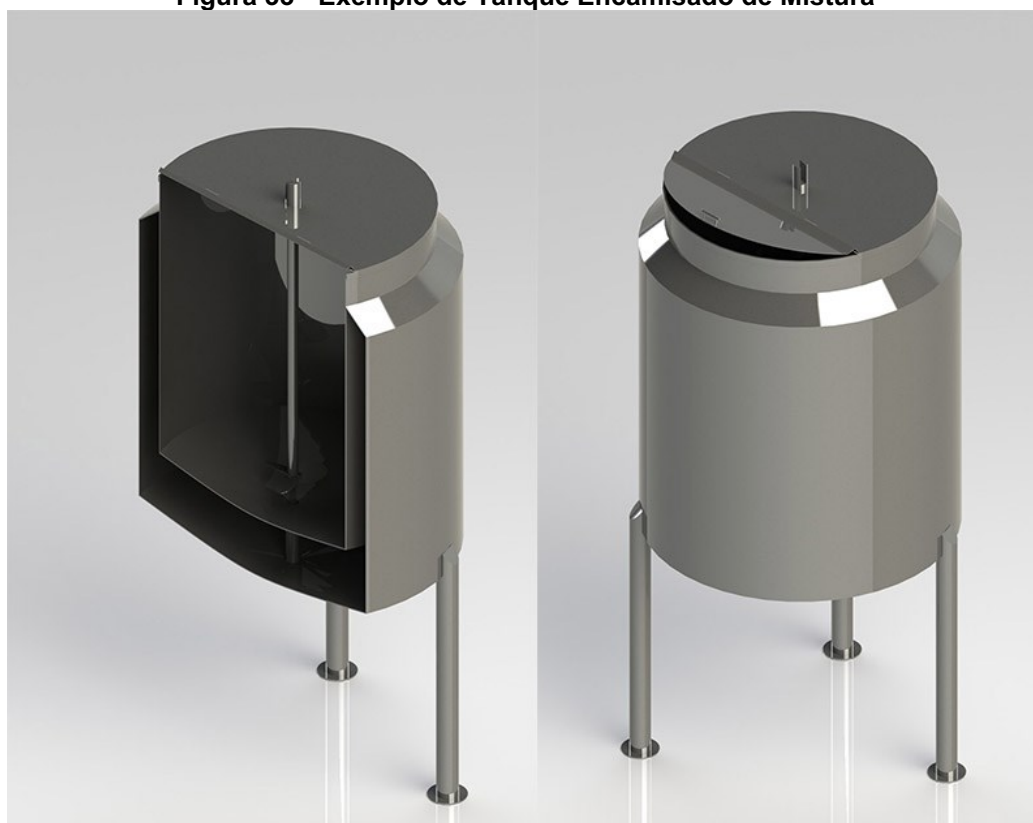
**Figura 32 - Dimensões do Misturador e Aquecedor de Óleo de Soja Degomado**



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 33 demonstra os tanques como é encontrado nos catálogos do mercado.

**Figura 33 - Exemplo de Tanque Encamisado de Mistura**



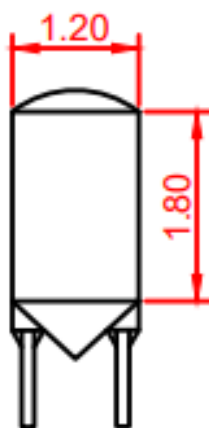
Fonte: Artinox (2023)

### 10.2.2 Misturador e Aquecedor do Etanol e Hidróxido de Sódio

O misturador do setor 200 foi dimensionado utilizando a mesma estratégia do misturador e aquecedor do óleo degomado, baseado na vazão mássica total do reator de transesterificação, em que foi calculado a proporção de hidróxido de sódio e água de 28,88%, quantificando 1.218,19 kg/h da mistura, totalizando o volume do misturador com no mínimo 1,35 m<sup>3</sup>.

Para melhor aproveitamento e segurança, o misturador aquecedor encamisado terá 2 m<sup>3</sup> de volume, com diâmetro de 1,2 metros e altura de 1,8 metros, conforme mostrado na Figura 34.

**Figura 34 - Dimensões do Misturador e Aquecedor de Etanol e Hidróxido de Sódio**



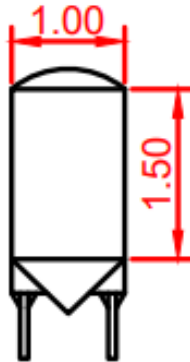
**Fonte: Autoria própria (2023).**

### 10.2.3 Misturador e Aquecedor do Ácido Clorídrico e Água

Obtendo a mesma finalidade do outros, o misturador do setor 300 fará o aquecimento e mistura dos reagentes que serão inseridos na separação por membranas. Sendo a reação exotérmica o tanque de mistura terá material apropriado para a liberação de calor que a mistura causará, mesmo sendo em proporções pequenas de ácido o cuidado será contínuo para este tanque.

Com os dados de massa específica e vazão mássica de ambos os reagentes, foi possível obter o volume útil da mistura ácida, sendo 0,42 m<sup>3</sup>. Deste modo, um tanque de mistura encamisado de 1 m<sup>3</sup> será instalado na indústria, para cumprir com as finalidades destinadas. Conforme mostrado na Figura 35.

**Figura 35 - Dimensões do Misturador e Aquecedor de Ácido Clorídrico e Água**

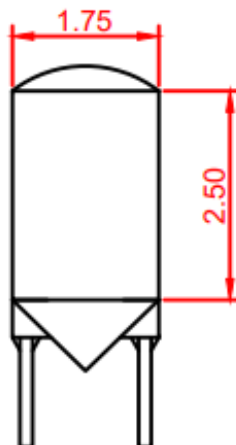


Fonte: Autoria própria (2023).

#### 10.2.4 Misturador e Aquecedor da Mistura Reacional e Água Acidificada

Para o processo de separação por membranas, é necessária a realização de uma mistura entre a água acidificada e o produto gerado pela transesterificação, mantendo a temperatura desejada do processo. Considerando que o reator produzirá 4,68 m<sup>3</sup> de produto, demonstrado detalhadamente no tópico 10.3, e que 9% da mistura reacional acidificada é composta pela mistura ácida, é determinado o volume útil do tanque de 5,15 m<sup>3</sup>, sendo instalado na indústria um tanque encamisado de aço inox, de 6 m<sup>3</sup> para o melhor condicionamento do processo, conforme mostra na Figura 36.

**Figura 36 - Dimensões do Misturador e Aquecedor da Mistura Reacional e Água Acidificada**



Fonte: Autoria própria (2023).

### 10.3 Reator

Na indústria, a utilização de reatores será no processo de transesterificação, onde o reator será responsável por produzir o biodiesel com base na disposição dos

reagentes e matéria-prima, já misturados e aquecidos. Tendo em vista que o processo de transesterificação será de forma batelada, o cálculo do volume do reator se baseou no tempo de reação e na quantidade de biodiesel produzido pela planta por dia.

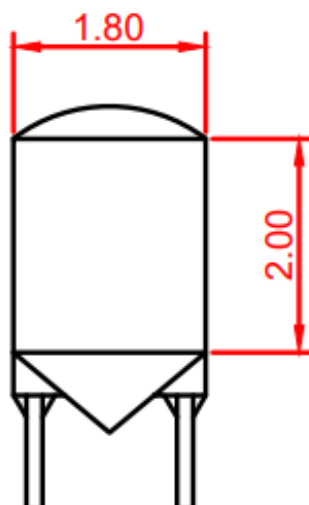
Segundo as pesquisas de Gomes (2012), o tempo necessário para a completa realização da reação de transesterificação apresenta uma relação direta com o tipo de catalisador empregado. No caso dos catalisadores alcalinos, as reações tendem a ocorrer de forma relativamente rápida, com intervalos de tempo que variam de cinco minutos a uma hora. No entanto, é importante ressaltar que essa velocidade está sujeita a influências como temperatura, concentração dos reagentes, agitação do sistema e a proporção molar entre o óleo e o álcool. Esses fatores devem ser cuidadosamente considerados para obter um controle adequado do processo de transesterificação. Portanto, o tempo de reação determinado para melhor eficiência no processo é de uma hora.

A quantidade de biodiesel produzido pela RENOBIO, de acordo com o balanço de massa, será de 71,2 ton/dia e conversão de 98%. Porém, este valor é a quantidade final após a evaporação, sendo considerada então a vazão mássica da mistura reacional produzida na transesterificação, de 4,2 ton/h. Assim, com a massa específica do biodiesel de 900 kg/m<sup>3</sup>, encontrada na literatura, é calculado o volume de 4,68 m<sup>3</sup> a cada uma hora.

O volume do reator será de 5 m<sup>3</sup>, considerando dois reatores de mesmas dimensões e finalidades, apenas com o intuito de revezamento de processo.

O reator encamisado de aço inox, com agitação, terá um diâmetro 1,8 metros com altura de 2 metros, como mostrado na Figura 37.

**Figura 37 - Dimensões do Reator de Transesterificação**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

Considerando o processo de mistura do Setor 400 um processo contínuo, serão necessários diversos reatores nos quais a reação de transesterificação será realizada em modo batelada. Para isso, foi adotado um reator batelada encamisado e de teto fixo, mostrado um exemplo na Figura 38.

**Figura 38 - Reator Encamisado**



**Fonte: Produtos para Laboratório (2023).**

## 10.4 Membranas de Separação

Considerando a utilização de membranas de filtração tubulares cilíndricas, a Equação 17 foi utilizada para encontrar o diâmetro da membrana por unidade de volume, baseando-se no volume produzido pelo reator por hora, considerando também o comprimento ( $L$ ) do tubo de dois metros e a quantidade de tubos ( $N$ ) no módulo, para permear todo o produto gerado em uma hora de processo.

$$V = (\pi r^2) * L * N \quad (17)$$

Para a melhor manutenção e controle, o comprimento das membranas foi fixado em dois metros, tendo em seu módulo 35 tubos com diâmetro de 0,3 metros cada tubo de membrana, operando em escoamento contínuo. A Figura 39 mostra um exemplo de como será a disposição das membranas na RENOBIO.

**Figura 39 - Exemplo da Disposição do Módulo de Membranas**

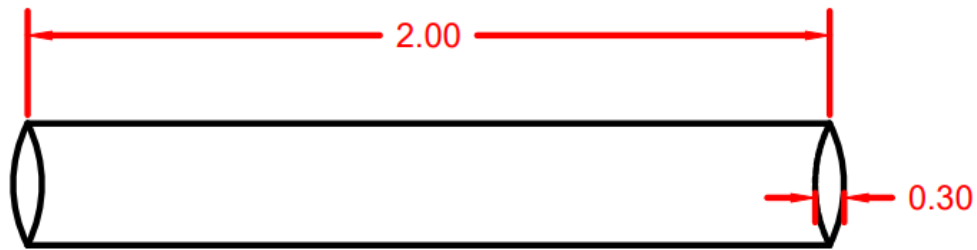


Fonte: Revista TAE (2023).

A Figura 40 mostra as dimensões de um único tubo do módulo de membrana dimensionado.



Figura 40 - Dimensões do Tubo de Membrana de Separação



Fonte: Autoria própria (2023).

## 10.5 Evaporadores

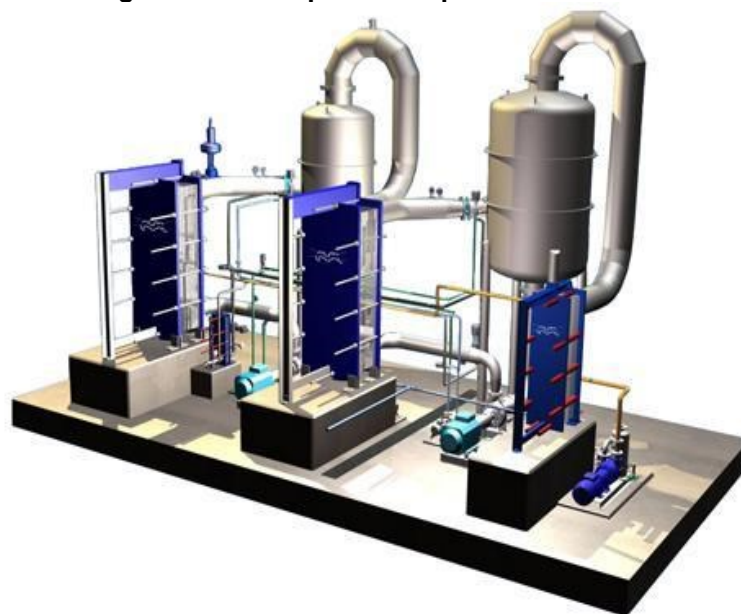
A principal função do evaporador é promover a transferência de calor para a vaporização da água presente no produto, por meio de troca térmica. No processo de dimensionamento dos evaporadores, é essencial realizar o cálculo da área de transferência de calor do equipamento, utilizando a Equação 18 como base.

$$Q = UA\Delta T \quad (18)$$

Utilizando o balanço de energia, foi possível determinar o calor (Q) e as temperaturas de saturação nos evaporadores. Além disso, os coeficientes globais de transferência de calor foram estimados com base nos dados fornecidos por Lazarini, *et al.*, (2016). Deste modo, a área de troca térmica para os evaporadores foi de 11,5 m<sup>2</sup> para o EV - 603 e 172 m<sup>2</sup> para o EV - 602.

Os evaporadores instalados na RENOBIO seguem a Norma de segurança ABNT NBR 15371 DE 07/2006, com material resistente de tubo vertical longo, a Figura 41 representa um exemplo.

**Figura 41 - Exemplo de Evaporadores Industrial**



**Fonte: ALFALAVAL (2023)**

## **10.6 Condensadores**

Para o dimensionamento dos condensadores, foi utilizada a mesma metodologia dos evaporadores, sabendo que o produto condensado será o etanol hidratado. Deste modo, utilizando o coeficiente de troca térmica de  $2.733,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , o calor de troca do etanol e a diferença de temperatura, previamente calculados no balanço de energia, foi possível encontrar a área de troca térmica do condensador. Para o condensador TC - 601 foi encontrado um área de de troca térmica de  $46,7 \text{ m}^2$  e para o condensador TC - 501 uma área de  $200,78 \text{ m}^2$ .

Na seleção do trocador de calor para a indústria, optou-se pelo trocador de calor do tipo casco e tubo, com um passe no casco e dois passes no tubo. Para esse tipo de trocador, foi aplicado um fator de correção de 0,94, conforme indicado por Çengel e Ghajar (2012). Essa escolha foi feita levando em consideração as necessidades específicas da indústria, como ilustrado na Figura 42.

**Figura 42 - Exemplo de Condensador Casco Tubo**



Fonte: Vácuo Industrial (2023)

### 10.7 Trocadores de Calor

A área de troca térmica também foi calculada para os trocadores de calor, da mesma forma que nos evaporadores e condensadores. Foi utilizada a metodologia de Lazarini, *et al.*, (2016), que lista o valor do coeficiente global de troca térmica e os valores de calor de troca térmica, com suas respectivas diferenças de temperaturas.

Foi elaborada a Tabela 7 com os valores de troca térmica de todos os trocadores de calor utilizados pela indústria. Os cálculos utilizaram a mesma estratégia de organização.

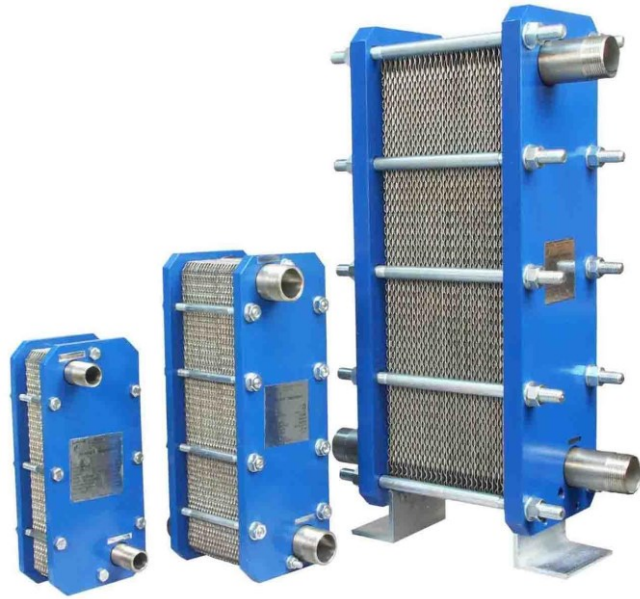
**Tabela 7- Área de Troca Térmica dos Trocadores de Calor**

<b>Trocador</b>	<b>Área de Troca Térmica (m<sup>2</sup>)</b>
TC - 101	288,72
TC - 201	19,17
TC - 202	174,61
TC - 301	1,79
TC - 302	134,48
TC - 501	200,78
TC - 503	349,02
TC - 601	46,70
TC - 604	95,95
TC - 605	141,87

Fonte: Autoria própria (2023).

A escolha do trocador de calor foi baseada na área de ocupação do equipamento, visto que a quantidade é grande e não se pode ocupar muito espaço na planta industrial sendo, assim, o trocador de calor de placas a melhor escolha, conforme mostrado na Figura 43.

**Figura 43 - Exemplo de Trocador de Calor**



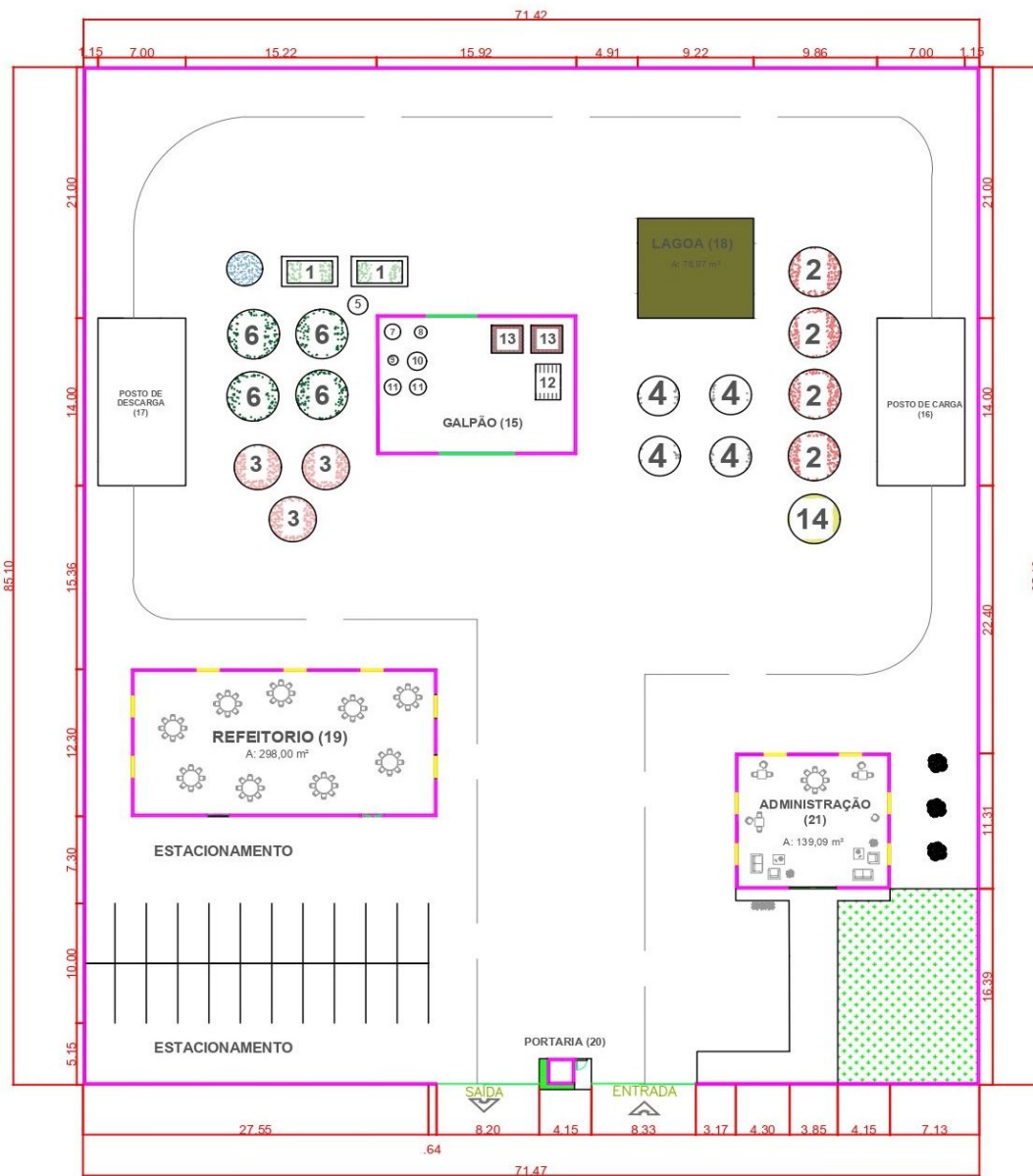
**Fonte: Trocador de Calor (2023)**

## 11 LAYOUT

Para a elaboração do layout industrial da empresa RENOBIO foi consultada e seguida diversas normas de elaboração, entre elas a NR 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos (2010). Nela estão estabelecidos os requisitos mínimos de segurança de trabalho em máquinas e equipamentos de todos os tipos, ponderando, aspectos que vão desde as fases de fabricação a comercialização do produto (OLIVEIRA, 2022).

O seguinte layout (Figura 44) foi elaborado utilizando o *software* AutoCad, versão estudantil, seguindo os espaçamentos e normas necessárias. Juntamente com a Tabela 8 que determina a área de cada setor.

Figura 44 - Layout da Indústria RENOBIO



Fonte: Autoria própria desenvolvido com o auxílio do software AutoCad (2023).

**Tabela 8 - Área destinada para cada setor na planta baixa da RENOBIO**

<b>ID</b>	<b>Setor</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
1	Armazenamento de Ácido Clorídrico	11,25
2	Armazenamento de Biodiesel	13,33
3	Armazenamento de Etanol	11,1
4	Armazenamento de Glicerina	8,55
5	Armazenamento de Hidróxido de Sódio	10,12
6	Armazenamento de Óleo de Soja Degomado	13,33
7	Tanque de Mistura 1	2,4
8	Tanque de Mistura 2	11,13
9	Tanque de Mistura 3	0,78
10	Tanque de Mistura 4	2,4
11	Reator	2,54
12	Módulo de Membranas	7,5
13	Evaporadores	16
14	Armazenamento de Etanol Hidratado	13,33
15	Galpão de Processos	185,12
16	Posto de Carga de Caminhões	98
17	Posto de Descarga de Caminhões	98
18	Lagoa de Tratamento	42,25
19	Refeitório	298
20	Portaria	8,11
21	Administrativo	139,09

**Fonte: Autoria própria (2023)**

## **12 BALANÇO ECONÔMICO**

É de suma importância realizar uma análise financeira preliminar para um projeto como o RENOBIO, pois ela determina a viabilidade do empreendimento, avaliando o período de recuperação do investimento, os riscos envolvidos, a lucratividade e outros indicadores econômicos relevantes (ROCHA, 2010).

O principal objetivo do balanço econômico é realizar a análise financeira da empresa, que irá determinar o investimento inicial necessário para o empreendimento através da avaliação de custos variáveis, fixos e do fluxo de caixa. Além dessa análise auxiliar a empresa na tomada de decisões estratégicas, ela é o que determina se o projeto é viável ou não economicamente (FARIA, ALMEIDA, SIMAO, 2012).

### **12.1 Investimento Inicial**

Para a abertura de uma empresa é necessário avaliar inicialmente todos os gastos para tirar o projeto do papel e fazer com que a ideia funcione, levantando custos de terreno, infraestrutura, equipamentos, definir o quadro de funcionários, capital de giro, entre outros fatores específicos para cada tipo de empresa (HISRICH; PETERS; SHEPHERD, 2009).

#### **12.1.1 Infraestrutura**

No que diz respeito aos custos demandados por infraestrutura, é necessário considerar diversos elementos importantes como as obras em geral, a aquisição de móveis e o sistema de combate ao incêndio.

Nas obras foram contemplados os gastos com o terreno para a construção da indústria e custos com a construção civil, que incluem barracões, prédio administrativo, laboratório e estruturas necessárias para o tratamento de resíduos. Os valores foram obtidos a partir dos Custos Unitários Básicos de Construção (CUB/m<sup>2</sup>), que são calculados conforme estabelecido pela Lei Federal nº. 4.591, de 16/12/64, e pela Norma Técnica NBR 12.721:2006 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Já em relação aos móveis, foi levado em conta os custos de aquisição de mesas, cadeiras, armários e outros itens necessários para o ambiente de trabalho garantir conforto e funcionalidade aos colaboradores.



Não menos importante é o sistema de combate ao incêndio, principalmente na RENOBIO, que possui produtos e matérias-primas classificados como inflamáveis pela ONU. Por isso segue todas as normas brasileiras de combate e prevenção ao incêndio, com a instalação de todos os equipamentos como extintores e saídas de emergência.

Abaixo, na Tabela 9, estão dispostos os valores para cada item citado.

**Tabela 9 - Custos de Infraestrutura**

<b>Item</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Terreno	3.300.000,00
Construção civil	2.500.000,00
Sistema de combate a incêndio	30.000,00
Mobiliário	100.000,00
<b>Total</b>	<b>5.930.000,00</b>

**Fonte: Aatoria própria (2023).**

### 12.1.2 Equipamentos

Para o levantamento do custo de investimento inicial, realizou-se uma pesquisa para orçar os equipamentos necessários para a cadeia de processos da empresa. Os valores foram obtidos através de sites que disponibilizam os dados publicamente como o MF Rural e o Alibaba e via solicitação de orçamento pelo e-mail das empresas Will Comércio de Máquinas e Equipamentos LTDA e JEMP Montagens e Desmontagens industriais LTDA.

Na Tabela 10 abaixo, encontram-se todos os equipamentos com suas respectivas especificações.

**Tabela 10 - Preço dos Equipamentos**

**(continua)**

<b>Equipamento</b>	<b>Dimensão / capacidade</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor Un. (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Tanque de Mistura e Aquecimento	6m <sup>3</sup>	1	40.000,00	40.000,00
Tanque armazenamento	10m <sup>3</sup>	2	10.000,00	20.000,00
Tanque de teto fixo com teto interno flutuante	200m <sup>3</sup>	4	50.000,00	200.000,00
Tanque de armazenamento	100m <sup>3</sup>	3	100.000,00	300.000,00
Tanque de armazenamento	50m <sup>3</sup>	4	50.000,00	200.000,00
Tanque de teto fixo com teto interno flutuante	200m <sup>3</sup>	4	50.000,00	200.000,00
Misturador	2m <sup>3</sup>	1	19.800,00	19.800,00
Reator encamisado	5m <sup>3</sup>	2	120.000,00	240.000,00
Trocador de calor 1	12.000kcal	1	4.000,00	4.000,00
Trocador de calor 2	500kcal	1	166,67	166,67
Trocador de calor 3	1.000kcal	1	333,33	333,33
Trocador de calor 4 / condensador glicerina	20.000kcal	1	6.400,00	6.400,00
Trocador de calor 5 / condensador biodiesel	1.000kcal	1	333,33	333,33

**Tabela 11 - Preço dos Equipamentos**

**(conclusão)**

<b>Equipamento</b>	<b>Dimensão / capacidade</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor Un. (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Trocador de calor 6	15.000 kcal	1	4.800,00	4.800,00
Trocador de calor 7	12.000 kcal	1	4.000,00	4.000,00
Trocador de calor 8	12.000 kcal	1	4.000,00	4.000,00
Evaporador (biodiesel)	75.000 kcal	1	16.000,00	16.000,00
Evaporador (glicerina)	170.000 kcal	1	50.000,00	50.000,00
Módulo de Membranas Cerâmicas	11m x 2m	2	21.875,00	43.750,00
Veículos	Carros e caminhões	-	-	-
Sistema de Tratamento	577 m <sup>3</sup>	1	39.328,13	39.328,13
Computadores	Completo	20	1.500,00	30.000,00
<b>Total</b>				<b>2.455.983,33</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

### 12.1.3 Funcionários

O processo da RENOBIO é executado de maneira contínua e ininterrupta, operando durante todos os 365 dias do ano, 24 horas por dia. Essa abordagem está em conformidade com o disposto no artigo 7º da Constituição Brasileira (BRASIL, 1988), a empresa trabalhará dentro de um regime de 3 turnos de 8 horas, dentro do limite de 44 horas semanais por funcionário, garantindo todos os direitos e deveres dos colaboradores, bem como o 13º salário, férias remuneradas e 20% de adicional noturno.

Analisando o quadro de funcionários, entre 100 e 499 empregados, a RENOBIO está enquadrada de acordo com a Lei nº 9.841, de 5 de abril de 1999, que define as relações de tamanho de empresas, como uma Empresa de Médio Porte. Além da quantidade de funcionários, a empresa conta com um faturamento entre R\$4,8 milhões e R\$300 milhões, que também é uma característica desse porte de empresa.

Abaixo é apresentado pela Tabela 11 o quadro geral de funcionários, com todas as especificações de custo e jornadas de trabalho.

**Tabela 11- Quadro de Funcionários**

**(continua)**

<b>Cargo</b>	<b>1º turno (8h)</b>	<b>2º turno (8h)</b>	<b>3º turno (8h)</b>	<b>Salário (R\$)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>R\$/ano</b>
Diretor financeiro	1	-	-	15.000,00	15.000,00	180.000,00
Diretor de <i>marketing</i>	1	-	-	8.000,00	8.000,00	96.000,00
Diretor de operações	1	-	-	8.000,00	8.000,00	96.000,00
Diretor executive	1	-	-	8.000,00	8.000,00	96.000,00
Diretor de TI	1	-	-	8.000,00	8.000,00	96.000,00
Diretor de recursos humanos	1	-	-	8.000,00	8.000,00	96.000,00

**Tabela 11- Quadro de Funcionários**

Cargo				(conclusão)		
	1º turno (8h)	2º turno (8h)	3º turno (8h)	Salário (R\$)	R\$/mês	R\$/ano
Supervisor de segurança no trabalho	3	1	1	3.000,00	15.000,00	180.000,00
Engenheiro químico	3	-	-	7.000,00	21.000,00	252.000,00
Supervisor de produção	6	2	2	5.000,00	50.000,00	600.000,00
Analista de qualidade	2	-	-	3.000,00	6.000,00	72.000,00
Auxiliar de manutenção	3	2	2	2.500,00	17.500,00	210.000,00
Operador de produção	20	20	20	2.500,00	150.000,00	1.800.000,00
Auxiliar de escritório	2	1	1	2.500,00	10.000,00	120.000,00
Auxiliar de serviços gerais	5	2	2	2.000,00	18.000,00	216.000,00
Vigilante	10	10	10	2.000,00	160.000,00	720.000,00
<b>Total funcionários</b>		<b>136</b>		<b>Total R\$</b>	<b>426.500,00</b>	<b>5.118.000,00</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

#### 12.1.4 Capital de Giro

Conforme as diretrizes do SEBRAE (2013), o capital de giro é uma preocupação central para garantir a estabilidade das atividades empresariais. Ele engloba os recursos financeiros necessários para sustentar as operações diárias da empresa, abrangendo tanto as despesas correntes quanto as obrigações a serem quitadas. Em outras palavras, o capital de giro compreende o montante financeiro disponível em caixa, bem como os valores a receber e os estoques, que são fundamentais para garantir o fluxo contínuo de recursos e assegurar o funcionamento adequado do negócio. Essa reserva financeira é crucial para lidar com imprevistos, gerenciar o ciclo de caixa e manter a solvência da empresa.

No início das atividades da empresa o capital de giro só será possível através de um empréstimo, que será calculado posteriormente, para honrar as dívidas de implementação e expandir o negócio até começar a lucrar, assegurando um endividamento saudável para a operação da empresa. A Tabela 12 dispõe os custos que vão definir o capital de giro.

**Tabela 12 - Capital de Giro**

Custo fixo referente a seis meses	R\$ 2.709.000,00
Custo variável referente a seis meses	R\$ 85.669.397,43
Capital de giro inicial	R\$ 88.378.397,43

**Fonte: Autoria própria (2023).**

## 12.2 Custos Fixos

De acordo com Bruni (2008), os custos fixos estão associados ao funcionamento básico da empresa, que normalmente não variam com a variação do volume de produção ou prestação de serviços. Portanto, custos relacionados a manutenção periódica de equipamentos, folha de pagamento, marketing, tratamentos de resíduos, gastos com o funcionamento do laboratório para análises químicas e de qualidade e serviços terceirizados são exemplos de valores que se enquadram nessa categoria, pois permanecem fixos independente do período de funcionamento da empresa.

Abaixo na Tabela 13 estão dispostos todos os custos fixos avaliados pela RENOBIO.

**Tabela 13- Custos Fixos**

<b>Gastos</b>	<b>R\$ / mês</b>	<b>R\$ / ano</b>
Laboratório	5.000,00	60.000,00
Funcionários	426.500,00	5.118.000,00
Manutenção	-	500.000,00
Tratamentos	10.000,00	120.000,00
Marketing	10.000,00	120.000,00
<b>Total</b>	<b>451.500,00</b>	<b>5.918.000,00</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

## 12.3 Custos Variáveis

Os custos variáveis são os que variam de acordo com o volume de atividades da empresa (SILVA, 2008). A RENOBIO considerou para esse fim despesas relacionadas diretamente com o volume de produção, como mão-de-obra, matéria-prima (óleo degomado, NaOH, etanol hidratado, HCL e água) e energia para funcionamento dos equipamentos da produção e de escritório. Nos custos extras estão inclusos alguns valores que podem ser destinados para possíveis acidentes, reparos e manutenções emergenciais, documentações, campanhas de marketing, eventos naturais ou desastres, entre outras.

Abaixo está disponibilizada a Tabela 14, com todos os custos variáveis avaliados.

**Tabela 14 - Custos Variáveis**

<b>Gastos</b>	<b>R\$ / mês</b>	<b>R\$ / ano</b>
Água/Esgoto	480.813,69	5.769.764,30
Energia	24.637,20	295.646,40
Matéria Prima	13.922.480,33	167.069.763,92
Extras	15.000,00	180.000,00
<b>Total</b>	<b>14.442.931,22</b>	<b>173.315.174,62</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

### 12.3.1 Energia

O cálculo da energia total utilizada por colaboradores da indústria foi realizado partindo da afirmação de que uma pessoa consome em média 2,96 kWh por dia (EPE, 2020). Considerando esse valor, junto ao custo necessário por cada equipamento no processo, que foi determinado a partir das especificações dos fabricantes, calculou-se o custo de R\$ 295.646,40 com energia elétrica por ano, já incluso os impostos.

### 12.3.2 Matérias-Primas

Para a determinação do custo com matéria-prima foi utilizado como base de cálculo a vazão de óleo sendo igual a 3000 kg/h. Sabendo disso e respeitando as proporções mássicas do processo, foi elaborado a Tabela 15 abaixo.

**Tabela 15 - Custos Matéria-Prima**

<b>Matéria-Prima</b>	<b>Qtd por hora (kg/h)</b>	<b>Qtd por mês (kg/mês)</b>	<b>Valor (R\$/kg)</b>	<b>Total 1º mês (R\$)</b>	<b>Total anual (R\$)</b>
Óleo degomado	3.000,00	2.160.000,00	5,84	12.614.400,00	151.372.800,00
NaOH 99%	30,00	21.600,00	2,13	45.900,00	550.800,00
Etanol anidro	1.188,19	855.496,80	3,70	3.165.338,16	37.984.057,92
HCl 1%	2,11	1.519,20	44,82	68.090,54	817.086,53
Água	419,71	302.191,20	0,01	3.324,10	39.889,24
<b>Total</b>				<b>15.897.052,81</b>	<b>190.764.633,69</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

### 12.3.3 Água

A água utilizada para consumo e higiene pelos funcionários, somada ao volume necessário para fornecimento de vapor para o processo, determinam o custo variável com água utilizada pela RENOBIO, que juntas ao custo de esgoto somam R\$ 5.769.764,30 por ano gastos com água.

## 12.4 Faturamento Mensal

A receita bruta da RENOBIO foi obtida de acordo com dados fornecidos pela ANP (2023) com valor de referência por litro do biodiesel de R\$6,80, que multiplicado

pela densidade obtém-se o preço de R\$7,80 por kg de biodiesel. Para precificar o subproduto glicerina em sua forma bruta utilizou-se os dados fornecidos por Lora e Venturini (2012) de R\$1,40 o kg. O subproduto etanol hidratado, segundo estudos do Cepea/Esalq (2023), cotou-se o valor de R\$3,19 o kg.

Analisando os valores por mês, portanto, de acordo com os dados de vazão mássica da produção por hora, obtém-se o seguinte faturamento, representado pela Tabela 16 abaixo.

**Tabela 16 - Faturamento Mensal**

<b>Produto</b>	<b>Venda (kg/mês)</b>	<b>Receita mensal (R\$)</b>	<b>Receita anual (R\$)</b>
Biodiesel	2.137.910,40	16.675.701,12	200.108.413,44
Glicerina	442.872,00	620.020,80	7.440.249,60
Etanol Hidratado	758.505,60	2.419.632,86	29.035.594,32
<b>Total</b>		<b>19.715.354,78</b>	<b>236.584.257,36</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

## 12.5 Tributações

A indústria de biodiesel no Brasil possui, devido a natureza da empresa, alguns impostos que serão cobrados sobre a produção. Dentre esses impostos estão a carga tributária padrão, como o Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e o Imposto Sobre Produtos Industrializados (IPI) (BRASIL, 2005). Por determinação do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), a partir de abril de 2023 os produtores de biodiesel recebem o direito de isenção de 100% do imposto devido ao ICMS (BRASIL, 2023). Essas e outros tipos de taxas como IRPJ, CSLL, IPI e ISS são apresentadas na Tabela 17 abaixo.

**Tabela 17 – Tributação**

<b>Tributo</b>	<b>Taxa (%)</b>
COFINS	28,32
CSLL	9
ICMS	Isento
IPI	Isento
IRPJ	15
ISS	Isento
PIS	6,15

**Fonte: Autoria própria (2023).**

## 12.6 Financiamento

Para iniciar o projeto da RENOBIO foi necessário um investimento no valor de R\$96.388.197,76, que foi determinado a partir da soma de todos os gastos iniciais para construção da empresa e compra dos equipamentos além do capital de giro durante seis meses.

O financiamento será obtido integralmente pelo Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que disponibiliza até R\$150.000.000 para investir em pequenas e médias empresas, com uma taxa de juros composto de 11,86% ao ano, 3 anos de carência e um prazo de 20 anos para quitar as dívidas.

Para esse financiamento optou-se pelo sistema do tipo SAC (Sistema de Amortização Constante). Esse sistema de pagamento foi definido devido às amortizações levarem a uma rápida queda da dívida em parcelas posteriores, reduzindo os juros, o que a torna ideal para financiamentos mais longos (FILGUEIRAS, 2019).

A partir de cálculos, definiu-se um prazo de 10 anos para o pagamento da dívida com 2 anos para iniciar os pagamentos, sendo que um ano será dedicado à construção e instalação dos equipamentos e no segundo ano a indústria começará a funcionar e gerar receita. A Tabela 18 demonstra o cálculo do financiamento realizado com uma taxa de juros semestral de 5,76% que equivale a anual já citada, dispondo todos os valores a serem pagos.

**Tabela 18 - SAC**

(continua)

<b>Período (semestre)</b>	<b>Prestação</b>	<b>Juros</b>	<b>Amortização</b>	<b>Saldo Devedor</b>
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 98.890.880,76
1	R\$ 0,00	R\$ 5.699.959,59	R\$ 0,00	R\$ 104.590.840,35
2	R\$ 0,00	R\$ 6.028.498,87	R\$ 0,00	R\$ 110.619.339,22
3	R\$ 0,00	R\$ 6.375.974,79	R\$ 0,00	R\$ 116.995.314,01
4	R\$ 12.593.244,54	R\$ 6.743.478,84	R\$ 5.849.765,70	R\$ 111.145.548,31
5	R\$ 12.256.070,60	R\$ 6.406.304,90	R\$ 5.849.765,70	R\$ 105.295.782,61
6	R\$ 11.918.896,65	R\$ 6.069.130,95	R\$ 5.849.765,70	R\$ 99.446.016,91
7	R\$ 11.581.722,71	R\$ 5.731.957,01	R\$ 5.849.765,70	R\$ 93.596.251,21
8	R\$ 11.244.548,77	R\$ 5.394.783,07	R\$ 5.849.765,70	R\$ 87.746.485,51
9	R\$ 10.907.374,83	R\$ 5.057.609,13	R\$ 5.849.765,70	R\$ 81.896.719,81
10	R\$ 10.570.200,89	R\$ 4.720.435,19	R\$ 5.849.765,70	R\$ 76.046.954,11
11	R\$ 10.233.026,95	R\$ 4.383.261,24	R\$ 5.849.765,70	R\$ 70.197.188,41
12	R\$ 9.895.853,00	R\$ 4.046.087,30	R\$ 5.849.765,70	R\$ 64.347.422,71
13	R\$ 9.558.679,06	R\$ 3.708.913,36	R\$ 5.849.765,70	R\$ 58.497.657,01
14	R\$ 9.221.505,12	R\$ 3.371.739,42	R\$ 5.849.765,70	R\$ 52.647.891,31
15	R\$ 8.884.331,18	R\$ 3.034.565,48	R\$ 5.849.765,70	R\$ 46.798.125,61
16	R\$ 8.547.157,24	R\$ 2.697.391,54	R\$ 5.849.765,70	R\$ 40.948.359,90
17	R\$ 8.209.983,29	R\$ 2.360.217,59	R\$ 5.849.765,70	R\$ 35.098.594,20
18	R\$ 7.872.809,35	R\$ 2.023.043,65	R\$ 5.849.765,70	R\$ 29.248.828,50
19	R\$ 7.535.635,41	R\$ 1.685.869,71	R\$ 5.849.765,70	R\$ 23.399.062,80
20	R\$ 7.198.461,47	R\$ 1.348.695,77	R\$ 5.849.765,70	R\$ 17.549.297,10
21	R\$ 6.861.287,53	R\$ 1.011.521,83	R\$ 5.849.765,70	R\$ 11.699.531,40
22	R\$ 6.524.113,58	R\$ 674.347,88	R\$ 5.849.765,70	R\$ 5.849.765,70
23	R\$ 6.186.939,64	R\$ 337.173,94	R\$ 5.849.765,70	R\$ 0,00

Fonte: Autoria propria (2023)

## 12.7 Fluxo de Caixa

Depois da realização dos cálculos mencionados previamente, foi viável obter o registro monetário, que é um mecanismo que representa os fluxos de saída e entrada de dinheiro durante um período de tempo determinado (HOJI, 2023), por meio da Demonstração do Resultado do Exercício (DRE). Normalmente, esse relatório é elaborado anualmente e engloba todos os dados de receitas e despesas, permitindo determinar o lucro líquido da empresa. A Figura 45 ilustra minuciosamente o procedimento de cálculo do DRE.

**Figura 45 - Demonstração do Resultado do Exercício (DRE)**

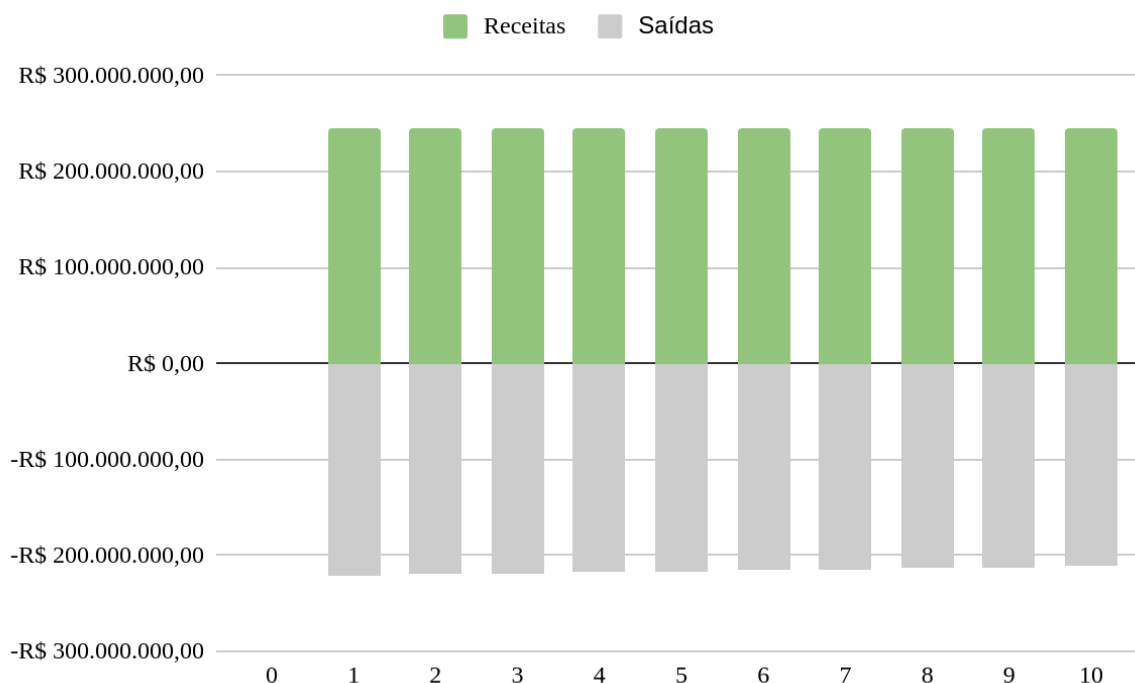
(+)	Receita Bruta Anual
(-)	Investimento Inicial
(-)	Impostos Diretos
(-)	Custos Operacionais
<b>(=)</b>	<b>EBITDA</b>
(-)	Depreciação
(-)	Despesas Financeiras
<b>(=)</b>	<b>LAIR</b>
(-)	IRPJ + CSSL
<b>(=)</b>	<b>LUCRO LÍQUIDO</b>
(+)	Depreciação
(-)	Amortização
<b>(=)</b>	<b>FLUXO DE CAIXA</b>

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A RENOBIO realizou as análises de fluxo de caixa com a aplicação do DRE para um horizonte de 10 anos, considerando todas as variáveis como a receita, custos, impostos, depreciação, imposto de renda e amortização. A Figura 45 dispõe de todo o fluxo projetado.



**Figura 46 - Fluxo de caixa**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

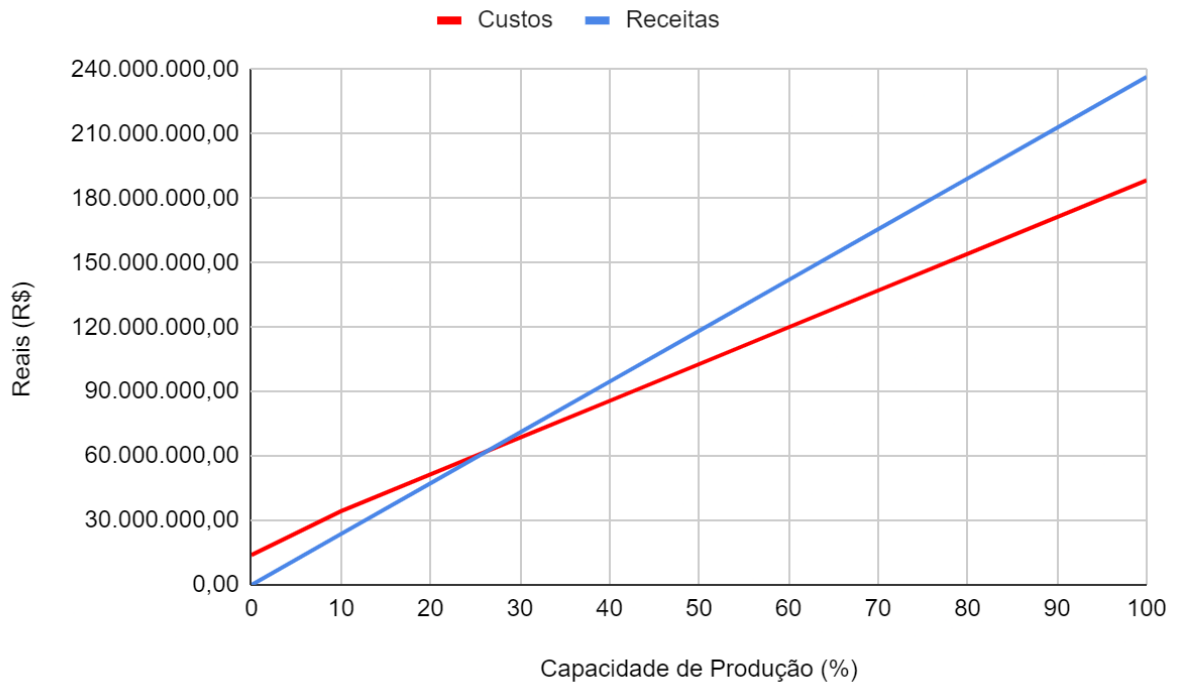
Para determinar se o desempenho da empresa é satisfatório faz-se necessária uma avaliação financeira baseada em indicadores econômicos e de finanças (CONTÁBEIS, 2020). A RENOBIO optou por utilizar o Ponto de Equilíbrio, Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* como indicadores de desempenho.

#### 12.7.1 Ponto de Equilíbrio

A análise de equilíbrio é um indicador financeiro que aponta a receita mínima necessária para evitar prejuízos em uma empresa. O cálculo desse valor tem como objetivo determinar a quantidade a ser produzida para igualar as receitas aos custos fixos e variáveis (SEBRAE, 2021).

Partindo da análise dos custos e receitas de acordo com a produção, desde uma produção nula até 100% da capacidade, foi possível determinar o ponto de equilíbrio, que é demonstrado pela Figura 47 abaixo:

**Figura 47 - Ponto de Equilíbrio**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

Considerando as curvas de custos e receitas em função da produção, o ponto de equilíbrio foi estimado em cerca de 25%. Isso significa que ao atingir 26% da capacidade de produção, a empresa RENOBIO será capaz de cobrir todos os seus custos e gerar lucro.

#### 12.7.2 Taxa Mínima de Atratividade

A TMA é o mínimo esperado de retorno financeiro que um investimento deve trazer, sendo ela o que determina a viabilidade ou não de um negócio (CAMARGOS, 2014). Como não há uma forma intrínseca para se calcular a TMA, a RENOBIO optou por determinar seu valor acima do que é esperado por investimentos convencionais como a poupança, renda fixa e títulos públicos e privados. Após todas as considerações a TMA estabelecida foi de 20%.

#### 12.7.3 Taxa Interna de Retorno

A taxa de retorno interna (TIR) é um indicador econômico fundamental para determinar se um investimento será lucrativo ou não. Para que o projeto RENOBIO seja financeiramente atraente, a TIR calculada deve exceder a taxa mínima de atratividade (TMA), indicando que o investimento é viável (CAMARGOS, 2014). Ao

analisar o fluxo de caixa e utilizar a função de TIR no Libre Office, obteve-se um valor de 26%, o qual supera a TMA estabelecida. Com base nesses dados, conclui-se que o projeto RENOBIO é economicamente viável.

#### 12.7.4 Payback

O *payback* é um importante indicador de atratividade econômica que determina o prazo para que as receitas se tornem suficientes para pagar o investimento inicial (ZOT; CASTRO, 2015). Essa abordagem é uma medida quantitativa para avaliar a velocidade com que um negócio recupera seu investimento, sendo mais atrativo quanto mais rápido isso ocorrer. O cálculo desse indicador requer o conhecimento prévio do Valor Presente Líquido (VPL), que representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros e serve como um indicador de viabilidade (CAMARGOS, 2014). O VPL foi calculado através da função VPL do Excel, resultando em um valor de R\$20.617.996,14.

Considerando o VPL, TMA e o Fluxo de Caixa apresentados anteriormente, a Tabela 19 apresenta o *payback* para os primeiros 10 anos de operação.

**Tabela 19 - Payback**

Ano	Fluxo de caixa	VP	Payback
0	-R\$ 98.890.880,76	0	-R\$ 98.890.880,76
1	R\$ 25.499.950,75	R\$ 21.249.958,96	-R\$ 77.640.921,80
2	R\$ 26.477.755,18	R\$ 18.387.329,99	-R\$ 59.253.591,81
3	R\$ 27.455.559,62	R\$ 15.888.634,04	-R\$ 43.364.957,78
4	R\$ 28.433.364,05	R\$ 13.712.077,57	-R\$ 29.652.880,21
5	R\$ 29.411.168,48	R\$ 11.819.688,98	-R\$ 17.833.191,23
6	R\$ 30.388.972,91	R\$ 10.177.205,54	-R\$ 7.655.985,69
7	R\$ 31.366.777,34	R\$ 8.753.891,89	R\$ 1.097.906,20
8	R\$ 32.344.581,77	R\$ 7.522.315,97	R\$ 8.620.222,17
9	R\$ 33.322.386,20	R\$ 6.458.101,69	R\$ 15.078.323,86
10	R\$ 34.300.190,64	R\$ 5.539.672,28	R\$ 20.617.996,14

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Ao analisar os valores de *payback* da RENOBIO, foi possível determinar que os custos com investimento inicial serão totalmente cobertos a partir do 6º ano de operação.

## 13 CONCLUSÃO

O biodiesel é um caso concreto de utilização da biomassa para a geração de energia e possui benefícios em relação ao diesel de petróleo, uma vez que é não tóxico e originado de fontes sustentáveis. Além disso, apresenta emissões de combustão de melhor qualidade.

Um combustível renovável contribui de forma significativa para a diminuição da poluição do planeta, o biodiesel gera índices de poluição relativamente baixos comparados aos combustíveis fósseis, atuando na diminuição do aquecimento global, além de ser de origem vegetal e renovável.

Utilizando de tecnologias assertivas, a produção de biodiesel pode se tornar um processo eficiente e de baixo custo. A inovação presente na RENOBIO, aplicada através de uma membrana de separação, carrega grande vantagem dentro do processo, com resultados satisfatórios de purificação.

O método de separação e purificação por membranas apresenta ser vantajoso em relação ao método convencional, de modo que, em uma única etapa, elimina-se o processo de decantação, reduzindo-se a quantidade de água utilizada na lavagem e, conseqüentemente, o volume de efluentes, proporcionando um biodiesel com as especificações exigidas pela ANP para comercialização.

De forma estratégica, para melhor recebimento da matéria-prima, a empresa desenvolvida neste trabalho optou por se localizar em Maringá-PR, próxima a empresas parceiras. Apesar da concorrência presente na região, haverá potencial de desenvolvimento da RENOBIO, carregando em seu legado a tecnologia inovadora da membrana de separação.

O processo produzirá 71,2 ton/dia, 15,1 ton/dia e 14,8 ton/dia de biodiesel, etanol recuperado e glicerina, respectivamente. O produto final será comercializado bem como os resíduos gerados pela indústria, como a glicerina e o etanol hidratado, os quais possuem valor agregado se tratados da forma correta, por isso serão destinados a indústrias que façam seu aproveitamento.

Por meio de um estudo de integração energética utilizando a Análise *Pinch*, foi observado que a RENOBIO possui capacidade de economia de energia igual a 94,47%, o que impacta positivamente na redução de custos de processos e demonstra que a empresa está comprometida com práticas eficientes e sustentáveis de produção.

O projeto demonstrou através de indicadores econômicos e financeiros uma taxa interna de retorno igual a 26%, sendo essa superior à taxa mínima de atratividade de 20%. O *payback* do investimento foi determinado em 6 anos com uma atividade mínima de 26%. Desse modo é seguro afirmar que a RENOBIO possui uma alta viabilidade econômica.

A RENOBIO, comprometida com o meio ambiente, carrega em seu processo uma redução de resíduos notável se comparado ao mercado, evitando o consumo de grandes quantidades de água, além de economizar tempo eliminando a etapa de decantação e diminuindo custos do processo, gerando um produto de qualidade e colaborando para a economia ecológica do país.

## REFERÊNCIAS

ALFALAVAL. **Sistema de flash evaporação a placas**. Disponível em: <https://www.alfalaval.com.br/produtos/separacao/sistemas-de-evaporacao/sistema-de-flash-evaporacao-a-placas/>. Acesso em: 15 jun. 2023.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPAA, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: a review . 2018. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Mikkeli, Finlândia p.356-369, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.069>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118301588?via%3Dihub>. Acesso em: 28 set. 2022.

ANP, 2011. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2011/versao-para-impressao.pdf>. Acesso em: 30 set. 2022.

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE. **Produtos Perigosos**. Disponível em: [http://www.antt.gov.br/cargas/arquivos\\_old/Produtos\\_Perigosos.html](http://www.antt.gov.br/cargas/arquivos_old/Produtos_Perigosos.html). Acessado em: 26 mar. 2023.

ARAÚJO, A. M.; ADERALDO M. B. B.; FREITAS, A. G. A.; MALVEIRA. J. Q.; RIOS M. A. S. **Borras ácidas do processamento do óleo de soja: processos reacionais e caracterizações**. In: XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA - Centro-Oeste, 2016.

ARTINOX, **Montagem Industrial e Usinagem de Precisão**. Tanque Encamisado ART0004. Disponível em: <http://www.artinoxbrasil.com.br/tanque-encamisado-art0004>. Acesso em: 15 maio 2023.

ATADASHI, I. M.; AROUA, M.K.; AZIZ, A. A. R.; SULAIMAN, N. M. N. Refining technologies for the purification of crude biodiesel. 2011. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p.4239-4251, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.029>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261911003242#:~:text=The%20purification%20of%20crude%20biodiesel%20is%20usually%20achieved%20via%20two,and%20residual%20alcohol%20from%20biodiesel>. Acesso em: 28 set. 2022.

BAKER, R. W, **Membrane technology and applications**, 2. ed. California: John Wiley & Sons, 2004.

BARBOSA, E. J.; **Dimensionamento do eixo do impelidor em sistemas de agitação e mistura para processos industriais**, Campinas, SP: [s.n.], 2004.

BARROS, E.; MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, N. C. Análise das propriedades físico-químicas do óleo de soja degomado visando a produção de biodiesel. In:

ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 8., 2000, Maringá. **Anais eletrônicos [...]**. Maringá: UNICESUMAR, 2013. Disponível em: [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit\\_mostra/Janaina\\_Fernandes\\_Medeiros\\_02.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Janaina_Fernandes_Medeiros_02.pdf). Acesso em: 08 out. 2022.

BASHA, A. A.; GOPAL, K. R.; JEBARAJ, S. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. 2009. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p.1628-1634, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032108001743>. Acesso em: 30 out. 2022.

BIODIESELBR. **Metanol ou etanol**: algumas considerações. 20 de fevereiro de 2008. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/metanol-ou-etanol-consideracoes-20-02-08>. Acesso em: 20 set. 2022.

BITTENCOURT, Lucas Aparecido, SANTOS, Mara Eliza dos. **Tratamento da água residual da produção do biodiesel utilizando eletrofloculação**. 2015. PPGB. Disponível em: < [http://ult.edu.br/revista/wp-content/uploads/2016/05/TRATAMENTODA-\\_GUA-RESIDUAL-DA-....pdf](http://ult.edu.br/revista/wp-content/uploads/2016/05/TRATAMENTODA-_GUA-RESIDUAL-DA-....pdf)> Acesso em: 18 out. 2017.

BRASIL, **Lei nº 14.026**, de 15 de jul. de 2020.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb#:~:text=%2D%20Decreto%20N%C2%BA%205.297%2C%20de%206,familiar%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em: 27 set. 2022.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil nº 777, de 1988 Brasil, Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 20 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005**. Dispõe sobre o Registro Especial, na Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, de produtor ou importador de biodiesel e sobre a incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins sobre as receitas decorrentes da venda deste produto. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/l11116.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11116.htm). Acesso em: 22 maio 2023.

BRASIL. **Conselho Nacional de Política Fazendária**. Convênio ICMS nº 22, de 2023. Dispõe sobre a concessão de benefícios fiscais nas operações com biodiesel. Disponível em: [https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2023/CV022\\_23](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2023/CV022_23). Acesso em: 2 jun. 2023.

BRASIL. **Receita Federal abre prazo de entrega da declaração do imposto de renda**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2023/03/receita-federal-abre-prazo-de-entrega-da-declaracao-do-imposto-de-renda>. Acesso em: 1 jun. 2023.

BRUNI, A. L. **A Administração de Custos, Preços e Lucros**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

BSBIOS, Energia Renovável. Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos. Nome do Produto: óleo de soja degomado, 2020. Disponível em: [https://www.bsbios.com/\\_uploads/adminfiles/fispq\\_oleo\\_degomado\\_rev05.pdf](https://www.bsbios.com/_uploads/adminfiles/fispq_oleo_degomado_rev05.pdf)

CAMARGOS, M. A. **Matemática financeira aplicada a produtos financeiros e a análise de investimentos**. São Paulo: Saraiva, 2014.

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

CAVACOS DO BRASIL. **Cavacos de eucalipto e pinos**. 2021. Disponível em: <<http://www.cavacosbrasil.com.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CAVALCANTE, R. M. **Predição da densidade de biodiesel provenientes de diferentes matérias-primas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://epqb.eq.ufrj.br/download/predicao-da-densidade-de-biodiesel.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.

CAVALLARI, P. I. **Avaliação dos processos de purificação do biodiesel via seca**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, Lorena, 2012. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2012/MEQ12042.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7 ed. AMGH Editora Ltda, Porto Alegre, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

COELHO, P. S.; PIERO W. C. **Gaseificação e caracterização da biomassa cavaco de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar pela análise imediata e análise do gás de síntese gerado**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Instituto Federal do Espírito Santo. Vitória. 2022. Disponível em: [https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2929/TCC\\_Gaseificacao\\_Caracteriza%c3%a7%c3%a3o\\_Biomassa\\_Eucalipto\\_Cana.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2929/TCC_Gaseificacao_Caracteriza%c3%a7%c3%a3o_Biomassa_Eucalipto_Cana.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 23 maio 2023.

CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada). **Desafios da precificação no mercado de biodiesel brasileiro**. 8 de fevereiro de 2022.



Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/desafios-da-precificacao-no-mercado-de-biodiesel-brasileiro-1.aspx>. Acesso em: 9 out. 2022.

**COMPRAÇO, Chapa Calandras para Reservatórios e Tanques de Aço.**

Disponível em: <https://compraco.com.br/pages/reservatorios-de-aco>. Acesso em: 20 jun. 2023.

**CONTÁBEIS. A importância dos indicadores financeiros e econômicos para as empresas.** Disponível em: <https://www.contabeis.com.br/artigos/5185/a-importanciados-indicadores-financeiros-e-economicos-para-as-empresas/>. Acesso em: 4 jun. 2023.

**CONTABILIZEI. O que é ISS? Quem deve Pagar esse Imposto?.** Disponível em: <https://www.contabilizei.com.br/contabilidade-online/o-que-e-iss-e-como-calcular>. Acesso em: 30 maio 2023.

**CONTADOR. Novo Regulamento do Imposto sobre a Renda, aprovado pelo Decreto nº 9.580, de 2018.** Disponível em:

<https://contadorperito.com/materia/46371/rir-2018-novo-regulamento-do-imposto-sobre-a-renda-aprovado-pelo-decreto-n-9-580-de-2018-o-rir-1999-aprovado-pelo-decreto-n-3-000-de-1999-foi-revogado>. Acesso em: 30 maio 2023.

DEMIRBAS, A. **Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines**, Springer, 2006.

**CORPO DE BOMBEIROS. Segurança contra incêndio para líquidos combustíveis e inflamáveis: Parte 1 – Generalidades e requisitos básicos.**

Disponível em:

[https://www.bombeiros.pr.gov.br/sites/bombeiros/arquivos\\_restritos/files/documento/2018-12/NPT\\_025\\_Parte\\_1.pdf](https://www.bombeiros.pr.gov.br/sites/bombeiros/arquivos_restritos/files/documento/2018-12/NPT_025_Parte_1.pdf). Acesso em 02 jun. 2023.

DEVEQUE, R. **Aplicação da metodologia Pinch de integração energética em um processo de síntese da amônia.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão. 2019. Disponível em:

[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12502/1/FB\\_COENQ\\_2019\\_1\\_29](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12502/1/FB_COENQ_2019_1_29). Acesso em: 23 maio 2023.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)

- Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010. Disponível em:

<https://repositorio.une sp.br/handle/11449/88869>. Acesso em: 21 nov. 2022.

DIESEL, E. **Diesel - Homem - o trabalho - o destino.** Hamburgo: Hanseática, 1937.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020.** Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2019. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

ERRASTI, A.; BEACH, R.; ODUOZA, C.; APAOLAZA, U. (2009). **Close coupling value chain functions to improve subcontractor manufacturing performance**. International Journal of Project Management, 27(3), 261-269.

EPBR. **Biodiesel: entenda o novo modelo de comercialização aprovado pela ANP**. 7 de maio de 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/biodiesel-entenda-o-novo-modelo-de-comercializacao-aprovado-pela-anp/>. Acesso em 25 nov. 2022.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Temperatura**. EMBRAPA. 8 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/exigencias-climaticas/temperatura#:~:text=A%20soja%20se%20adapter%20melhor,emerg%C3%Aancia%20da%20planta%20ficam%20comprometidas>. Acesso em: 11 dez. 2022.

FARIA, H. F. J.; ALMEIDA, F. M. M.; SIMAO, F. P. **Análise financeira: um estudo em uma distribuidora LTDA**. In: IX SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 197, 2012. Actas do [...]. Eixo temático: Gestão, Inovação e Tecnologia para Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/58016779.pdf>. Acesso em: 27 maio 2023.

FERREIRA, A. C. **Contabilidade ambiental: uma informação para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Atlas, 2006.

FILGUEIRAS, I. **SAC x Tabela Price: qual é melhor para você?**. Disponível em: <https://valorinveste.globo.com/produtos/imoveis/noticia/2019/07/26/sacxtabelaprice-qualemelhorparavoce.ghtml>. Acesso em: 3 jun. 2023.

VIDIGAL FILHO, P. S.; VIDIGAL, A. G. **Conhecendo Maringá**. s.d. Disponível em: <http://www.pgm.uem.br/maringa/maringa.htm>. Acesso em: 11 dez. 2022.

FOGLER, H. S. **Elementos de engenharia das reações químicas**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013.

FORBES. **Produção de biodiesel do Brasil chegará a 10,2 bi de litros em 2025, diz StoneX**. 21 de junho de 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/06/producao-de-biodiesel-do-brasil-deve-chegar-a-102-bi-de-litros-em-2025-diz-stonex/>. Acesso em: 19 set. 2022.

FORBES. **Veja a lista das 100 maiores empresas do agronegócio do Brasil**. 17 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/01/veja-a-lista-forbes-as-100-maiores-empresas-do-agro/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FURTADO, A. T.; SUSLICK, S. B. Previsão do consumo de petróleo no Brasil por meio de modelos de intensidade de energia. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, nº1, 1992.

GENTIL, R. de M.; SERRA, J. C. V.; CASTRO, R. B. de. **Resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração de oleaginosas para biodiesel e seus potenciais de uso**. Geoambiente on-line, n. 18, p. 127-142, jan./jun., 2012.

GOMES, M. C. S, PEREIRA, N. C, BARROS, S. T. D. Separation of biodiesel and glycerol using ceramic membranes. **Journal of Membrane Science**, 13 fev. 2010, pg. 271-276.

GOMES, M. C. S. **Estudo da produção de biodiesel por transesterificação etílica e sua purificação utilizando processos com membranas**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

GOMES, M. C. S.; ARROYO, P. A.; PEREIRA, N. C. Biodiesel production from degummed soybean oil and glycerol removal using ceramic membrane. 2011. **Journal of Membrane Science**, v. 378, p.453-461, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.05.033>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738811003723>. Acesso em: 15 out. 2022.

GOMES, M. C. S.; ARROYO, P. A.; PEREIRA, N. C. Influence of acidified water addition on the biodiesel and glycerol separation through membrane technology. 2013. **Journal of Membrane Science**, Maringá, Brasil, p.1-29, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2012.12.036>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738812009556?via%3Dihub>. Acesso em: 11 out. 2022.

GOV.BR (Governo Brasileiro). Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biodiesel**. 13 de julho de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 19 set. 2022.

GOV.BR (Governo Brasileiro). Ministério de Minas e Energia. **ANP faz audiência pública sobre regulamentação da importação de biodiesel**. 10 de novembro de 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/anp/pt-br/canais\\_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/anp-faz-audiencia-publica-sobre-regulamentacao-da-importacao-de-biodiesel](https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/anp-faz-audiencia-publica-sobre-regulamentacao-da-importacao-de-biodiesel). Acesso em: 12 dez. 2022.

GOV.BR (Governo Brasileiro). Ministério de Minas e Energia. Biodiesel. **Sobre o PNPB**. 8 de março de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/sobre-o-pnpb>. Acesso em: 14 out. 2022.

GUNAY, M. E.; TURKER, M.; TAPAN, N. A. Significant parameters and technological advancements in biodiesel production systems. 2019. **Fuel**, Istambul, Turquia, v. 250, p.27-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.147>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236119305307?via%3Dihub>. Acesso em: 26 set. 2022.

HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NÓBREGA, R. **Processos de Separação por Membranas**. Rio de Janeiro:E-papers, 2006, 180p.

ISOFAR. **Fichas de informações de segurança de produtos químicos - FISPQ.**

Disponível em:

<https://isofar.com.br/fispq/?sf=glicerina&pfqTIm=u0wDCbP%40EiNv&WmtoyuT=VgbkEh&pfqTIm=u0wDCbP%40EiNv&WmtoyuT=VgbkEh>. Acesso em: 21 nov. 2022.

FERNANDES JÚNIOR, C. C. **Integração energética da etapa de extração de óleo de soja utilizando análise pinch.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2010. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1889/1/Carlos%20Coutinho%20Fernandes%20Junior.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

KRAUSE, L. C. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal.** 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/14362>. Acesso em: 23 nov. 2022.

KNOTHE G. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. 2010. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 378, p.364–73, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360128509000677>. Acesso em: 15 out. 2022.

LAZARINI, Caroline A.; TAVARES, Fabricio H.; OLIVEIRA, Henrique S. de C.; RCELLOS, Vinícius A. **Aplicação de Técnica de Integração Energética no Sistema de Pré-Tatamento de Matéria-Prima para a Produção de Biodiesel.** 2016. 53 p. Tese (Graduação em Engenharia Química) - Universidade de São Francisco, Campinas.

LEGISWEB. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014.** Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acesso em: 16 out. 2022.

LEIS MUNICIPAIS. **Lei N° 3936/2005.** 05 maio 2021. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/m/maringa/lei-ordinaria/2005/694/6936/lei-ordinaria-n-6936-2005-institui-o-programa-de-desenvolvimento-economico-de-maringa-prodem-empresa>. Acesso em: 30 nov. 2022

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. **O biocombustível no Brasil.** Novos estudos CEBRAP, p. 15-21, 2007.

LORA, E.; VENTURINI, O. **Biocombustíveis.** vol 1. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

LORA, E.; VENTURINI, O. **Biocombustíveis.** vol. 2. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetro de qualidade e métodos analíticos. 2009. **SciELO Brasil**, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/SbsL599jyMJbxxKpzbMdmZM/?lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2022.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. 1999. **Bioresource Technology**, Lincoln, EUA, v. 70 p.1-15, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852499000255>. Acesso em: 19 set. 2022.

MACHADO, N. **Biodiesel: entenda o novo modelo de comercialização aprovado pela ANP**. Disponível em: <https://epbr.com.br/biodiesel-entenda-o-novo-modelo-de-comercializacao-aprovado-pela-anp/>. 7 maio 2021. Acesso em: 29 nov 2022.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. Rio de Janeiro (RJ): Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

MERCK. **Linoleic acid for synthesis**. 2017. Disponível em: [http://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/Linoleic-acid,MDA\\_CHEM-843483](http://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/Linoleic-acid,MDA_CHEM-843483). Acesso em: 11 nov 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: Inclusão Social e Desenvolvimento Territorial**. 21 set. 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/arquivos/cartilha-do-programa-nacional-de-producao-e-uso-de-biodiesel-pnpb.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022

NASCIMENTO, M. D. **Otimização da lenha e cavaco de madeira para a produção de energia em agroindústria seropédica**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2007.

NOUREDDINI, H.; HARKEY D.; MEDIKONDURU, V. A continuous process for the conversion of vegetable oils into methyl esters of fatty acids. 1998. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Lincoln, EUA p.1775-1783, 1998. Disponível em: [https://digitalcommons.unl.edu/chemeng\\_biomaterials/12/?utm\\_source=digitalcommons.unl.edu%2Fchemeng\\_biomaterials%2F12&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://digitalcommons.unl.edu/chemeng_biomaterials/12/?utm_source=digitalcommons.unl.edu%2Fchemeng_biomaterials%2F12&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages). Acesso em: 30 set. 2022.

NUBANK. **O que é ICMS? Quem paga e quem é isento desse tributo?** Disponível em: <https://blog.nubank.com.br/o-que-e-icms>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OLIVEIRA, C. C. F; SUAREZ, P. A. Z; SANTOS, W. L. P. **Biodiesel: Possibilidades e Desafios**. In: XIV ENEQ - Encontro Nacional de Ensino de Química. 7., 2008, Curitiba: Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2008. Nº 28. Disponível em: <https://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/downloads/material/biodiesel.pdf>. Acesso em 01 jul. 2023.

OLIVEIRA, J.C.; **Manual de Aplicação da NR-12. Partes de sistemas de comando de máquinas relacionadas a segurança.** Brasília/DF. Ministério do Trabalho e Previdência, dezembro de 2022.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel:** Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza, CE. Tecbio, 2003.

PERRY, R. H., GREEN, D. W; **PERRY'S Chemical Engineers' Handbook.** 8 ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2007.

PETROBRAS. **Norma Petrobras N-270.** Revisão F. Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico. Rio de Janeiro, Petrobras, 2014.

PORTER, M.C. **Handbook of industrial membrane technology.** Noyes publications, NJ, 1990.

Postos Brasil. **As três grandes na distribuição de combustíveis no Brasil.** 27 de outubro de 2020. Disponível em: <https://www.brasilpostos.com.br/noticias/colunistas/as-tres-grandes-na-distribuicao-de-combustiveis-no-brasil/>. Acesso em: 26 nov. 2022.

PRATES, C. P. T., PIEROBON, E. C., COSTA, R. C.; **Formação do mercado de biodiesel no Brasil.** 2007.

PRODUTOS PARA LABORATÓRIO. **Reator Encamisado.** Disponível em: <https://www.produtosparalaboratorio.com.br/produtos/reator-de-laboratorio/reator-encamisado>. Acesso em: 16 jun. 2023.

RAMOS, L. P.; SILVA, F.R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. **Tecnologias de Produção de Biodiesel.** Revista Virtual de Química, v. 3, n. 5, out. 2011, p. 385-405.

RANGEL, E. M. **Modelamento da eletrocoagulação aplicada ao tratamento de águas oleosas proveniente das indústrias extrativas.** Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro, 2008.

RECEITA FEDERAL. **Instrução Normativa nº 1.700,** de 16 de março de 2017. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?naoPublicado=&idAto=81268&visao=compilado>. Acesso em: 21 abr. 2023.

RESENDE, M. G. **Desenvolvimento de um programa computacional em Scilab baseado no método Pinch de integração energética.** 2013. 81 f. Tese (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de São Francisco, São Carlos – SP, 2013.

REVISTATAE. **A eficiência das membranas de ultrafiltração.** Setembro de 2012. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/332/a-eficiencia-das-membranas-de-ultrafiltracao>

ROCHA, G. **Análise termodinâmica, termoeconômica e econômica de uma usina sucroalcooleira com processo de extração por difusão**. 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/88870>. Acesso em: 30 maio. 2023.

ROSA, G. O. **Modelagem e análise do processo de degomagem no refino de óleo de soja**. 2012. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3785/1/000222729.pdf>. Acesso em: 8 out. 2022.

SANTOS, L. F.; MEDEIROS, J. F.; KAJIHARA, V. Y.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M. **Caracterização da glicerina proveniente da produção do biodiesel por transesterificação etílica do óleo de soja bruto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2015, Campinas. **Canais eletrônicos [...]**. Campinas: UNICAMP, 2015. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/148-32548-259950.pdf>. Acesso em: 13 out. 2022.

SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A.; **Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química**. Campus de Pampulha, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, v.13, n.2, p.223-231, maio-ago. 2006.

SANTOS, L. O. **Nova abordagem para a determinação do glicerol livre em biodiesel baseada na oxidação com o periodato**. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2019.

SEBRAE. **Ponto de equilíbrio**: ferramenta para manter seu negócio seguro. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/pontode-equilibrio,67ca5415e6433410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 4 jun. 2023.

SENKOVSK, A. C. **Tecnologia no agronegócio**: Maringá se firma como ecossistema de startups. Sistema FAEP. 2 de maio de 2019. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/tecnologia-no-agronegocio-maringa-se-firma-como-ecossistema-de-startups/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

SENSOZ, S.; ANGIN, D.; YORGUN, S. Influence of particle size on the pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L.): fuel properties of bio-oil. 2000. **Biomass and Bioenergy**, Turquia p.1-2, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00041-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953400000416>. Acesso em: 19 set. 2022.





<https://www.trocadordecalor.com.br/trocador-de-calor-a-placas-preco>

UDOP. **O Brasil faz maior exportação de biodiesel em 6 anos e meio.** 13 de julho de 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/07/13/brasil-faz-maior-exportacao-de-biodiesel-em-6-anos-e-meio.html>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ULLEREV. **Tanques de Estocagem.** Disponível em: <https://www.ullerev.com.br/tanques-de-estocagem>. Acesso em 30 maio 2023.

VÁCUOINDUSTRIAL. **Condensador Casco tubo.** Disponível em: <https://www.vacuoindustrial.com.br/condensador-casco-tubo>. 14 jun. 2023.

VALLIM, R. **Produção agrícola de Maringá cresce 47,4% e chega a quase R\$ 290 milhões em 2020.** Ricmais. 29 de julho de 2021. Disponível em: <https://ricmais.com.br/noticias/producao-agricola-de-maringa-cresce-474-e-chega-a-quase-r-290-milhoes-em-2020/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

VALOR. **CSLL: O que é, para que serve, quem deve pagar, qual a alíquota, como calcular, quando recolher.** Disponível em: <https://valor.globo.com/legislacao/noticia/2023/04/17/csll-o-que-e-para-que-serve-quem-deve-pagar-qual-a-aliquota-como-calcular-quando-recolher.ghtml>. Acesso em: 1 jun. 2023.

ZARPELON, W.; AZZOLINI, J. C. **Caldeiras de alta pressão: caracterização e avaliação da qualidade do tratamento das águas de abastecimento.** Unoesc & Ciência - ACET Joaçaba, v. 6, n. 2, p. 141-154, jul./dez. 2015

ZEZZA, T. R. C.; CASTILHO, M. S.; STRADIOTTO, N. R. Determinação de fósforo em biodiesel utilizando eletrodo quimicamente modificado com fosfomolibdato. In: REUNIÃO ANUAL, 31., 2008, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos [...].** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Química, 2008, p. 1006. Disponível em: <http://sec.s bq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T1006-1.pdf>. Acesso em: 9 out. 2022.

ZOT, W.; CASTRO, M. L. **Matemática Financeira: fundamentos e aplicações.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

## **ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL**

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	AST M D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1) (2)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	850 a 900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 a 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0 (3)	-	6304	EN ISO 12937
<b>(Redação dada pela Resolução ANP N° 51 DE 25/11/2015):</b>					
Contaminação Total, máx. (13)	mg/kg	24	15995	-	EN12662 (5)
Ponto de fulgor, mín. (4)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764	-	EN 14103 (5)
Cinzas sulfatadas, máx. (6)	% 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 15556	-	EN 14108 (5) EN 14109 (5) EN 14538 (5)

(continua)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	AST M D	EN/ISO
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538 (5)
Fósforo, máx. (7)	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107 (5) EN 16294 (5)
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx. (6)	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número Cetano (6)	-	Anotar	-	613 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	(9)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448 -	664 -	EN 14104 (5)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15771 15908 (5) -	6584 (5) -	EN 14105 (5) EN 14106 (5)

(conclusão)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	AST M D	EN/ISO
Glicerol total, máx. (10)	% massa	0,25	15344 15908 (5)	6584 (5) -	EN 14105 (5)
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,7	15342 (5) 15344 15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15342 (5) 15344 15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
triglicerídeo, máx.	% massa	0,20	15342 (5) 15344 15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110 (5)
Índice de Iodo	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111 (5)
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (11) (Redação dada pela Resolução ANP N° 798 DE 01/08/2019).	hora	12			EN 14112 (5) EN 15751 (5)

**Nota:**

- ( 1) Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio. Em caso de disputa, o produto só poderá ser considerado como não especificado no Aspecto, caso os parâmetros teor de água e/ou contaminação total estejam não conformes.
- ( 2) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade no Aspecto, deverão ser realizadas as análises de teor de água e contaminação total. O produto será reprovado caso pelo menos um desses dois últimos parâmetros esteja fora de especificação.
- ( 3) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade, será admitida variação de +50 mg/kg no limite do teor de água no biodiesel para o produtor e de +150 mg/kg para o distribuidor.
- ( 4) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
- ( 5) Os métodos referenciados demandam validação para os materiais graxos não previstos no método e rota de produção etílica.
- ( 6) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da Tabela de Especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados à ANP pelo Produtor de biodiesel, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de material graxo, o Produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de materiais graxos utilizados.
- ( 7) Em caso de disputa, deve ser utilizado o método EN 14107 como referência.
- ( 8) O método ASTM D6890 poderá ser utilizado como método alternativo para determinação do número de cetano.
- ( 9) Limites conforme Tabela II. Para os estados não contemplados na tabela o ponto de entupimento a frio permanecerá 19°C.
- ( 10) Poderá ser determinado pelos métodos ABNT NBR 15908, ABNT NBR 15344, ASTM D6584 ou EN14105, sendo aplicável o limite de 0,25% em massa. Para biodiesel oriundo de material graxo predominantemente láurico, deve ser utilizado método ABNT NBR 15908 ou ABNT NBR 15344, sendo aplicável o limite de 0,30% em massa.
- ( 11) O limite estabelecido deverá ser atendido em toda a cadeia de abastecimento do combustível.

## **ANEXO B – PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS**

Para os cálculos do balanço de energia dos processos que dependem apenas da variação de temperatura, sem ocorrência de reação química, foi necessário a utilização apenas dos calores específicos, apresentados pela Tabela B1 abaixo.

**Tabela B1 - Calor Específico**

<b>Componente</b>	<b>Cp (J/g.K)</b>
Água	4,18
Etanol	2,438
Glicerol	2,377
NaOH	3,93
Óleo de Soja (TAG)	2,269
Biodiesel	1,95
AGL	2,03
Impurezas	0
Sabões	4,18
HCl	4,184

**Fonte: PERRY (2007).**

No caso onde ocorreu reação química (reator de transesterificação), houve também a contribuição da entalpia de reação no balanço de energia, que utilizou os calores de formação dos componentes envolvidos no seu cálculo, apresentados abaixo na Tabela B2.

**Tabela B2 - Calor de Formação**

<b>Componente</b>	<b>Calor de Formação (MJ/kmol)</b>
Água	-285,84 <sup>a</sup>
CO <sub>2</sub>	-393,51 <sup>b</sup>
O <sub>2</sub>	0 <sup>b</sup>
Glicerina	-667,8 <sup>c</sup>
Óleo de Soja	-1401,67 <sup>b</sup>
Biodiesel	-689,01 <sup>b</sup>
Etanol	-234,95 <sup>a</sup>

**Fonte: a – HIMMELBLAU (2006); b – PERRY (2007); c – MORRISON (1994)**



## **APÊNDICE A – CÁLCULOS BALANÇO DE MASSA**

Os cálculos para o balanço se baseiam no princípio da conservação de massa, descrito pela Equação A1 abaixo:

$$\Sigma Entra - \Sigma Sai + \Sigma Gerado - \Sigma Consumido = Acúmulo \quad (A1)$$

Ou seja, considera-se que para todas as operações não haverá acúmulo, sendo o fluxo mássico de entrada igual ao fluxo de saída.

### 1. AQUECIMENTO DO ÓLEO DEGOMADO

A vazão mássica de 3.000 kg/h de óleo degomado foi pré-definida como a base de cálculo para os balanços. As porcentagens mássicas de cada componente das correntes foram obtidas pela literatura (GOMES, 2012).

Como não houve mistura ou reação química nesta etapa, a quantidade de massa que sai do tanque de aquecimento é igual a quantidade de massa que entra, considerando que o sistema não possui acúmulo.

### 2. AQUECIMENTO DA MISTURA BÁSICA

Assim como na etapa anterior, a quantidade de massa que sai do tanque de aquecimento da mistura básica é igual a quantidade de massa que entra, não admitindo acúmulo no sistema, portanto:

### 3. REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

$$m' C1 + m' C2 - m' C3 = 0 \quad (A2)$$

A vazão mássica de 3.000 kg/h de óleo degomado foi pré-definido como a base de cálculo para os balanços. As porcentagens mássicas de cada componente das correntes foram obtidas pela literatura (GOMES, 2012). Na Corrente 2, a vazão de NaOH foi calculada como sendo 1% da vazão total de óleo, como descrito abaixo.

$$m_{NaOH} = \%mássica * m_{C1} \quad (A3)$$

Para a vazão mássica de etanol o cálculo foi feito obedecendo à proporção estequiométrica de 1 kmol de óleo para 7,5 kmol de etanol. Sabendo que a massa molar do óleo é igual a 872,4 kg/kmol e do álcool igual a 46,07 kg/kmol, calculou-se a vazão mássica do álcool.

$$mEtanol = MMEtanol * n^{\circ} \text{ de mols} \quad (A4)$$

$$mEtanol = \frac{mC1 * mEtanol}{MM_{\text{óleo}} * n^{\circ} \text{ de mols de óleo}} \quad (A5)$$

Os valores de cada componente na C3 foram obtidos através das extensões das reações e da conversão de reação igual a 97%. Assim, para a transesterificação temos que,

$$n^{\circ} \text{ de mols} = \frac{\text{massa}}{MM} \quad (A6)$$

$$nTGL = \frac{mTGL}{MM TGL} = 3,4 \text{ kmol}$$

$$mEtanol = \frac{mEtanol}{MM Etanol}$$

Com isso, através das Equações A7 e A8 foi possível realizar o cálculo das extensões de cada componente. Além disso, sabe-se que a extensão máxima se refere ao reagente limitante, que no caso será o TGL.

$$\xi_{\text{máx}} = \frac{n^{\circ} \text{ de mols final} - n^{\circ} \text{ de mols inicial}}{\nu} \quad (A7)$$

$$\xi_{\text{máx}} = \frac{n_f TGL - n_i TGL}{\nu TGL}$$

$$\xi_{\text{máx}} = \frac{n_f Etanol - n_i Etanol}{\nu Etanol}$$

Para calcular a extensão real da reação, foi levado em consideração a sua conversão de 98%.

$$\xi_{\text{real}} = \xi_{\text{máx}} TGL * \text{conversão} \quad (A8)$$

Portanto, através da extensão real encontrada, bastou utilizar a Equação A9 abaixo para encontrar a quantidade de mols de cada componente que permaneceu no final da reação.

$$n_f = n_i - \nu * \xi_{\text{real}} \quad (A9)$$

No fim, bastou multiplicar a quantidade de mols no final da reação pela massa molar de cada componente para se obter as quantidades em massa desses

componentes. Para o biodiesel, sua massa molar precisou ser previamente calculada a partir do balanço da equação.

Considerando a estequiometria da reação e as massas molares obtidas pela literatura, temos os valores de massa molar de 872,4 kg/kmol para o TGL, 138,21 kg/kmol para o etanol, e 92,09 kg/kmol para o glicerol. Assim sendo,

$$MM_{Biodiesel} = \frac{MM \text{ Óleo} + MM \text{ Etanol} - MM \text{ Glicerol}}{\nu} \quad (A10)$$

Logo após, calculou-se a massa de biodiesel que foi obtida no final da reação através da Equação A11.

$$m_{Biodiesel} = n^{\circ} \text{ de mols} * MM \text{ Biodiesel} \quad (A11)$$

#### 4. REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO

Os valores de cada componente na reação de saponificação foram obtidos através das extensões das reações e da conversão de reação igual a 90%. Assim:

$$n^{\circ} \text{ de mols} = \frac{\text{massa}}{MM} \quad (A12)$$

$$n_{AGL} = \frac{m_{AGL}}{MM_{AGL}} = 0,09 \text{ kmol} \quad (A13)$$

Com isso, através das Equações A14 e A17 foi possível realizar o cálculo da extensão de cada componente. Além disso, sabe-se que a extensão máxima se refere ao reagente limitante, que no caso será o AGL.

$$\xi_{m\acute{a}x} = \frac{n^{\circ} \text{ de mols final} - n^{\circ} \text{ de mols inicial}}{\nu} \quad (A14)$$

$$\xi_{m\acute{a}x} = \frac{n_f \text{ AGL} - n_i \text{ AGL}}{\nu \text{ AGL}} \quad (A15)$$

$$\xi_{m\acute{a}x} = \frac{n_f \text{ NaOH} - n_i \text{ NaOH}}{\nu \text{ NaOH}} \quad (A16)$$

Desse modo, a extensão máxima de reação é igual à extensão máxima do AGL. Para calcular a extensão real da reação, foi levado em consideração a sua conversão de 90%.

$$\xi_{real} = \xi_{m\acute{a}x} \text{ AGL} * \text{convers\~{a}o} \quad (A17)$$

Através da extensão real, bastou utilizar a Equação A18 abaixo para encontrar quantos mols de cada componente permaneceram no final da reação.

$$n_f = n_i - v * \xi_{real} \quad (A18)$$

Novamente, bastou multiplicar a quantidade de mols no final da reação pela massa molar de cada componente para se obter as quantidades em massa desses componentes.

Considerando a estequiometria da reação e as massas molares obtidas pela literatura, temos os valores de massa molar de 283 kg/kmol para o AGL, 40 kg/kmol para o NaOH, 305 kg/kmol para o sabão e 18 kg/kmol para a água. Assim sendo, logo após pode-se chegar ao resultado de quantos quilogramas de biodiesel foram obtidos no final da reação através da Equação A19.

$$m_{Sabão} = n^o \text{ de mols} * MM \text{ Sabão} \quad (A19)$$

As Tabelas A1 e A2 a seguir demonstram os valores obtidos através dos cálculos descritos anteriormente para a transesterificação e a saponificação, respectivamente.

	Componente			
	TGL	Etanol	Biodiesel	Glicerina
Estequiometria	1	3	3	1
Massa molar (kg/kmol)	872,40	46,07	306,17	92,09
Vazão mássica Corrente 1 (kg/h)	2968,02	1188,19	-	-
Vazão molar Corrente 1 (kmol/h)	3,40	25,79	-	-
Vazão molar Corrente 3 (kmol/h)	0,10	15,89	9,90	3,30
Vazão mássica Corrente 3 (kg/h)	89,04	732,09	3031,18	303,90

Fonte: Autoria própria (2022).

**Tabela A2 - Especificação do balanço de massa na reação de saponificação**

	Componente			
	AGL	NaOH	Sabão	Água
Estequiometria	1	1	1	1
Massa molar (kg/kmol)	283,00	40,00	305,00	18,00
Vazão mássica Corrente 1 (kg/h)	26,10	30,00	-	-
Vazão molar Corrente 1 (kmol/h)	0,09	0,75	-	-
Vazão molar Corrente 3 (kmol/h)	0,01	0,67	0,08	0,08
Vazão mássica Corrente 3 (kg/h)	2,61	26,68	25,32	1,49

Fonte: Autoria própria (2022)

## 5. SEPARAÇÃO

Essa etapa ocorre com a entrada da C15 contendo toda mistura reacional acidificada. Para a corrente de água acidificada é considerado que sua massa total deve ser igual a 1% da massa total da mistura reacional, ou seja:

$$\dot{m}(\text{Água} + \text{HCl}) = 1\% * \dot{m}C9 = 421,81 \text{ kg/h} \quad (\text{A20})$$

Considera-se também que a composição de HCl é igual a 0,5% da vazão mássica total da C14, portanto:

$$\dot{m}HCl = 0,5\% * \dot{m}C14 = 2,11 \text{ (kg/h)} \quad (\text{A21})$$

As vazões mássicas de cada componente do permeado foram calculadas através de dados obtidos do trabalho de Gomes (2012). Onde cada cálculo de massa foi feito utilizando a seguinte equação:

$$\%mássica = \frac{\text{massa}}{\text{massa total}} * 100\% \quad (\text{A22})$$

Assim foi possível encontrar os valores de vazões mássicas na C17 contendo o permeado, o que possibilitou também encontrar as vazões mássicas em C16, contendo o concentrado.

## 6. RECUPERAÇÃO DO ETANOL DA GLICERINA

Considerando um teor de umidade de 2,39% em massa na C21 (Santos, *et al.*, 2015), obteve-se assim as composições da C21 e C20 antes e após a recuperação do etanol, considerando que este sofreu uma remoção de 95,0%.

$$m_{\text{água}} = 2,39\% * m_{C21} \quad (\text{A23})$$

$$m_{C21} = \frac{m_{\text{água}}}{\%m_{\text{ássica água}}} * 100\% \quad (\text{A24})$$

Para os demais componentes, foi utilizada a lei da conservação de massa para calcular as suas porcentagens nas correntes de éster, glicerina, TAG, AGL, NaOH, impurezas, sabões e HCl, como na equação a seguir.

$$m_{\text{GlicerinaC16}} = m_{\text{GlicerinaC21}} \quad (\text{A25})$$

Já para as quantidades restantes de etanol e água nas correntes, utilizou-se o cálculo a seguir.

$$m_{\text{EtanolC20}} = m_{\text{EtanolC16}} - m_{\text{EtanolC21}} \quad (\text{A26})$$

$$m_{\text{ÁguaC20}} = m_{\text{ÁguaC16}} - m_{\text{ÁguaC21}} \quad (\text{A27})$$

## 7. RECUPERAÇÃO DO ETANOL DO BIODIESEL

De forma análoga, considerando um teor de umidade de 0,01% em massa de C19 (Gomes, 2012), obteve-se composições da C19 e C18 após a recuperação do etanol, considerando que este sofreu uma remoção de 55,8%.

$$m_{\text{água}} = 0,01\% * m_{C19} \quad (\text{A28})$$

$$m_{C19} = \frac{m_{\text{água}}}{\%m_{\text{ássica água}}} * 100\% \quad (\text{A29})$$

Para os demais componentes, foi utilizada a lei da conservação de massa para calcular as suas porcentagens nas correntes C19 e C8 de éster e glicerina, como na equação a seguir.

$$m_{\text{ÉsterC17}} = m_{\text{ÉsterC19}} \quad (\text{A30})$$

Já para as quantidades restantes de etanol e água nas correntes, utilizou-se o cálculo a seguir.

$$mEtanolC18 = mEtanolC17 - mEtanolC19 \quad (A31)$$

$$mÁguaC18 = mÁguaC17 - mÁguaC19 \quad (A32)$$



## **APÊNDICE B – CÁLCULOS BALANÇO DE ENERGIA**

## 1. AQUECIMENTO DO ÓLEO

Como esse processo se trata de uma operação sem reação química e sem mudança de fase, o balanço de energia é determinado baseado apenas no valor da entalpia sensível (Equação B1), sendo ela a diferença de calor requerido pelas correntes de saída e entrada do tanque, no intervalo de 22°C a 45°C. O calor requerido por cada corrente foi calculado através do somatório dos calores sensíveis de todos os componentes que as compõem. Assim sendo:

$$Q = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) \quad (B1)$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_{\text{Água}} + Q_{\text{AGL}} + Q_{\text{Impurezas}} + Q_{\text{TAN}} \quad (B2)$$

$$Q_{\text{Tanque}} = Q_3 - Q_2 = 156.476,96 \text{ kJ/h} \quad (B3)$$

Em posse dos parâmetros termodinâmicos no ANEXO B, das taxas mássicas de cada componente envolvido na operação e sabendo que o calor latente de vaporização da água ( $\lambda$ ) é igual a 2258 kJ/kg, foi possível calcular a quantidade de energia requerida pelo processo. A equação abaixo calcula a quantidade de vapor necessária para o processo, onde  $Q$  é a quantidade de calor necessária e  $\dot{m}$  é a vazão de vapor necessária para fornecer aquela determinada quantidade de energia:

$$Q = \dot{m} * \lambda \quad (B4)$$

$$\dot{m} = \frac{Q}{\lambda} = 69,30 \text{ kg/h} \quad (B4)$$

## 2. AQUECIMENTO DA MISTURA BÁSICA

Assim como na etapa anterior, nesse processo também não há reação química e nem mudança de fase, portanto a energia requerida para aquecer a mistura básica de 22°C para 45°C é igual ao valor da entalpia sensível (Equação B3). Então:

$$Q = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) \quad (B2)$$

$$Q_6 = Q_{\text{NaOH}} \quad (B2)$$

$$Q_7 = Q_{\text{Etanol}} \quad (B2)$$

$$Q_8 = Q_{\text{NaOH}} + Q_{\text{Etanol}} \quad (B2)$$

$$Q_{\text{Tanque}} = Q_8 - Q_6 - Q_7 = 69.338,14 \text{ kJ/h} \quad (B2)$$

Da mesma forma que na etapa anterior, foi possível através da determinação da quantidade de energia necessária pelo equipamento, calcular também a quantidade de vapor necessária:

$$\dot{m}_i = \frac{Q}{\lambda} = 30,7 \text{ kg/h} \quad (\text{B4})$$

### 3. TRANSESTERIFICAÇÃO

No processo de transesterificação há a ocorrência de uma reação química sem mudança de fase, o que ocasiona na escolha de uma equação que agora quantifique a entalpia de reação ( $\Delta H_{rx}$ ) além da entalpia sensível (Equação B4), a fim de manter a temperatura das correntes que já entram a 45 °C nessa temperatura durante toda a reação.

$$Q = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) + F_{i0} X \Delta H_{rx}(T) \quad (\text{B5})$$

Para realização do cálculo foi necessário determinar a entalpia de reação ( $\Delta H_{rx}$ ) ajustada para a temperatura de 45°C. Considerando que temos uma reação química na fase líquida, em um reator isotérmico ( $T = T_0$ ) com um trabalho de eixo muito pequeno ( $W_s = 0$ ), essa entalpia de reação pode ser determinada através do método que utiliza as entalpias de formação de cada componente envolvido na reação (SILVA; ANDRADE, 2020), descrito pela Equação B5 abaixo:

$$\Delta H_{rx}(45^\circ\text{C}) = \Delta H^\circ_{rx} + \Delta C_p(T - T_r) \quad (\text{B6})$$

Onde, seguindo as proporções estequiométricas da reação de transesterificação:

$$\Delta H^\circ_{rx} = (H_f^\circ_{\text{glicerina}} + 3 * H_f^\circ_{\text{biodiesel}}) - (H_f^\circ_{\text{óleo}} + 3 * H_f^\circ_{\text{Etanol}}) \quad (\text{B7})$$

$$\Delta C_p = (C_p_{\text{glicerina}} + 3 * C_p_{\text{biodiesel}}) - (C_p_{\text{óleo}} + 3 * C_p_{\text{Etanol}}) \quad (\text{B8})$$

Assim, em posse dos dados termodinâmicos do ANEXO B para cada componente, sabendo que a conversão é de 97% e que 2968,02 kg/h dos 3000 kg/h da vazão mássica de óleo na entrada é de TAG puro, foi possível realizar o cálculo da entalpia de reação ( $\Delta H_{rx}$ ) na temperatura utilizada no processo da RENOBIO (45°C), e por fim determinar o calor requerido no processo para manter a temperatura isotérmica durante toda a operação, utilizando a Equação B8:

$$Q = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) + [ \Delta H^{\circ}rx + \Delta C_p (T - T_r) ] * F_{0, \text{óleo}} * X_{\text{óleo}} \quad (\text{B9})$$

$$Q = 8.247.104,31 \text{ kJ/h} \quad (\text{B9})$$

Novamente calculou-se a quantidade de vapor necessária para fornecer essa quantidade de energia para o reator, descrito abaixo:

$$m_i = \frac{Q}{\lambda} = 3.652,39 \text{ kg/h} \quad (\text{B4})$$

#### 4. MISTURA ÁCIDA

Seguindo o mesmo raciocínio da mistura básica, o processo de mistura ácida, que solubiliza HCl em água, não considera reação química ou mudança de fase de nenhum componente. Portanto, o calor transferido é calculado baseado apenas na entalpia sensível do sistema (Equação B9), aquecendo a mistura de 22°C a 75°C.

$$Q' = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) \quad (\text{B10})$$

$$Q_{12} = Q_{\text{HCl}} = 0 \text{ kJ} \quad (\text{B11})$$

$$Q_{13} = Q_{\text{Água}} = 0 \text{ kJ} \quad (\text{B12})$$

$$Q_{14} = Q_{\text{HCl}} + Q_{\text{Água}} = 93.450,18 \text{ kJ/h} \quad (\text{B13})$$

$$Q_{\text{Tanque}} = Q_{14} - Q_{13} - Q_{12} = 93.450,18 \text{ kJ/h} \quad (\text{B14})$$

Novamente calculou-se a quantidade de vapor necessária para fornecer essa quantidade de energia para o reator, descrito abaixo:

$$m_i = \frac{Q}{\lambda} = 41,4 \text{ kg/h} \quad (\text{B4})$$

#### 5. MISTURA REACIONAL COM ÁGUA ACIDIFICADA

Nesta etapa não é necessário adicionar nenhum calor ao processo, pois a corrente contendo o produto reacional a 45°C entra em equilíbrio térmico ao entrar em contato com a corrente que contém a água acidificada a 75°C, gerando uma corrente de saída à 50°C.

Para chegar ao valor de 75°C foi realizada uma interação utilizando o Solver, onde o valor da temperatura foi variado até que o balanço de energia do tanque de mistura reacional com água acidificada resultasse em zero, o que quer dizer que esse

valor estabiliza a mistura, de forma a produzir uma corrente a 50°C. O objetivo principal do solver era encontrar a temperatura que equilibrasse o balanço de energia.

## 6. EVAPORADORES

Para os balanços de energia dos evaporadores foi considerado um processo sem reação química, onde o calor transferido pode ser determinado pelo calor sensível. Além disso, como agora se tem duas correntes de saída do processo, uma no estado líquido, e outra no estado gasoso, é necessário considerar para essas correntes no estado gasoso a contribuição do calor latente no balanço. Para isso foi conveniente utilizar as Equação B14 e B15 abaixo, para os cálculos do balanço considerando o calor latente e também considerando apenas o calor sensível, respectivamente:

$$Q = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) + \sum F_j \cdot \lambda_j \quad (B15)$$

$$Q = \sum F_{entra} C_p (T_{entra} - T_{ref}) - \sum F_{sai} C_p (T_{sai} - T_{ref}) = \sum F_i C_p (T_{sai} - T_{entra}) \quad (B16)$$

### 6.1 EVAPORAÇÃO DO PERMEADO

Em posse dos parâmetros termodinâmicos no ANEXO B e das equações para cada caso, foi possível determinar o balanço no evaporador da corrente de permeado:

$$Q_{Evap} = Q_7 - Q_9 - Q_{10} = 279.755,92 \text{ kJ/h} \quad (B17)$$

Onde o  $Q_i$  de cada componente de  $Q_7$  e  $Q_9$  foram calculados utilizando a Equação B15, enquanto em  $Q_{10}$  foi necessário utilizar a Equação B14, devido à mudança de fase.

$$Q_7 = Q_{\text{Éster}} + Q_{\text{Glicerina}} + Q_{\text{Etanol}} + Q_{\text{Água}} \quad (B18)$$

$$Q_9 = Q_{\text{Éster}} + Q_{\text{Glicerina}} + Q_{\text{Etanol}} + Q_{\text{Água}} \quad (B19)$$

$$Q_{10} = Q_{\text{Éster}} + Q_{\text{Glicerina}} + Q_{\text{Etanol}} + Q_{\text{Água}} \quad (B20)$$

Mais uma vez o cálculo de vapor necessário para fornecer essa quantidade de energia para o reator foi calculado abaixo:

$$\dot{m} = \frac{Q}{\lambda} = 123,9 \text{ kg/h} \quad (\text{B4})$$

## 6.2 EVAPORAÇÃO DO CONCENTRADO

Na etapa de evaporação da corrente de concentrado foram aplicados os mesmos conceitos, considerações e cálculos da evaporação do permeado, mudando apenas as composições das correntes de entrada e saída.

$$Q_{\text{Evap}} = Q_8 - Q_{11} - Q_{12} = 1.561.228,99 \text{ kJ/h} \quad (\text{B21})$$

$$Q_8 = Q_{11} = Q_{\text{Éster}} + Q_{\text{Glicerina}} + Q_{\text{TAG}} + Q_{\text{AGL}} + Q_{\text{NaOH}} + Q_{\text{Impurezas}} + Q_{\text{Etanol}} + Q_{\text{Água}} + Q_{\text{Sabões}} + Q_{\text{HCl}} \quad (\text{B22})$$

$$Q_{12} = Q_{\text{Etanol}} + Q_{\text{Água}} \quad (\text{B23})$$

Onde os cálculos de  $Q_{\text{Etanol}}$  e  $Q_{\text{Água}}$  de  $Q_{12}$  consideram a contribuição do calor latente, dispostos no ANEXO B.

Abaixo está disposto o cálculo para a vazão mássica necessária de vapor:

$$\dot{m} = \frac{Q}{\lambda} = 691,4 \text{ kg/h} \quad (\text{B4})$$

## 7. CALDEIRA

Para determinar o balanço de energia na caldeira, foi necessário primeiro identificar a quantidade total de calor necessário para toda a planta da RENOBIO. Sabendo o calor necessário é possível determinar a massa de vapor necessária para fornecer essa quantidade de energia de acordo com a Equação B4.

Toda a energia gerada na caldeira provém da combustão do cavaco de eucalipto, portanto é necessário sua quantificação. Para isso, foi considerado um excesso de 500% de ar entrando no sistema junto à água líquida que será aquecida, enquanto uma corrente com o vapor de água a  $T = 200^\circ\text{C}$  e  $P = 16 \text{ atm}$  e outra com os gases de combustão saem do sistema. Assim, sabe-se que:

A energia liberada pela queima do cavaco de eucalipto é igual a quantidade mássica multiplicada pelo seu calor de combustão ( $\Delta H^\circ\text{c}$ ), igual a  $16.460 \text{ kJ/kg}$ :

$$Q_{\text{Cavaco}} = \dot{m} * \Delta H^\circ\text{c} \quad (\text{B24})$$

Já a quantidade de calor perdida na corrente de gases provenientes da combustão é igual a:

$$Q_{\text{Gases}} = Q_{\text{Oxigênio}} + Q_{\text{Nitrogênio}} + Q_{\text{Água}} + Q_{\text{CO}_2} \quad (\text{B25})$$

$$Q_{\text{Gases}} = 6.810,66 \text{ kJ/h} \quad (\text{B25})$$

Onde  $Q_{\text{Gases}}$  é a quantidade de calor total gerada na corrente de gases,  $Q_{\text{Oxigênio}}$  é a entalpia carregada pelo oxigênio nessa corrente, e assim também com os outros componentes: água, nitrogênio e  $\text{CO}_2$ .

Sendo assim, bastou realizar o somatório das energias que estão saindo e entrando do volume de controle, onde através do uso da ferramenta Solver do Excel, foi encontrado um valor para a quantidade mássica de cavaco de eucalipto que ao ser queimada, zera o balanço no sistema. A quantidade em massa de cavaco de eucalipto calculada para fornecer todos os 150.294,14 kJ/h de energia foi de 9,54 kg/h.

**APÊNDICE C – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES DO DIAGRAMA DE DE  
FLUXO DE PROCESSOS (PFD)**



**Tabela C1 - Especificações das correntes presentes no Diagrama de Fluxo de Processo (PFD) da empresa RENOBIO.**

Corrente	Setor	Temperatura (°C)	Pressão (atm)	Composição
1	100	22	1	Óleo Degomado
2	100	45	1	Óleo Degomado
3	100	45	1	Óleo Degomado
4	200	22	1	NaOH
5	200	22	1	Etanol
6	200	45	1	NaOH
7	200	45	1	Etanol
8	200	45	1	Mistura Alcalina (Naoh + Etanol)
9	400	45	1	Mistura de óleo degomado e Mistura alcalina
10	300	22	1	HCl
11	300	22	1	Água
12	300	50	1	HCl
13	600	50	1	Água
13.1	300	75	1	Água
14	300	50	1	Mistura Ácida (HCl + Água)
15	400	50	1	Mistura Reacional da transesterificação
16	500	50	1,55	Concentrado
16.1	500	69,35	1	Concentrado

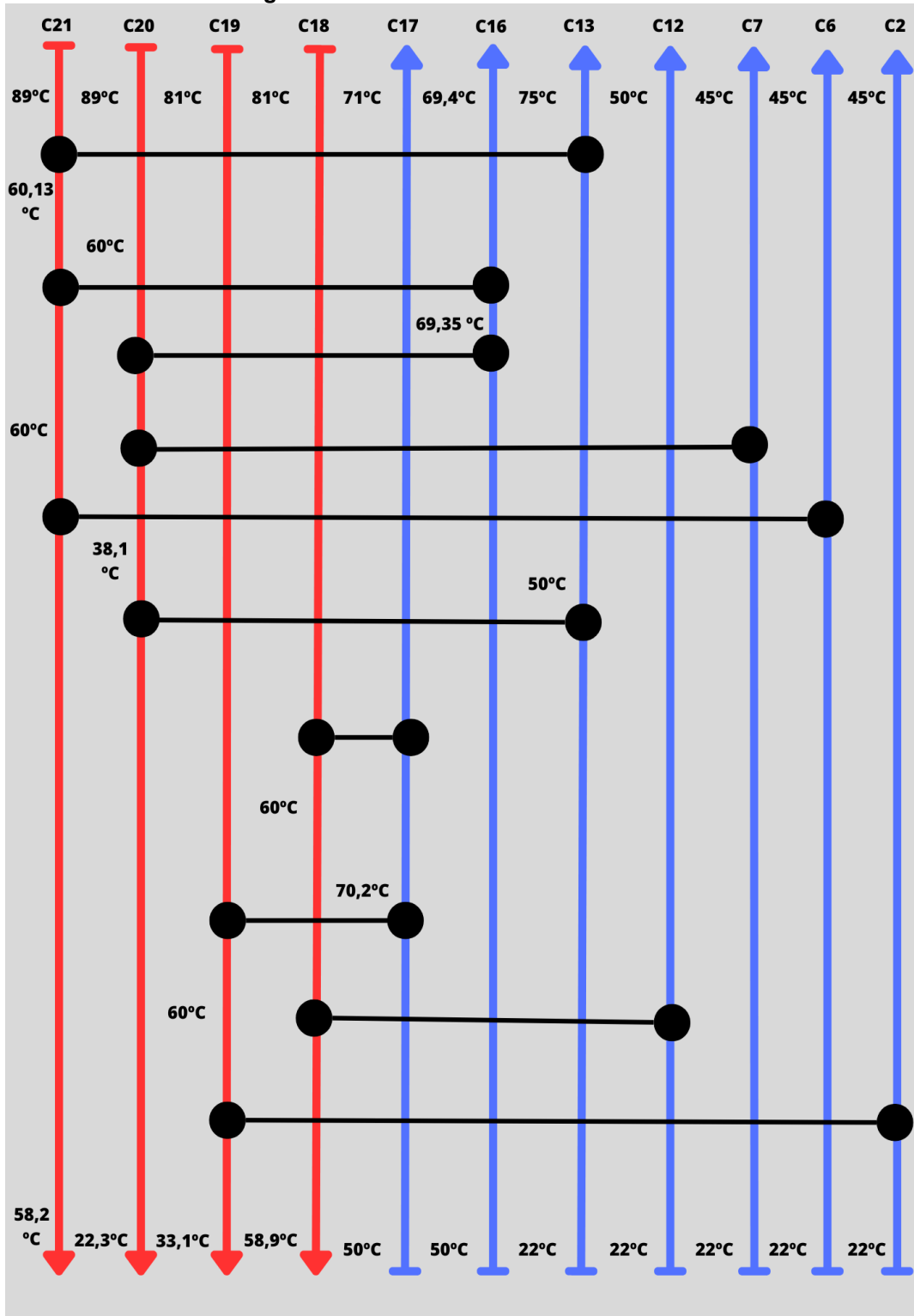
16.2	200	69,4	1	Glicerina
17	500	50	1,13	Permeado
17.1	600	70,2	1	Permeado
17.2	600	71	1	Permeado
18	600	81	1	Etanol Hidratado
18.1	300	60	1	Etanol Hidratado
19	500	81	1	Biodiesel
19.1	100	60	1	Biodiesel
20	600	89	1	Etanol Hidratado
20.1	200	60	1	Etanol Hidratado
20.2	300	38,1	1	Etanol Hidratado
21	600	89	1	Glicerina
21.1	600	60,13	1	Glicerina
21.2	600	60	1	Permeado
22	200	58,2	1	Glicerina
23	600	22,03	1	Etanol Hidratado
24	100	33,1	1	Biodiesel
25	300	58,9	1	Etanol Hidratado

---

**Fonte: Autoria própria (2023)**

## **APÊNDICE D – REDE DE TROCADORES DE CALOR (RTC)**

Figura D1 – Rede de trocadores de calor



Fonte: Autoria Própria (2023).